

Paul Deitel

Harvey Deitel

IL LINGUAGGIO C

Fondamenti e tecniche di programmazione

© 2016 Pearson Italia – Milano, Torino

Authorized translation from the English language edition, entitled C: HOW TO PROGRAM, 8th Edition by Paul Deitel, Harvey Deitel, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright © 2016.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Italian language edition published by Pearson Italia S.p.A., Copyright © 2016.

Le informazioni contenute in questo libro sono state verificate e documentate con la massima cura possibile. Nessuna responsabilità derivante dal loro utilizzo potrà venire imputata agli Autori, a Pearson Italia S.p.A. o a ogni persona e società coinvolta nella creazione, produzione e distribuzione di questo libro.

Per i passi antologici, per le citazioni, per le riproduzioni grafiche, cartografiche e fotografiche appartenenti alla proprietà di terzi, inseriti in quest'opera, l'editore è a disposizione degli aventi diritto non potuti reperire nonché per eventuali non volute omissioni e/o errori di attribuzione nei riferimenti.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633.

Le fotocopie effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARED, Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali, Corso di Porta Romana 108, 20122 Milano, e-mail autorizzazioni@clearedi.org e sito web www.clearedi.org.

Traduzione della settima edizione Ivana La Rosa

Traduzione e realizzazione editoriale: Giulia Maselli

Progetto grafico di copertina: Maurizio Garofalo

Stampa: L.E.G.O.

Tutti i marchi citati nel testo sono di proprietà dei loro detentori.

9788891901651

Printed in Italy

8^a edizione: settembre 2016

Ristampa

03 04

Anno

18 19 20

LIBRI DI TESTO E SUPPORTI DIDATTICI

Il sistema di gestione per la qualità della Casa Editrice è certificato in conformità alla norma UNI EN ISO 9001:2008 per l'attività di progettazione, realizzazione e commercializzazione di prodotti editoriali scolastici, lessicografici, universitari e di varia.



Sommario

Prefazione all'edizione italiana	ix
Prefazione	xi
1 Introduzione ai computer, a Internet e al web	1
1.1 Introduzione	1
1.2 Hardware e software	1
1.3 Gerarchia di dati	4
1.4 Linguaggi macchina, assemblatori e ad alto livello	7
1.5 Il linguaggio di programmazione C	8
1.6 Libreria Standard del C	10
1.7 C++ e altri linguaggi basati sul C	11
1.8 Ambiente di sviluppo tipico per la programmazione in C	12
1.9 Eseguire un'applicazione in C negli ambienti Windows, Linux e Mac OS X	15
1.10 Sistemi operativi	25
1.11 Internet e il World Wide Web	26
1.12 Principale terminologia nell'ambito dei software	30
1.13 Mantenersi aggiornati sulle tecnologie dell'informazione	32
Esercizi	33
2 Introduzione alla programmazione nel linguaggio C	36
2.1 Introduzione	36
2.2 Un semplice programma in C: stampare una riga di testo	36
2.3 Un altro semplice programma in C: addizionare due interi	41
2.4 Concetti relativi alla memoria	45
2.5 Aritmetica in C	46
2.6 Decisioni: operatori di uguaglianza e relazionali	51
2.7 Programmazione sicura in C	55
Riepilogo	56
Esercizi	59
3 Sviluppo di un programma strutturato in C	68
3.1 Introduzione	68
3.2 Algoritmi	68
3.3 Pseudocodice	69
3.4 Strutture di controllo	69
3.5 Istruzione di selezione if	72
3.6 Istruzione di selezione if...else	73
3.7 Istruzione di iterazione while	77
3.8 Formulare algoritmi, caso pratico 1: iterazione controllata da contatore	79

3.9	Formulare algoritmi con affinamento graduale top-down, caso pratico 2: iterazione controllata da sentinella	81
3.10	Formulare algoritmi con affinamento graduale top-down, caso pratico 3: istruzioni di controllo annidate	87
3.11	Operatori di assegnazione	92
3.12	Operatori di incremento e di decremento	92
3.13	Programmazione sicura in C	95
	Riepilogo	97
	Esercizi	101
4	Controllo nei programmi in C	115
4.1	Introduzione	115
4.2	Aspetti essenziali dell'iterazione	115
4.3	Iterazione controllata da contatore	116
4.4	Istruzione di iterazione <code>for</code>	118
4.5	Istruzione <code>for</code> : note e osservazioni	121
4.6	Esempi di uso dell'istruzione <code>for</code>	122
4.7	Istruzione di selezione multipla <code>switch</code>	125
4.8	Istruzione di iterazione <code>do...while</code>	131
4.9	Istruzioni <code>break</code> e <code>continue</code>	132
4.10	Operatori logici	134
4.11	Confondere gli operatori di uguaglianza (<code>==</code>) e di assegnazione (<code>=</code>)	138
4.12	Riepilogo della programmazione strutturata	139
4.13	Programmazione sicura in C	145
	Riepilogo	146
	Esercizi	150
5	Funzioni in C	161
5.1	Introduzione	161
5.2	Modularizzazione dei programmi in C	161
5.3	Funzioni della libreria <code>math</code>	163
5.4	Funzioni	163
5.5	Definizioni di funzioni	165
5.6	Prototipi di funzioni: uno sguardo più approfondito	170
5.7	Pila delle chiamate delle funzioni e record di attivazione	172
5.8	File di intestazione	176
5.9	Passare gli argomenti per valore e per riferimento	177
5.10	Generazione di numeri casuali	178
5.11	Esempio di un gioco d'azzardo: introduzione di <code>enum</code>	183
5.12	Classi di memoria	186
5.13	Regole per il campo d'azione	188
5.14	Ricorsione	192
5.15	Esempio che usa la ricorsione: la serie di Fibonacci	195
5.16	La ricorsione rispetto all'iterazione	199
5.17	Programmazione sicura in C	201
	Riepilogo	201
	Esercizi	206

6	Array in C	222
6.1	Introduzione	222
6.2	Gli array	222
6.3	Definire gli array	224
6.4	Esempi di array	224
6.5	Uso di array di caratteri per memorizzare e manipolare stringhe	233
6.6	Array locali statici e array locali automatici	236
6.7	Passare gli array alle funzioni	239
6.8	Ordinamento di array	243
6.9	Caso pratico: calcolo di media, mediana e moda con gli array	245
6.10	Ricerca in array	250
6.11	Array multidimensionali	255
6.12	Array di lunghezza variabile	262
6.13	Programmazione sicura in C	266
	Riepilogo	267
	Esercizi	272
7	Puntatori in C	286
7.1	Introduzione	286
7.2	Definizione e inizializzazione di variabili puntatore	287
7.3	Operatori per i puntatori	288
7.4	Passare argomenti a funzioni per riferimento	290
7.5	Uso del qualificatore <code>const</code> con i puntatori	294
7.6	Bubble sort che utilizza il passaggio per riferimento	300
7.7	Operatore <code>sizeof</code>	303
7.8	Espressioni con puntatori e aritmetica dei puntatori	306
7.9	Relazioni tra puntatori e array	309
7.10	Array di puntatori	314
7.11	Caso pratico: mescolare le carte e simularne la distribuzione	315
7.12	Puntatori a funzioni	320
7.13	Programmazione sicura in C	325
	Riepilogo	326
	Esercizi	329
8	Caratteri e stringhe in C	348
8.1	Introduzione	348
8.2	Nozioni fondamentali su stringhe e caratteri	348
8.3	Libreria di funzioni per il trattamento dei caratteri	350
8.4	Funzioni di conversione di stringhe	356
8.5	Funzioni della libreria standard di input/output	359
8.6	Funzioni per la manipolazione di stringhe della libreria per il trattamento delle stringhe	364
8.7	Funzioni di confronto della libreria per il trattamento delle stringhe	366
8.8	Funzioni per la ricerca della libreria per il trattamento delle stringhe	368
8.9	Funzioni di gestione della memoria della libreria per il trattamento delle stringhe	375
8.10	Altre funzioni della libreria per il trattamento delle stringhe	379
8.11	Programmazione sicura in C	381
	Riepilogo	381
	Esercizi	385

9	Input/output formattato in C	395
9.1	Introduzione	395
9.2	Stream	395
9.3	Formattazione dell'output con <code>printf</code>	396
9.4	Stampa di interi	396
9.5	Stampa di numeri in virgola mobile	398
9.6	Stampa di stringhe e caratteri	400
9.7	Altri specificatori di conversione	401
9.8	Stampare con larghezza di campo e precisione	402
9.9	Uso di flag nella stringa di controllo del formato per <code>printf</code>	404
9.10	Stampare letterali e sequenze di escape	407
9.11	Leggere input formattati con <code>scanf</code>	407
9.12	Programmazione sicura in C	414
	Riepilogo	415
	Esercizi	417
10	Strutture, unioni, manipolazione di bit ed enumerazioni in C	422
10.1	Introduzione	422
10.2	Definizione di strutture	423
10.3	Inizializzazione di strutture	426
10.4	Accesso ai membri delle strutture con . e ->	426
10.5	Uso delle strutture con le funzioni	428
10.6	<code>typedef</code>	428
10.7	Esempio: simulazione ad alte prestazioni del mescolamento e della distribuzione di carte	429
10.8	Unioni	432
10.9	Operatori bit a bit	435
10.10	Campi di bit	444
10.11	Costanti di enumerazione	447
10.12	Strutture e unioni anonime	449
10.13	Programmazione sicura in C	450
	Riepilogo	451
	Esercizi	454
11	Elaborazione di file in C	461
11.1	Introduzione	461
11.2	File e stream	461
11.3	Creazione di un file ad accesso sequenziale	462
11.4	Lettura di dati da un file ad accesso sequenziale	468
11.5	File ad accesso casuale	473
11.6	Creazione di un file ad accesso casuale	473
11.7	Scrittura di dati in maniera casuale su un file ad accesso casuale	475
11.8	Lettura di dati da un file ad accesso casuale	478
11.9	Caso pratico: programma per l'elaborazione di transazioni	480
11.10	Programmazione sicura in C	486
	Riepilogo	487
	Esercizi	490

12	Strutture di dati in C	498
12.1	Introduzione	498
12.2	Strutture autoreferenziali	499
12.3	Allocazione dinamica di memoria	500
12.4	Liste collegate	501
12.5	Pile	509
12.6	Code	515
12.7	Alberi	522
12.8	Programmazione sicura in C	528
	Riepilogo	528
	Esercizi	531
13	Preprocessore del C	540
13.1	Introduzione	540
13.2	Direttiva per il preprocessore <code>#include</code>	540
13.3	Direttiva per il preprocessore <code>#define</code> : costanti simboliche	541
13.4	Direttiva per il preprocessore <code>#define</code> : macro	542
13.5	Compilazione condizionale	545
13.6	Direttive per il preprocessore <code>#error</code> e <code>#pragma</code>	546
13.7	Operatori <code>#</code> e <code>##</code>	546
13.8	Numeri di riga	547
13.9	Costanti simboliche predefinite	547
13.10	Asserzioni	548
13.11	Programmazione sicura in C	549
	Riepilogo	549
	Esercizi	551
14	Altri aspetti del C	554
14.1	Introduzione	554
14.2	Ridirezione di I/O	554
14.3	Liste di argomenti di lunghezza variabile	555
14.4	Uso degli argomenti della riga di comando	558
14.5	Compilazione di programmi con più file sorgente	559
14.6	Terminazione di programmi con <code>exit</code> e <code>atexit</code>	561
14.7	Suffissi per letterali interi e in virgola mobile	562
14.8	Gestione dei segnali	563
14.9	Allocazione dinamica della memoria: funzioni <code>calloc</code> e <code>realloc</code>	565
14.10	Salto non condizionato con <code>goto</code>	566
	Riepilogo	567
	Esercizi	570
A	Tabella di precedenza degli operatori	572
B	Insieme dei caratteri ASCII	574
C	Sistemi di numerazione	575
C.1	Introduzione	575
C.2	Abbreviazione dei numeri binari come numeri ottali ed esadecimali	578
C.3	Conversione di numeri ottali ed esadecimali in numeri binari	579

C.4	Conversione da binario, ottale o esadecimale a decimale	580
C.5	Conversione da decimale a binario, ottale o esadecimale	581
C.6	Numeri binari negativi: notazione con complemento a due	582
	Riepilogo	583
	Esercizi	584
D	Ordinamento: uno sguardo più approfondito	588
D.1	Introduzione	588
D.2	Notazione “O grande”	589
D.3	Ordinamento per selezione	590
D.4	Ordinamento per inserzione	594
D.5	Ordinamento per fusione	597
	Riepilogo	604
	Esercizi	605
Indice analitico		608

Prefazione all'edizione italiana

L'ottava edizione di questo testo viene pubblicata negli Stati Uniti dopo tre anni dalla precedente, della quale ho avuto il piacere di curare la traduzione italiana. La settima edizione usciva proprio nel momento in cui veniva definito lo standard C11. Da qui l'esigenza, da parte degli autori, di una nuova edizione che tenesse conto di questo nuovo standard. È stato così aggiornato soprattutto il codice C degli esempi, e anche i paragrafi sono stati riorganizzati al fine di permettere un più agevole accesso agli argomenti. Il nuovo testo rimane così un'opera completa e aggiornata, un libro sul linguaggio C e insieme un libro di introduzione alla programmazione in generale. Il taglio è quello ormai collaudato dei libri a marchio Deitel sulla programmazione nei vari linguaggi, C, C++, Java e così via. L'enfasi è posta sulle metodologie di programmazione adatte allo specifico linguaggio, che vengono presentate con un taglio orientato all'effettivo sviluppo di applicazioni, mediante codice funzionante e analisi dettagliata.

Dopo un'ampia trattazione introduttiva sui sistemi informatici e sullo stato dell'arte delle tecnologie informatiche, l'approccio metodologico si snoda partendo dalle tecniche di programmazione strutturata e procedendo con i costrutti del linguaggio che la supportano, fino a mostrare, con numerosi e corposi esempi ed esercizi, come costruire effettivamente sistemi software anche complessi. Nel corso della trattazione vengono affrontate ampiamente e in modo operativo le tematiche relative agli algoritmi e alle strutture di dati, fondamentali per un approccio professionale alla programmazione.

L'edizione italiana riguarda la prima parte del testo originale, che nella sua versione in lingua inglese comprende anche una seconda parte dedicata al linguaggio C++. L'opera si rivolge sia a coloro che operano in ambito tecnico e scientifico, per i quali può essere un valido riferimento, sia a coloro che vogliono intraprendere un percorso serio e rigoroso che li porti a saper programmare. Il testo è, pertanto, particolarmente adatto a essere utilizzato in corsi universitari riguardanti la programmazione, sia introduttivi che avanzati. A tal proposito, la prefazione indica diversi possibili percorsi di utilizzo del testo.

Agli studenti il C può apparire inizialmente un linguaggio "ostico", per via del suo ridotto livello di astrazione, ma una volta appresi, con un po' di dedizione, i concetti fondamentali, insieme a una buona pratica di programmazione, si viene ripagati dalla possibilità di scrivere programmi compatti, efficienti ed estremamente portabili. A questo riguardo, nonostante diverse standardizzazioni, il C è un linguaggio sostanzialmente stabile da circa quarant'anni e per questo utilizzabile senza grossi stravolgimenti in qualsiasi classe di elaboratori.

In merito poi alla collocazione della programmazione in linguaggio C nell'ambito degli insegnamenti universitari dei corsi di laurea in informatica e in ingegneria informatica, possiamo dire che tale problematica va inquadrata nell'ampio dibattito relativo al primo linguaggio con cui introdurre la programmazione. Dopo l'esplosione del web come fenomeno sociale, alcune scuole di pensiero hanno ritenuto opportuno iniziare con un approccio più di tipo sistemistico e basato sull'astrazione, attraverso l'utilizzo di linguaggi come Java, e più recentemente Python, che introducono subito la metodologia ad oggetti e si indirizzano anche al web. Tuttavia, si assiste sempre di più a un ripensamento verso un percorso più tradizionale, che parte dalla conoscenza dell'architettura hardware e procede a tappe verso modelli più astratti e sistemistici. Il linguaggio C è il linguaggio ad alto livello giusto da cui partire, poiché da un lato è direttamente comprensibile in

riferimento alla macchina su cui girano i programmi, e dall'altro permette di introdurre facilmente i costrutti più di alto livello, che si possono poi, in modo più appropriato, sviluppare nel contesto di altri linguaggi. La conoscenza della programmazione in C è anche propedeutica per i corsi successivi che riguardano il software di sistema, proprio perché è il linguaggio in genere più usato a tale scopo ed è quello sicuramente più adatto per gli aspetti legati alle prestazioni.

In conclusione, posso senz'altro affermare che questo è un testo di grande valore sia dal punto di vista tecnico che didattico, la cui impostazione è maturata attraverso sette edizioni precedenti. Esso comprende argomenti preziosi e fondamentali per ogni informatico, quali il linguaggio C e la programmazione strutturata. Questi fanno parte integrante di quella rivoluzione informatica degli anni Settanta, vissuta professionalmente da molti di noi; in quegli anni la tecnologia rendeva il computer oggetto pervasivo e accessibile a tutti, e dai sistemi chiusi e proprietari si passava ai sistemi aperti. Nessuno si era allora reso conto di quelli che sarebbero stati i risvolti sociali e umani di quella rivoluzione, seguita poi da quella di Internet e del web degli anni Novanta e, infine, da quella dei social network e del cloud dei giorni nostri.

Salvatore Gaglio

*Dipartimento di Ingegneria Chimica, Gestionale,
Informatica e Meccanica
Università degli Studi di Palermo*

Prefazione

Benvenuti nel linguaggio di programmazione C. Questo libro presenta tecnologie informatiche fondamentali e d'avanguardia per studenti universitari, ricercatori e professionisti che operano nello sviluppo del software.

Al centro del libro si colloca l'“approccio live-code” (letteralmente “codice dal vivo”) proprio del marchio Deitel. I concetti vengono presentati nel contesto di programmi completi e funzionanti, invece che con frammenti di codice. Ogni esempio di codice è seguito da uno o più esempi di esecuzione. Tutto il codice sorgente è disponibile on-line nella piattaforma MyLab.

Usate questo codice sorgente per far eseguire ogni programma mentre lo studiate.

Riteniamo che questo libro e il suo materiale di supporto vi offriranno un'introduzione al linguaggio C istruttiva, stimolante e piacevole. Se durante la lettura avete domande da porre, mandate una e-mail all'indirizzo deitel@deitel.com. Risponderemo prontamente. Per aggiornamenti sul libro visitate il sito www.deitel.com/books/chtp8/, unitevi alle nostre comunità:

- Facebook® (<http://facebook.com/DeitelFan>)
- Twitter® (@deitel)
- LinkedIn® (<http://linkedin.com/company/deitel-&-associates>)
- YouTube™ (<http://youtube.com/DeitelTV>)
- Google+™ (<http://google.com/+DeitelFan>)

e iscrivetevi alla newsletter *Deitel® Buzz Online* (www.deitel.com/newsletter/subscribe.html).

Caratteristiche nuove e aggiornate

- *Altre capacità integrate degli standard C11 e C99.* Il supporto per gli standard C11 e C99 varia a seconda del compilatore. Microsoft Visual C++ supporta un sottoinsieme delle caratteristiche che sono state aggiunte al C nel C99 e nel C11, principalmente quelle richieste anche dal C++ standard. Abbiamo incluso alcune caratteristiche di C11 e C99 largamente supportate nei primi capitoli del libro, in quanto appropriate per i corsi introduttivi e per i compilatori utilizzati in questo libro. L'Appendice E (on-line) presenta caratteristiche più avanzate (come il multithreading per le odierne architetture multi-core sempre più popolari) e diverse altre caratteristiche che non sono largamente supportate dai compilatori C dei nostri giorni.
- *Tutto il codice testato su Linux, Windows e OS X.* Abbiamo ritestato tutto il codice degli esempi e degli esercizi utilizzando GNU gcc su Linux, Visual C++ su Windows (in Visual Studio 2013 Community Edition) e LLVM in Xcode su Mac OS X.
- *Capitolo 1 aggiornato.* Il nuovo Capitolo 1 intende attrarre gli studenti con dati statistici interessanti aggiornati allo scopo di appassionarli allo studio e alla programmazione dei computer. Il capitolo include una descrizione delle attuali tendenze della tecnologia e delle architetture hardware, un'illustrazione della gerarchia dei dati, un paragrafo sui social network e una tabella sulle pubblicazioni commerciali e tecnologiche e sui siti web che vi aiuteranno a rimanere aggiornati con le ultime notizie e tendenze in ambito tecnologico. Abbiamo incluso paragrafi che illustrano come far eseguire un programma in C dalla linea di comando su Linux, Micro-

soft Windows e Mac OS X. Abbiamo anche aggiornato le discussioni su Internet e sul web e l'introduzione alla tecnologia degli oggetti.

- *Stile del codice aggiornato.* Abbiamo eliminato la spaziatura all'interno delle parentesi rotonde e quadrate, e abbiamo leggermente ridotto l'utilizzo di commenti. Abbiamo anche aggiunto parentesi a certe condizioni composte per maggior chiarezza.
- *Dichiarazioni di variabili.* Grazie al miglioramento del supporto del compilatore, siamo stati in grado di spostare le dichiarazioni delle variabili in prossimità del loro primo utilizzo e a definire variabili di controllo contatore di cicli `for` nella sezione di inizializzazione di ciascun `for`.
- *Utilizzo di terminologia standard.* Per aiutare gli studenti a prepararsi a lavorare in una qualsiasi azienda del mondo, abbiamo rivisto il libro rispetto al C standard e abbiamo aggiornato la terminologia per utilizzare preferibilmente i termini del C standard rispetto a quelli della programmazione generale.
- *Esercizi aggiuntivi.* Abbiamo aggiornato vari esercizi e ne abbiamo aggiunti di nuovi, tra cui uno per l'algoritmo di mescolamento imparziale Fisher-Yates nel Capitolo 10.

Altre caratteristiche

- *Paragrafi sulla programmazione sicura in C.* Alla fine di molti capitoli riguardanti la programmazione in C troverete un paragrafo "Programmazione sicura in C". Per maggiori dettagli consultate il paragrafo di questa prefazione "Una nota sulla programmazione sicura in C".
- *Attenzione agli aspetti relativi alle prestazioni.* Il C e il C++ sono i linguaggi preferiti dai progettisti di sistemi caratterizzati da prestazioni intensive come sistemi operativi, sistemi in tempo reale, sistemi embedded (incorporati) e sistemi di comunicazione. Per questo motivo ci concentriamo intensamente sugli aspetti relativi alle prestazioni.
- *Esercizi attuali per "prove sul campo".* Vi incoraggiamo a usare i computer e Internet per fare ricerche e risolvere problemi significativi. Questi esercizi intendono aumentare la consapevolezza sulle questioni importanti che il mondo sta affrontando, e la nostra speranza è che li affrontiate in base ai vostri valori, alle vostre idee politiche e ai vostri principi.
- *Ordinamento: uno sguardo più approfondito.* Le tecniche di ordinamento mettono in ordine i dati sulla base di una o più chiavi di ordinamento. Iniziamo la nostra presentazione delle tecniche di ordinamento con un semplice algoritmo nel Capitolo 6. Nell'Appendice D offriamo una trattazione più approfondita. Prendiamo in considerazione diversi algoritmi e li confrontiamo, tenendo conto del loro consumo di memoria e delle loro esigenze di calcolo. A questo scopo introduciamo la notazione "O grande", che indica lo sforzo che può essere richiesto a un algoritmo per risolvere un problema. Mediante esempi ed esercizi, l'Appendice D analizza l'ordinamento per selezione, l'ordinamento per inserzione, l'ordinamento per fusione ricorsivo, l'ordinamento per selezione ricorsivo, il bucket sort e il quicksort ricorsivo. L'ordinamento è un problema interessante, perché le varie tecniche di ordinamento conseguono lo stesso risultato finale ma possono variare enormemente per quanto riguarda il loro consumo di memoria, di tempo di CPU e di altre risorse di sistema.
- *Ordine di valutazione.* Mettiamo in guardia il lettore sugli aspetti relativi all'ordine di valutazione.

Una nota sulla programmazione sicura in C

In tutto questo libro ci concentriamo sui *fondamenti* della programmazione in C. Quando scriviamo ogni libro della serie “How to Program”, cerchiamo nei documenti relativi agli standard del linguaggio gli aspetti che secondo noi i principianti devono imparare in un corso iniziale di programmazione e gli aspetti che coloro che hanno esperienza di programmazione devono sapere per *cominciare* a lavorare in quel linguaggio. Dobbiamo trattare anche i fondamenti dell’informatica e dell’ingegneria del software per programmatore principianti, i nostri principali lettori.

Le tecniche di codifica *a livello industriale* di un qualsiasi linguaggio di programmazione vanno oltre gli scopi di un libro di testo introduttivo. Per questa ragione, i nostri paragrafi sulla programmazione sicura in C presentano alcuni problemi e tecniche chiave e forniscono collegamenti e rimandi, così che possiate proseguire nell’apprendimento.

L’esperienza ha dimostrato che è difficile costruire sistemi di portata industriale che resistano ad attacchi di virus, worm, ecc. Oggi, via Internet, attacchi del genere possono essere istantanei e globali. Le vulnerabilità del software derivano spesso da semplici problemi di programmazione. Includere aspetti relativi alla sicurezza nel software dall’inizio del ciclo di sviluppo può ridurre sensibilmente i costi e le vulnerabilità.

Il centro di coordinamento CERT® (www.cert.org) è stato creato per analizzare e rispondere prontamente agli attacchi. Il CERT (Computer Emergency Response Team) pubblica e promuove standard di codifica sicura per aiutare i programmatore in C (e non solo) a implementare sistemi di portata industriale che evitino pratiche di programmazione che espongono i sistemi agli attacchi. Gli standard del CERT si evolvono quando sorgono nuovi problemi di sicurezza.

Abbiamo aggiornato il nostro codice (com’è giusto per un libro introduttivo) per conformarlo alle varie raccomandazioni del CERT. Qualora dovete realizzare sistemi in C in ambito industriale, prendete in considerazione la lettura di testi informativi aggiornati. Le linee guida del CERT sono disponibili on-line sul sito:

<https://www.securecoding.cert.org/confluence/display/seccode/CERT+C+Coding+Standard>

Robert Seacord, un revisore tecnico dell’ultima edizione di questo libro, ha fornito raccomandazioni specifiche per ognuno dei nostri nuovi paragrafi sulla programmazione sicura in C. Robert Seacord è Secure Coding Manager al CERT presso il Software Engineering Institute (SEI) della Carnegie Mellon University e anche professore aggiunto alla School of Computer Science della Carnegie Mellon University.

I paragrafi sulla programmazione sicura in C alla fine dei Capitoli dal 2 al 13 prendono in esame molti argomenti importanti, compresi il controllo degli overflow aritmetici, l’uso di tipi interi senza segno, le funzioni più sicure nell’Annex K del C standard, l’importanza del controllo delle informazioni sullo stato restituite dalle funzioni della libreria standard, il controllo degli intervalli, la generazione sicura di numeri casuali, il controllo dei confini di un array, la prevenzione degli overflow dei buffer, la validazione dell’input, le tecniche per evitare comportamenti indefiniti, la scelta di funzioni che restituiscono informazioni sullo stato invece delle funzioni simili che non lo fanno, la garanzia che i puntatori siano sempre NULL o contengano indirizzi validi, l’uso delle funzioni del C rispetto all’uso delle macro del preprocessore, e altro ancora.

Diagramma di dipendenza

La Figura 1 mostra le dipendenze tra i capitoli del libro per permettere agli istruttori di pianificare i programmi dei loro corsi. Il testo è adatto per i corsi di programmazione in C di livello base e intermedio.

Diagramma di dipendenza dei capitoli del libro

[Nota: le frecce che puntano verso un capitolo indicano le dipendenze di quel capitolo.]

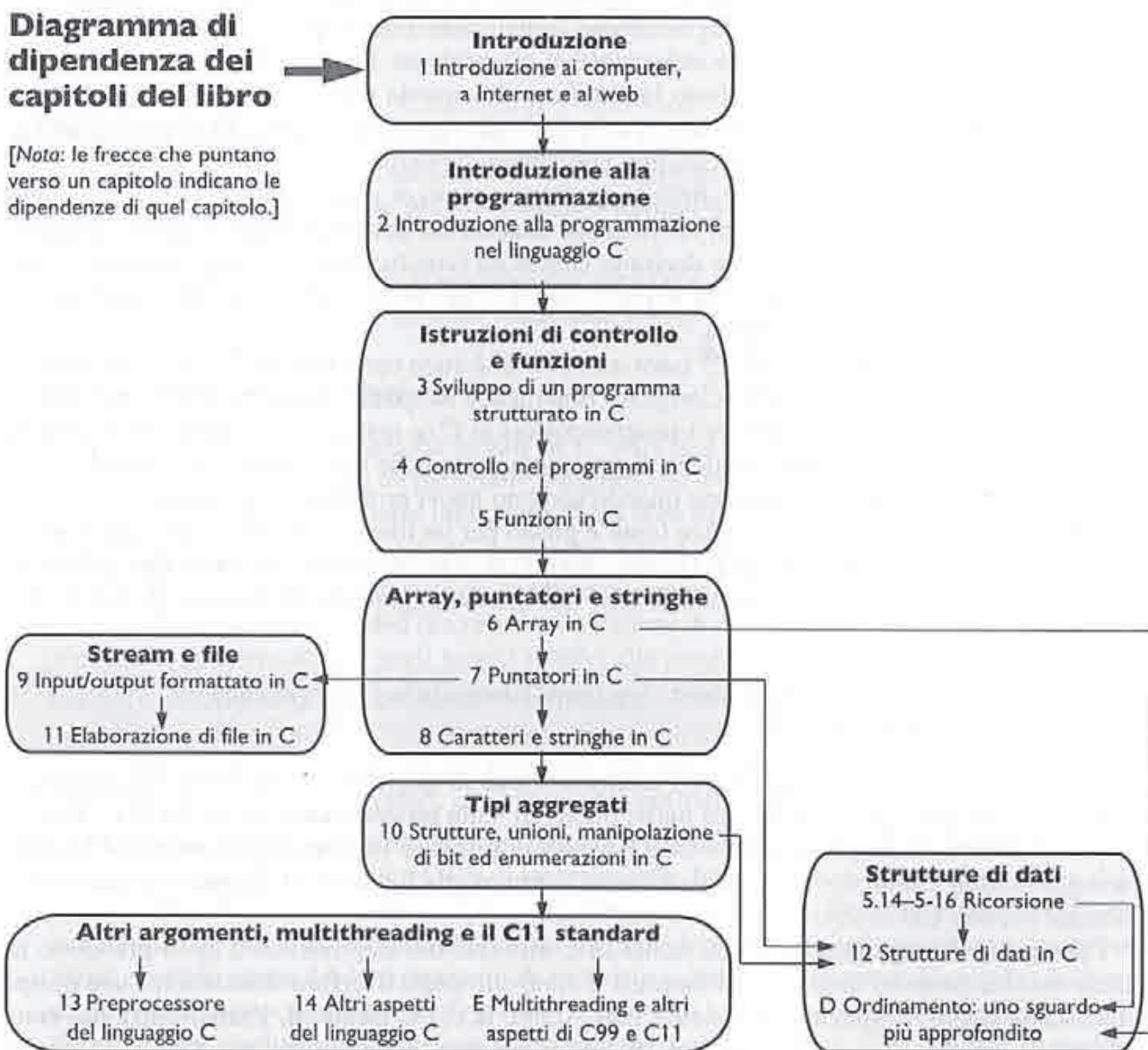


Figura 1 Diagramma di dipendenza dei capitoli del libro.

Approccio didattico

Il libro contiene una ricca raccolta di esempi. Poniamo l'attenzione su una buona ingegneria del software, sull'importanza della chiarezza dei programmi, su come evitare errori comuni e sugli aspetti legati alla portabilità e alle prestazioni dei programmi.

Evidenziare del testo in base alla sintassi. Per migliorare la leggibilità, evidenziamo il codice in base alla sintassi, analogamente a come la maggior parte degli IDE (*Interactive Development*

Environment, “ambienti di sviluppo interattivi”) e degli editor di codice colorano il testo. Le nostre convenzioni di evidenziazione sono queste:

i commenti appaiono in questo modo
le parole chiave appaiono in questo modo
 le costanti e i valori letterali appaiono in questo modo
 tutto il resto del codice appare in questo modo

Dare rilievo al codice. Racchiudiamo il codice chiave entro rettangoli grigi in ciascun programma.

Uso di caratteri diversi per mettere in risalto. Per un facile riferimento, mettiamo in grassetto i termini chiave e, nell’indice, il numero della pagina dove i termini vengono definiti. Mettiamo in risalto il testo dei programmi in C con il carattere Consolas (es. int x = 5;).

Obiettivi. All’inizio di ogni capitolo c’è un elenco degli obiettivi che ci prefiggiamo di raggiungere.

Illustrazioni/Figure. Comprendono vari diagrammi, tavole, disegni, programmi e output di programmi.

Consigli sulla programmazione. Includiamo vari consigli sulla programmazione per aiutarvi a concentrarvi su aspetti importanti dello sviluppo di un programma. Questi consigli e queste pratiche rappresentano il meglio che abbiamo raccolto da un’esperienza combinata di programmazione e di insegnamento che dura da ottant’anni.



Buone pratiche di programmazione

Le Buone pratiche di programmazione richiamano l’attenzione sulle tecniche che vi aiuteranno a produrre programmi più chiari, più comprensibili e più mantenibili.



Errori comuni di programmazione

Dare rilievo agli Errori comuni di programmazione riduce la probabilità che li commettiate.



Prevenzione di errori

Questi consigli contengono suggerimenti per scoprire gli errori e rimuoverli dai vostri programmi e per evitare determinati errori già dalla prima stesura.



Prestazioni

Questi consigli mettono in evidenza le tecniche per far sì che i vostri programmi siano eseguiti più velocemente o per minimizzare la quantità di memoria occupata.



Portabilità

I consigli sulla portabilità vi aiutano a scrivere codice che potrà essere eseguito su una varietà di piattaforme.



Osservazioni di ingegneria del software

Le Osservazioni di ingegneria del software danno risalto agli aspetti architettonici e progettuali inerenti alla costruzione di sistemi software, specialmente di sistemi a larga scala.

Riepilogo di ogni capitolo. Includiamo in ogni capitolo un riepilogo per paragrafo sotto forma di elenco puntato con i termini chiave in grassetto.

Esercizi di autovalutazione e risposte (on-line). Sono inclusi molti esercizi di autovalutazione con le relative risposte come ausilio allo studio personale.

Esercizi (on-line). Ogni capitolo si conclude con un insieme corposo di esercizi che riguardano:

- semplici richiami a terminologia e concetti importanti
- l'identificazione di errori negli esempi di codice
- la scrittura di singole istruzioni di programmi
- la scrittura di funzioni in C
- la scrittura di programmi completi
- la realizzazione di progetti

Software utilizzato

Abbiamo provato i programmi che compaiono nel testo usando i seguenti compilatori gratuiti:

- GNU C (<http://gcc.gnu.org/install/binaries.html>), che è già installato su gran parte dei sistemi Linux e può essere installato su Mac OS X e sui sistemi Windows.
- Microsoft Visual C++ nell'edizione Visual Studio Community 2013, scaricabile da <http://go.microsoft.com/?linkid=9863608>
- LLVM nell'IDE Xcode di Apple, che gli utenti di OS X possono scaricare dal Mac App Store.

Per altri compilatori gratuiti per il linguaggio C visitate i siti:

<http://www.thefreecountry.com/compilers/cpp.shtml>
<http://www.compilers.net/Dir/Compilers/CCpp.htm>
<http://www.freebyte.com/programming/cpp/#cppcompilers>
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_compilers#C.2B.2B_compilers

Ringraziamenti

Vorremmo ringraziare Abbey Deitel e Barbara Deitel per le lunghe ore dedicate a questo progetto. Abbey è stato co-autore del Capitolo 1. Siamo fortunati ad aver lavorato con la squadra di professionisti dell'editoria della Pearson. Apprezziamo la consulenza, l'esperienza e l'energia di Tracy Johnson, Executive Editor per la sezione di Computer Science. Kelsey Loanes e Bob Engelhardt hanno fatto un lavoro meraviglioso occupandosi, rispettivamente, della revisione e dei processi di produzione.

Revisori dell'ottava edizione

Desideriamo esprimere gratitudine per gli sforzi dei nostri revisori. In tempi molto stretti hanno esaminato attentamente il testo e i programmi, fornendo innumerevoli suggerimenti per migliorarne la presentazione: Dr. Brandon Invergo (GNU/European Bioinformatics Institute), Danny Kalev (analista di sistema certificato, esperto del C ed ex membro del C++ Standards Committee), Jim Hogg (Program Manager, C/C++ Compiler Team, Microsoft Corporation), José Antonio González Seco (Parlamento dell'Andalusia), Sebnem Onsay (Special Instructor, Oakland University School of Engineering and Computer Science), Alan Bunning (Purdue University), Paul Clingan (Ohio State University), Michael Geiger (Univer-

sity of Massachusetts, Lowell), Jeonghwa Lee (Shippensburg University), Susan Mengel (Texas Tech University), Judith O'Rourke (SUNY di Albany) e Chen-Chi Shin (Radford University).

Revisori di altre recenti edizioni

William Albrecht (University of South Florida), Ian Barland (Radford University), Ed James Beckham (Altera), John Benito (Blue Pilot Consulting, Inc. e Presidente di ISO WG14 – il Gruppo di Lavoro responsabile del C Programming Language Standard), Dr. John F. Doyle (Indiana University Southeast), Alireza Fazelpour (Palm Beach Community College), Mahesh Hariharan (Microsoft), Hemanth H.M. (Software Engineer presso SonicWALL), Kevin Mark Jones (Hewlett Packard), Lawrence Jones, (UGS Corp.), Don Kostuch (Independent Consultant), Vytautas Leonavicius (Microsoft), Xiaolong Li (Indiana State University), William Mike Miller (Edison Design Group, Inc.), Tom Rethard (The University of Texas di Arlington), Robert Seacord (Secure Coding Manager presso SEI/CERT, autore di *The CERT C Secure Coding Standard* ed esperto tecnico del gruppo di lavoro internazionale sulla standardizzazione del linguaggio di programmazione C), José Antonio González Seco (Parlamento dell'Andalusia), Benjamin Seyfarth (University of Southern Mississippi), Gary Sibbitts (St. Louis Community College di Meramec), William Smith (Tulsa Community College) e Douglas Walls (Senior Staff Engineer, C compiler, Sun Microsystems – ora parte di Oracle).

Un ringraziamento speciale a Brandon Invergo e Jim Hogg

Abbiamo avuto il privilegio di avere come revisori dell'intero libro Brandon Invergo (GNU/European Bioinformatics Institute) e Jim Hogg (Program Manager, C/C++ Compiler Team, Microsoft Corporation), che hanno fornito numerosi suggerimenti e commenti costruttivi. La maggior parte del nostro pubblico utilizza il compilatore GNU *gcc* o il compilatore Visual C++ di Microsoft, e Brandon e Jim ci hanno aiutato a garantire che il contenuto del libro fosse idoneo per entrambi. I loro commenti hanno trasmesso un amore nei confronti dell'ingegneria del software, dell'informatica e dell'istruzione che noi condividiamo.

Bene, avete capito! Il C è un formidabile linguaggio di programmazione che vi aiuterà a scrivere velocemente e bene programmi portatili ad alte prestazioni. Il C è facilmente scalabile fino al settore dello sviluppo di sistemi d'impresa e consente alle aziende di costruire i propri sistemi informativi indispensabili per le strategie da attuare. Dopo che avrete letto il libro, apprezzeremo sinceramente i vostri commenti, le critiche, le correzioni e i suggerimenti per migliorare il testo. Si prega di indirizzare tutta la corrispondenza a:

deitel@deitel.com

Risponderemo prontamente. Inviate le correzioni e i chiarimenti al sito:

www.deitel.com/books/chtp8/

Speriamo che vi piaccia lavorare con questo libro così come a noi è piaciuto scriverlo!

*Paul Deitel
Harvey Deitel*

*In memoria di Dennis Ritchie,
creatore del linguaggio di programmazione C
e co-creatore del sistema operativo UNIX.*

Gli autori

Paul Deitel, CEO e Chief Technical Officer della Deitel & Associates, Inc., si è laureato al MIT, dove ha studiato Information Technology. Tramite la Deitel & Associates, Inc., ha tenuto centinaia di corsi di programmazione per clienti del ramo industriale, compresi Cisco, IBM, Siemens, Sun Microsystems, Dell, Lucent Technologies, Fidelity, NASA al Kennedy Space Center, il National Severe Storm Laboratory, White Sands Missile Range, Hospital Sisters Health System, Rogue Wave Software, Boeing, SunGard Higher Education, Stratus, Cambridge Technology Partners, One Wave, Hyperion Software, Adra Systems, Entergy, CableData Systems, Nortel Networks, Puma, iRobot, Invensys e molti altri. Paul Deitel e il suo co-autore, Harvey M. Deitel, sono autori delle pubblicazioni (libri di testo, libri a carattere professionale e video) sui linguaggi di programmazione più venduti al mondo.

Harvey Deitel, Chairman e Chief Strategy Officer della Deitel & Associates, Inc., ha 50 anni di esperienza nel campo dei computer. Ha conseguito le lauree di primo e secondo livello in ingegneria elettrica al MIT e un Ph.D. in matematica alla Boston University. Ha una vasta esperienza di insegnamento universitario ed è anche stato Direttore del Dipartimento di Informatica al Boston College prima di fondare nel 1991 la Deitel & Associates con suo figlio Paul. Le pubblicazioni dei Deitel hanno ottenuto un riconoscimento internazionale, con traduzioni pubblicate in cinese, coreano, giapponese, tedesco, russo, spagnolo, francese, polacco, italiano, portoghese, greco, urdu e turco. Harvey Deitel ha tenuto centinaia di corsi sulla programmazione per istituzioni accademiche, importanti aziende, organizzazioni governative e militari.

Deitel & Associates, Inc.

La Deitel & Associates, Inc., fondata da Paul Deitel e Harvey Deitel, è un'organizzazione riconosciuta a livello internazionale per la creazione di contenuti multimediali e interattivi e per la formazione aziendale, specializzata nei linguaggi di programmazione per computer, nella tecnologia a oggetti, nello sviluppo di app mobili e nelle tecnologie per Internet e software per il web. I clienti sono molte delle più grandi aziende del mondo, agenzie governative, settori dell'esercito e istituzioni accademiche. L'azienda offre corsi di formazione, tenuti presso le sedi dei clienti in tutto il mondo, sui principali linguaggi di programmazione e sulle principali piattaforme, compresi C, C++, Java™, lo sviluppo di app per Android, lo sviluppo di app per Swift™ e IOS®, Visual C#®, Visual Basic®, Visual C++®, Python®, la tecnologia degli oggetti, la programmazione per Internet e per il web, oltre a un elenco crescente di ulteriori corsi di programmazione e di sviluppo del software.

Grazie ai suoi 40 anni di partnership editoriale con Pearson/Prentice Hall, Deitel & Associates, Inc., pubblica libri di testo sulla programmazione avanzata e libri professionali su carta e nei formati e-book più comuni. Potete contattare Deitel & Associates, Inc., e gli autori al sito:

deitel@deitel.com

Per saperne di più su *Dive Into Series®* di Deitel, in particolare sull'offerta riguardante la formazione aziendale, visitate il sito:

www.deitel.com/training/

Per richiedere una proposta di formazione in loco con istruttori qualificati per la vostra organizzazione, inviate un'e-mail all'indirizzo deitel@deitel.com.

Chi desidera acquistare i libri di Deitel in lingua originale e i video delle *lezioni dal vivo* può farlo tramite il sito www.deitel.com.

Pearson Learning Solution

L'attività didattica e di apprendimento del corso è proposta all'interno di un ambiente digitale per lo studio, che ha l'obiettivo di completare il libro offrendo risorse didattiche fruibili in modo autonomo o per assegnazione del docente.

The screenshot shows the MyLab platform interface. On the left, there's a sidebar with navigation links: Home, Pratiche d'aula, Materie elettroniche, Risorse, Materie da docente, Didattica, Biblioteca, Riporti di esercizio, Risorse, Risorse didattiche, Attività e documenti, and Documenti. The main content area has a title 'Il linguaggio C'. Below it, there's a large image of a computer monitor displaying code. To the right of the image, there's a text block: 'L'attività didattica e di apprendimento del libro è integrata all'interno di un ambiente digitale per lo studio, che ha l'obiettivo di completare e integrare le risorse didattiche presenti nel libro. Il Modulo Autonomo è per assegnazione dal docente. La piattaforma MyLab - destinata per esercizi, test, esercitazioni interattive e di studio sui concetti chiave della programmazione - include strumenti per l'apprendimento collaborativo, forum, esercitazioni interattive, gruppi di studio e aule virtuali animati da docenti per l'apprendimento cooperativo. Le risorse multimediali sono costruite per rispondere ad un obiettivo formativo tematico e sono organizzate attorno all'indice del manuale.' Below this, there's a section titled 'Appendice E. Multithreading e altri argomenti di C11 e C99' with three bullet points: 'I concetti fondamentali di concorrenza', 'I diversi tipi di thread e il progressivo', and 'La classe std::atomic e la sincronizzazione'.

La piattaforma MyLab – accessibile per diciotto mesi – integra e monitora l'attività individuale di studio con risorse multimediali: strumenti per l'autovalutazione e per il ripasso dei concetti chiave, esercitazioni interattive, gruppi di studio e aule virtuali animati da docenti per l'apprendimento cooperativo. Le risorse multimediali sono costruite per rispondere a un preciso obiettivo formativo e sono organizzate attorno all'indice del manuale.

The screenshot shows the Pearson eText interface. On the left, there's a sidebar with navigation links: Home, Risorse, Risorse didattiche, Libri, Immagine, Auto, Loghi. The main content area shows the first chapter of a book titled 'CAPITOLO 1 Introduzione ai computer, a Internet e al web'. Below the chapter title, there's a section titled 'OBIETTIVI' with a small icon of a person. To the right of the icon, there's a list: 'I concetti fondamentali di concorrenza', 'I diversi tipi di thread e il progressivo', and 'La classe std::atomic e la sincronizzazione'.

All'interno della piattaforma è possibile accedere all'edizione digitale del libro (eText), arricchita da funzionalità che permettono di personalizzarne la lettura, evidenziare il testo, inserire segnalibri e annotazioni, studiare e condividere note anche su tablet con l'app Pearson eText Global.

Tra i materiali integrativi sono disponibili:

- Appendice E, Multithreading e altri argomenti di C11 e C99;
- un set di esercizi di varia tipologia con le relative soluzioni;
- la console C per la verifica immediata del codice;
- i codici sorgente utilizzati negli esempi del testo.

Nella sezione Risorse docente è disponibile una raccolta di slide delle lezioni relative ai singoli capitoli: un valido strumento che delinea i concetti chiave del capitolo e offre spunti per la discussione in aula.

Introduzione ai computer, a Internet e al web



OBIETTIVI

- I concetti fondamentali sui computer
- I differenti tipi di linguaggi di programmazione
- La storia del linguaggio di programmazione C
- L'utilità della Libreria Standard del C
- Un tipico ambiente di sviluppo per programmi in C
- L'esecuzione di un'applicazione in C negli ambienti Windows, Linux e Mac OS X
- Alcuni concetti fondamentali di Internet e del World Wide Web

1.1 Introduzione

Benvenuti nel linguaggio C, un linguaggio di programmazione per computer conciso ma potente, adatto sia a persone con un orientamento tecnico, con poca o nessuna esperienza di programmazione, sia a programmatore con esperienza nella costruzione di consistenti sistemi software. Questo testo è un efficace strumento di apprendimento per ognuna di queste categorie.

Nel libro si pone l'accento sull'ingegneria del software da un punto di vista pratico attraverso la comprovata metodologia della *programmazione strutturata in C*. Vengono presentati centinaia di *programmi completi funzionanti* e gli output prodotti dopo la loro esecuzione secondo un approccio "live-code". È possibile scaricare ognuno di questi esempi di programma dal sito web www.deitel.com/books/chtp8/.

La maggior parte delle persone ha familiarità con le prestazioni entusiasmanti dei computer, e con questo testo apprenderete come ottenerle. È il **software** (cioè le istruzioni che si scrivono per far eseguire ai computer delle azioni e prendere decisioni) che controlla i computer (denominati spesso **hardware**).

1.2 Hardware e software

I computer possono eseguire calcoli e prendere decisioni logiche in modo straordinariamente più rapido degli esseri umani. Molti dei personal computer di oggi possono eseguire miliardi di calcoli in un secondo, più di quanto un essere umano possa eseguirne in tutta la sua vita. I *supercomputer* sono già in grado di eseguire *migliaia di miliardi* (o anche *milioni di miliardi*) di istruzioni

al secondo! Il supercomputer Tianhe-2 sviluppato dalla National University of Defense Technology in Cina è in grado di eseguire oltre 33 milioni di miliardi di calcoli al secondo (33,86 *petaflops*)!¹ Per dare un'idea: *il supercomputer Tianhe-2 può eseguire in un secondo circa 3.000.000 di calcoli per ciascuna persona sul pianeta!* E queste prestazioni stanno aumentando velocemente!

I computer elaborano i dati sotto il controllo di sequenze di istruzioni chiamate **programmi per computer**. Questi programmi guidano il computer attraverso sequenze ordinate di azioni specificate da professionisti chiamati **programmatori**.

Un computer consta di vari dispositivi denominati genericamente hardware (es. la tastiera, lo schermo, il mouse, i dischi, la memoria, i lettori DVD e le unità di elaborazione). In seguito ai rapidi sviluppi nelle tecnologie hardware e software, i costi dell'elaborazione delle informazioni stanno *clamorosamente calando*. Computer che decenni fa avrebbero potuto riempire grandi stanze e costare milioni di dollari sono ora stampati su chip di silicio più piccoli di un'unghia, con un costo di qualche dollaro ciascuno. Per ironia della sorte, il silicio è uno dei materiali più abbondanti sulla Terra: è un elemento contenuto nella comune sabbia. La tecnologia dei chip al silicio ha reso l'elaborazione delle informazioni così a basso costo che i computer sono diventati una risorsa utile e diffusa.

1.2.1 Legge di Moore

Generalmente, ogni anno ci si aspetta di pagare almeno un po' di più per la maggior parte dei prodotti e dei servizi. Tutto il contrario avviene invece nel campo dei computer e della telecomunicazione, soprattutto per quanto riguarda l'hardware che supporta queste tecnologie: nel corso degli ultimi decenni i costi dell'hardware sono scesi rapidamente.

Ogni anno o due le capacità dei computer sono quasi raddoppiate senza incrementi dei costi. Questa straordinaria tendenza è chiamata spesso **Legge di Moore**, dal nome della persona che l'ha identificata negli anni Sessanta, Gordon Moore, co-fondatore di Intel, il principale produttore di processori per gli odierni computer e per i sistemi embedded. La Legge di Moore e le relative osservazioni si applicano soprattutto alla quantità di memoria centrale dei computer per i programmi, alla quantità di memoria secondaria (come la memoria a dischi) atta a mantenere programmi e dati per periodi di tempo più lunghi, e alla velocità di elaborazione, la velocità a cui i computer eseguono i programmi (ossia fanno il loro lavoro).

Una simile crescita è avvenuta nel campo della telecomunicazione, dove i costi sono crollati in quanto l'enorme domanda di larghezza di banda (cioè la capacità di trasportare informazioni) ha scatenato un'intensa competizione. Non conosciamo altri campi nei quali la tecnologia migliora così velocemente e i costi crollano così rapidamente. Un tale miglioramento prodigioso favorisce davvero la *rivoluzione dell'informazione*.

1.2.2 Organizzazione dei computer

Malgrado le differenze di aspetto, i computer si possono considerare come suddivisi in varie unità logiche o moduli (Figura 1.1).

¹ <http://www.top500.org>.

Unità logica	Descrizione
Unità di input	Questa unità di "ricezione" ottiene informazioni (dati e programmi per computer) da dispositivi di input e li mette a disposizione delle altre unità di elaborazione. La maggioranza delle informazioni inserite dagli utenti è acquisita dai computer attraverso tastiere, touchscreen e mouse. Altre forme di input riguardano la ricezione di comandi vocali, la scansione di immagini e codici a barre, la lettura da dispositivi di memoria secondaria (come unità disco, lettori di DVD, unità Blu-ray Disc™ e unità flash USB, chiamate anche "chiavette USB" o "memory stick"), la ricezione di video da una webcam e la ricezione da parte del vostro computer di informazioni da Internet (come quando si vedono in streaming video da YouTube™ o si scaricano e-book da Amazon). Forme più recenti di input riguardano dati di posizione geografica da un dispositivo GPS e informazioni di movimento e orientamento da un <i>accelerometro</i> (un dispositivo che rileva i movimenti in tutte le direzioni: su/giù, sinistra/destra, avanti/indietro) in uno smartphone o in una periferica di gioco (come Microsoft® Kinect™ per Xbox, Wii Remote™ e Sony PlayStation Move®).
Unità di output	Questa unità di "consegna" prende le informazioni elaborate dal computer e le invia a vari dispositivi di output per poterle utilizzare all'esterno del computer. La maggior parte delle informazioni inviate in uscita dai computer viene oggi presentata su schermi (compresi gli schermi tattili), stampata su carta (con disapprovazione dei difensori dell'ambiente), trasmessa come audio o video su PC, media player (come gli iPod di Apple) e schermi giganti negli stadi, trasmessa su Internet o usata per controllare altri dispositivi, come robot ed elettrodomestici "intelligenti". Le informazioni vengono comunemente inviate in uscita anche a dispositivi di memoria secondaria, come dischi fissi, unità DVD e unità flash USB. Forme recenti di output molto popolari sono la vibrazione degli smartphone e delle periferiche di gioco, e dispositivi di realtà virtuale come Oculus Rift.
Unità di memoria	Questa unità di "immagazzinamento", ad accesso rapido e con capacità relativamente bassa, conserva le informazioni acquisite attraverso l'unità di input, rendendole, non appena è necessario, immediatamente disponibili per l'elaborazione. L'unità di memoria conserva anche le informazioni elaborate in attesa di essere inviate a dispositivi di uscita tramite l'unità di output. Le informazioni nell'unità di memoria sono <i>volatili</i> e vanno normalmente perdute quando l'alimentazione del computer viene staccata. L'unità di memoria è spesso chiamata semplicemente memoria , memoria primaria o RAM (Random Access Memory). Le dimensioni della memoria principale su computer di tipo desktop e notebook possono raggiungere 128 GB di RAM, sebbene solitamente siano dai 2 ai 16 GB (gigabyte; un gigabyte è circa un miliardo di byte). Un byte è otto bit; un bit può essere uno 0 o un 1.
Unità aritmetica e logica – ALU (<i>Arithmetic and Logic Unit</i>)	Questa unità di "produzione" esegue <i>calcoli</i> , come addizioni, sottrazioni, moltiplicazioni e divisioni. Comprende anche i meccanismi di <i>decisione</i> che consentono al computer, ad esempio, di confrontare due elementi contenuti nell'unità di memoria per determinare se sono uguali. Nei sistemi attuali, la ALU è solitamente implementata come parte dell'unità logica successiva, la CPU.

Figura 1.1 Unità logiche di un computer.*continua*

Unità logica	Descrizione
Unità centrale di elaborazione – CPU (Central Processing Unit)	Questa unità “amministrativa” coordina e supervisiona le operazioni delle altre unità. La CPU dice all’unità di input quando le informazioni devono essere lette e trasferite nell’unità di memoria, dice alla ALU quando le informazioni presenti nell’unità di memoria devono essere usate nei calcoli e dice all’unità di output quando inviare informazioni dall’unità di memoria a determinati dispositivi di output. Molti computer odierni hanno CPU multiple e, di conseguenza, sono in grado di eseguire molte operazioni simultaneamente. Un cosiddetto processore multi-core implementa più processori su un singolo chip a circuito integrato – un processore dual-core ha due CPU e un processore quad-core ne ha quattro. Gli odierni computer desktop hanno processori in grado di eseguire miliardi di istruzioni al secondo.
Unità di memoria secondaria	Questa è l’unità di “stoccaggio” a lungo termine e ad alta capacità. I programmi o i dati non utilizzati attivamente da altre unità sono normalmente posti su dispositivi di memoria secondaria (es. il vostro <i>disco fisso</i>) finché non servono di nuovo, forse ore, giorni, mesi o persino anni dopo. Le informazioni su dispositivi di memoria secondaria sono <i>persistenti</i> : si conservano anche quando l’alimentazione del computer viene disattivata. Per accedere alle informazioni in memoria secondaria ci vuole molto più tempo che per quelle in memoria primaria, ma il suo costo per unità è molto inferiore. Esempi di dispositivi di memoria secondaria sono i dischi fissi, i lettori di DVD e le unità flash USB, alcune delle quali possono contenere fino a 2 TB (terabyte; un terabyte corrisponde circa a mille miliardi di byte). Tipici dischi fissi di computer desktop e notebook possono contenere fino a 2 TB, e alcuni dischi fissi di computer desktop fino a 6TB.

Figura 1.1 Unità logiche di un computer.

1.3 Gerarchia di dati

Gli elementi dei dati elaborati dai computer formano una **gerarchia di dati** che diventa più ampia e più complessa nella struttura a mano a mano che si procede dagli elementi di dati più semplici (chiamati “bit”) a quelli più complessi, come i caratteri e i campi. La Figura 1.2 illustra una porzione della gerarchia dei dati.

Bit

Il più piccolo elemento di dato o di informazione in un computer può assumere il valore 0 o il valore 1. Un tale elemento è chiamato **bit** (abbreviazione di “binary digit”, “cifra binaria”, ossia una cifra in grado di assumere uno di *due* valori). È straordinario che le stupefacenti funzioni realizzate dai computer coinvolgano soltanto le manipolazioni più semplici di 0 e 1: *esaminare il valore di un bit, impostare il valore di un bit e rovesciare il valore di un bit* (da 1 a 0 o da 0 a 1).

Caratteri

È noioso lavorare con dati nella forma a basso livello di bit. Si preferisce invece lavorare con *cifre decimali* (0-9), *lettere* (A-Z e a-z) e *simboli speciali* (es. \$, @, %, &, *, (,), -, +, ”, :, ? e /). Cifre, lettere e simboli speciali sono noti come **caratteri**. Il **set di caratteri** del computer è l’insieme di

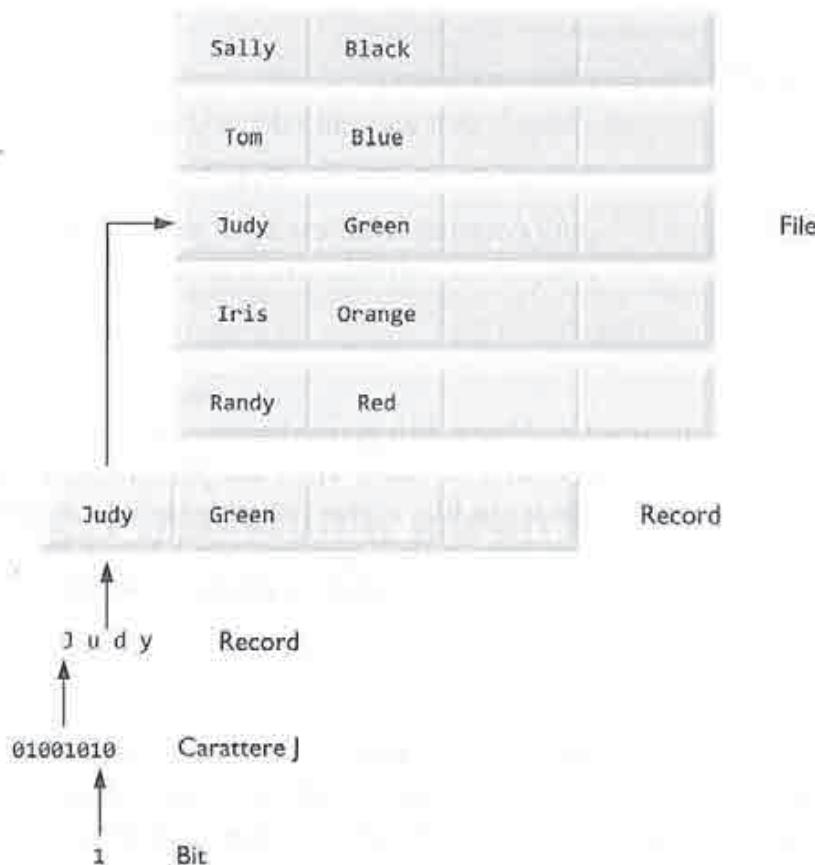


Figura 1.2 Gerarchia dei dati.

tutti i caratteri utilizzati per scrivere programmi e rappresentare dati. I computer elaborano soltanto le cifre binarie 1 e 0, così il set di caratteri di un computer rappresenta ogni carattere come una configurazione delle cifre 1 e 0. C supporta vari set di caratteri (incluso Unicode®) che sono composti di caratteri contenenti uno, due o quattro byte (8, 16 o 32 bit). Unicode contiene caratteri per molti dei linguaggi del mondo. Consultate l'Appendice B per maggiori informazioni sul set di caratteri ASCII (American Standard Code for Information Interchange), il diffuso sottosinsieme di Unicode che rappresenta lettere maiuscole e minuscole, cifre e alcuni comuni caratteri speciali.

Campi

Proprio come i caratteri sono composti da bit, i campi sono composti da caratteri o da byte. Un campo è un gruppo di caratteri o di byte a cui è associato un significato. Ad esempio, un campo costituito da lettere maiuscole e minuscole potrebbe essere usato per rappresentare il nome di una persona, e un campo costituito da cifre decimali potrebbe rappresentare l'età di una persona.

Record

È possibile usare diversi campi correlati per comporre un record. In un sistema di tenuta dei libri paga, ad esempio, il record per un impiegato potrebbe essere composto dai seguenti campi (i tipi di dati possibili per questi campi sono mostrati fra parentesi):

- Numero di identificazione dell'impiegato (un numero intero)
- Nome (una stringa di caratteri)

- Indirizzo (una stringa di caratteri)
- Paga oraria (un numero con un punto decimale)
- Guadagno nell'ultimo anno (un numero con un punto decimale)
- Ammontare delle trattenute per tasse (un numero con un punto decimale).

Un record è dunque un gruppo di campi correlati. Nell'esempio precedente tutti i campi appartengono al medesimo impiegato. Una compagnia potrebbe avere molti impiegati e un record di libro paga per ognuno.

File

Un file è un gruppo di record correlati. [Nota: Più generalmente, un file contiene dati arbitrari in formati arbitrari. In alcuni sistemi operativi un file è visto semplicemente come una *sequenza di byte*. Qualsiasi organizzazione di byte in un file, come l'organizzazione di dati nei record, corrisponde a un punto di vista del programmatore dell'applicazione.] Non è inconsueto che le organizzazioni abbiano molti file, alcuni contenenti miliardi, o persino migliaia di miliardi, di caratteri di informazione.

Database

Un **database** (base di dati) è una raccolta elettronica di dati, organizzata in modo da facilitarne l'accesso e la manipolazione. Il modello più diffuso di database è il *database relazionale*, nel quale i dati sono immagazzinati in semplici *tabelle*. Una tabella comprende *record* e *campi*. Ad esempio, una tabella di studenti potrebbe comprendere nome, cognome, anno, numero di matricola dello studente e la media dei voti. I dati per ogni studente costituiscono un record e i singoli elementi di informazione in ogni record sono i campi. È possibile *effettuare ricerche, ordinare* e manipolare i dati in base alle loro relazioni in tabelle multiple o in più database. Ad esempio, un'università potrebbe usare i dati del database degli studenti in combinazione con i database dei corsi, degli alloggi nel campus, ecc.

Big data

La quantità di dati prodotta in tutto il mondo è enorme e cresce velocemente. Secondo IBM, circa 2,5 quintilioni di byte (2,5 *exabyte*) di dati vengono creati giornalmente e il 90% dei dati del mondo è stato creato solo negli ultimi due anni.² Secondo uno studio di IDC, la fornitura di dati globale raggiungerà 40 *zettabyte* (equivalenti a 40 trilioni di gigabyte) annualmente dal 2020.³ La Figura 1.3 illustra alcune comuni unità di misura dei byte. Le applicazioni di big data hanno a che fare con enormi quantità di dati e questo campo sta crescendo velocemente, creando parecchie opportunità per gli sviluppatori di software. Secondo uno studio di Gartner Group, oltre 4 milioni di lavori nel campo dell'informatica a livello globale supportano già big data dal 2015.⁴

² http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/business_analytics/article/it_business_intelligence.html.

³ <http://recode.net/2014/01/10/stuffed-why-data-storage-is-hot-again-really/>.

⁴ <http://tech.fortune.com/2013/09/04/big-data-employment-boom/>.

Unità	Byte	Corrispondenza approssimativa
1 kilobyte (KB)	1024 byte	10^3 (1024 byte esatti)
1 megabyte (MB)	1024 kilobyte	10^6 (1.000.000 di byte)
1 gigabyte (GB)	1024 megabyte	10^9 (1.000.000.000 di byte)
1 terabyte (TB)	1024 gigabyte	10^{12} (1.000.000.000.000 di byte)
1 petabyte (PB)	1024 terabyte	10^{15} (1.000.000.000.000.000 di byte)
1 exabyte (EB)	1024 petabyte	10^{18} (1.000.000.000.000.000.000 di byte)
1 zettabyte (ZB)	1024 exabyte	10^{21} (1.000.000.000.000.000.000.000 di byte)

Figura 1.3 Unità di misura dei byte.

1.4 Linguaggi macchina, assemblatori e ad alto livello

I programmati scrivono le istruzioni in vari linguaggi di programmazione, alcuni dei quali direttamente comprensibili per i computer e altri, invece, richiedenti passi intermedi di *traduzione*. Oggi si utilizzano centinaia di tali linguaggi, che possono essere suddivisi in tre tipi generali:

1. Linguaggi macchina
2. Linguaggi assemblatori
3. Linguaggi ad alto livello

Linguaggi macchina

Qualunque computer è in grado di comprendere direttamente soltanto il proprio **linguaggio macchina**, definito dal suo design hardware. I linguaggi macchina consistono generalmente di stringhe di numeri (espressi essenzialmente con le cifre 1 e 0) che istruiscono i computer a eseguire la maggior parte delle loro operazioni elementari una alla volta. I linguaggi macchina sono *dipendenti dalla macchina* (un particolare linguaggio macchina può essere utilizzato solo su un tipo di computer). Tali linguaggi sono scomodi per gli esseri umani. Per esempio, ecco una sezione di un vecchio programma di tenuta dei libri paga in linguaggio macchina che aggiunge un compenso straordinario al compenso base e memorizza il risultato nello stipendio lordo:

```
+1300042774
+1400593419
+1200274027
```

Linguaggi assemblatori e assemblatori

Programmare nei linguaggi macchina risultava semplicemente troppo lento e noioso per la maggior parte dei programmati, che per questo motivo, anziché usare le stringhe di numeri che i computer potrebbero comprendere direttamente, hanno iniziato a usare *abbreviazioni* tratte dall'inglese per rappresentare operazioni elementari. Queste abbreviazioni hanno formato la base dei **linguaggi assemblatori**. Per convertire in linguaggio macchina alle velocità dei computer i vecchi programmi in linguaggio assemblatore sono stati sviluppati *programmi traduttori* chiamati **assemblatori**. Anche la seguente sezione di un programma di tenuta dei libri paga in linguaggio assemblatore aggiunge un compenso straordinario al compenso base e memorizza il risultato nello stipendio lordo:

```

load    basepay
add     overpay
store   grosspay

```

Benché tale codice sia più chiaro per gli uomini, è incomprensibile per i computer finché non viene tradotto in linguaggio macchina.

Linguaggi ad alto livello e compilatori

Con l'avvento dei linguaggi assemblatori, l'utilizzo dei computer è aumentato rapidamente, ma i programmatore hanno continuato a usare numerose istruzioni anche per effettuare le operazioni più semplici. Per aumentare la velocità del processo di programmazione sono stati sviluppati linguaggi ad alto livello, in cui si possono scrivere singole istruzioni per eseguire compiti consistenti. I programmi traduttori chiamati **compilatori** convertono i programmi in linguaggio ad alto livello nel linguaggio macchina. I linguaggi ad alto livello consentono di scrivere istruzioni che somigliano quasi all'inglese di ogni giorno e contengono notazioni matematiche di uso comune. Un programma di tenuta di libri paga scritto in un linguaggio ad alto livello potrebbe contenere una *singola* istruzione come questa:

```
grossPay = basePay + overtimePay
```

Dal punto di vista del programmatore, i linguaggi ad alto livello sono preferibili ai linguaggi macchina e assemblatori. C è uno dei linguaggi di programmazione ad alto livello più utilizzati.

Interpreti

La compilazione di un esteso programma in linguaggio ad alto livello nel linguaggio macchina può richiedere al computer una considerevole quantità di tempo. I programmi *interpreti*, sviluppati per eseguire programmi in linguaggi ad alto livello direttamente, fanno risparmiare i tempi di compilazione, sebbene lavorino più lentamente dei programmi compilati.

1.5 Il linguaggio di programmazione C

Il linguaggio C è l'evoluzione di due precedenti linguaggi, BCPL e B. BCPL è stato sviluppato nel 1967 da Martin Richards come linguaggio per scrivere sistemi operativi e compilatori. Ken Thompson ha ripreso molte caratteristiche del suo linguaggio B da quelle omologhe del BCPL e nel 1970 ha usato B per creare versioni iniziali del sistema operativo UNIX presso i Laboratori Bell.

Il linguaggio C si è evoluto da B per opera di Dennis Ritchie presso i Laboratori Bell ed è stato originariamente implementato nel 1972. C è da sempre comunemente conosciuto come il linguaggio di sviluppo del sistema operativo UNIX. Molti dei principali sistemi operativi odierni sono scritti in C. Questo linguaggio è generalmente indipendente dall'hardware. Con una progettazione accurata è possibile scrivere programmi nel linguaggio C portabili sulla maggior parte dei computer.

Ideato per le prestazioni

Il linguaggio C è largamente usato per sviluppare sistemi che richiedono prestazioni elevate, come i sistemi operativi, i sistemi embedded, i sistemi in tempo reale e i sistemi di telecomunicazione (Figura 1.4).

Alla fine degli anni Settanta il linguaggio C si è evoluto in quello che ora è chiamato "C tradizionale". La pubblicazione nel 1978 del libro di Kernighan e Ritchie *Il linguaggio di pro-*

Applicazione	Descrizione
Sistemi operativi	La portabilità e le prestazioni del linguaggio C lo rendono adatto a implementare sistemi operativi, come Linux, parti di Windows di Microsoft e Android di Google. OS X di Apple è costruito con Objective-C, derivato dal linguaggio C. Parleremo di alcuni importanti sistemi operativi per desktop/notebook e per dispositivi mobili nel Paragrafo 1.11.
Sistemi embedded	La grande maggioranza dei microprocessori prodotti ogni anno è inserita in dispositivi diversi dai computer di tipo general purpose. Questi sistemi embedded comprendono sistemi di navigazione, elettrodomestici intelligenti, sistemi di sicurezza privata, smartphone, robot, incroci intelligenti per il traffico e altro. Il linguaggio C è uno dei più popolari linguaggi di programmazione per lo sviluppo di sistemi embedded, che solitamente necessitano di operare il più velocemente possibile e di risparmiare memoria. Ad esempio, il sistema frenante ABS (<i>Anti Block System</i>) di un'auto deve rispondere immediatamente per far rallentare o fermare il veicolo senza slittamento; le periferiche dei videogiochi devono rispondere istantaneamente per evitare qualsiasi sfasamento tra la periferica e l'azione nel gioco e per assicurare animazioni fluide.
Sistemi in tempo reale	I sistemi in tempo reale sono spesso utilizzati per applicazioni in missioni critiche che richiedono tempi di risposta quasi istantanei e prevedibili. I sistemi in tempo reale richiedono un lavoro continuo. Ad esempio, un sistema di controllo del traffico aereo deve costantemente monitorare la posizione e la velocità degli aerei e riportare subito tali informazioni ai controllori di volo, in modo che questi possano avvisare gli aerei per far loro cambiare rotta nel caso di una possibile collisione.
Sistemi di telecomunicazione	I sistemi di telecomunicazione hanno necessità di instradare verso le loro destinazioni grandi quantità di dati velocemente, per assicurare che le informazioni audio e video siano trasmesse bene e senza ritardi.

Figura 1.4 Alcune popolari applicazioni del linguaggio C con particolare riferimento alle prestazioni.

grammazione C attirò una grande attenzione sul linguaggio. Il libro è diventato uno dei testi di informatica di maggior successo di tutti i tempi.

Standardizzazione

La rapida espansione del linguaggio C su vari tipi di computer (talvolta chiamati piattaforme hardware) ha portato a molte sue variazioni simili tra loro ma spesso incompatibili. Questo ha costituito un problema serio per i programmatore che avevano bisogno di sviluppare un codice che girasse su diverse piattaforme. Divenne chiaro che si rendeva necessaria una versione standard del linguaggio. Nel 1983, all'interno dell'American National Standards Committee per i computer e l'elaborazione delle Informazioni (X3), fu creato il comitato tecnico X3J11, con l'obiettivo di "fornire una definizione del linguaggio non ambigua e indipendente dalla macchina". Nel 1989 lo standard fu approvato negli Stati Uniti come ANSI X3.159-1989 tramite l'American National Standards Institute (ANSI), poi in tutto il mondo tramite l'International Standards Organization (ISO). Questo è chiamato semplicemente linguaggio C standard. Questo standard è stato aggiornato nel 1999 (il suo documento di standardizzazione è denominato INCITS/ISO/IEC 9899-1999 ed è spesso chiamato semplicemente C99). È possibile ottenere copie del documento direttamente dall'ANSI (www.ansi.org) attraverso il sito webstore.ansi.org/ansidocstore.

Il linguaggio C11 standard

Analizziamo anche l'ultimo C standard (chiamato C11), che è stato approvato nel 2011. Il C11 rifiinisce ed espande le capacità del linguaggio C. Abbiamo integrato in specifici paragrafi del testo e nell'Appendice E (on-line) molte delle nuove caratteristiche implementate nei principali compilatori C.



Portabilità 1.1

Dal momento che il C è un linguaggio indipendente dall'hardware e largamente diffuso, le applicazioni scritte in C possono spesso essere eseguite con poche modifiche, o nessuna del tutto, su un'ampia gamma di sistemi di computer.

1.6 Libreria Standard del C

Come imparerete nel Capitolo 5, i programmi in C sono costituiti da moduli chiamati **funzioni**. È possibile programmare ex novo tutte le funzioni necessarie per un programma in C, ma la maggior parte dei programmatore in C si avvale della ricca collezione di funzioni esistenti, chiamata **Libreria Standard del C**. Sono quindi necessarie due cose per imparare a programmare in C: imparare il linguaggio C stesso e imparare a usare le funzioni della Libreria Standard del C. In tutto il libro saranno esaminate molte di queste funzioni. Ai programmatore che hanno necessità di comprendere a fondo le funzioni della libreria, il modo in cui vanno implementate e utilizzate per scrivere un codice portabile, consigliamo vivamente la lettura del libro *The Standard C Library* di P. J. Plauger. In questo testo useremo e spiegheremo molte funzioni della libreria del C.

Il testo incoraggia un *approccio a blocchi* per la creazione di programmi. Evitate di “reinventare la ruota” e usate invece moduli esistenti (**riutilizzo del software**). Quando si programma in C si usano tipicamente i seguenti blocchi costituenti:

- Funzioni della Libreria Standard del C
- Funzioni che create voi stessi
- Funzioni che altri (di cui vi fidate) hanno creato e reso disponibili per voi.

Il vantaggio di creare le proprie funzioni sta nel sapere esattamente come queste opereranno. Potrete esaminare il codice in C. Lo svantaggio consiste nel fatto che il lavoro di progettazione, sviluppo, messa a punto e regolazione delle prestazioni di nuove funzioni richiede una considerevole quantità di tempo.



Prestazioni 1.1

Usare le funzioni della Libreria Standard del C invece di scrivere le proprie versioni può migliorare le prestazioni del programma, poiché queste funzioni sono scritte con cura per offrire prestazioni efficienti.



Portabilità 1.2

Usare le funzioni della Libreria Standard del C invece di scrivere le proprie versioni può migliorare la portabilità del programma, poiché queste funzioni sono usate praticamente in tutte le implementazioni del C standard.

1.7 C++ e altri linguaggi basati sul C

Il linguaggio C++, sviluppato da Bjarne Stroustrup nei Laboratori Bell, ha le sue origini nel linguaggio C, ma introduce diverse nuove caratteristiche che lo migliorano. L'aspetto più importante è che fornisce funzioni per la **programmazione orientata agli oggetti**. Gli oggetti sono essenzialmente **componenti software riutilizzabili** che modellano elementi del mondo reale. L'uso di un approccio modulare all'implementazione e al progetto orientato agli oggetti rende più produttivi i gruppi che sviluppano il software. La Figura 1.5 introduce altri comuni linguaggi di programmazione basati sul C.

Linguaggio di programmazione	Descrizione
Objective-C	Objective-C è un linguaggio orientato agli oggetti basato sul C. È stato sviluppato nei primi anni Ottanta e in seguito acquistato da NeXT, a sua volta acquistata da Apple. È divenuto il linguaggio di programmazione di riferimento per il sistema operativo OS X e per i dispositivi basati su iOS (come iPod, iPhone e iPad).
Java	Sun Microsystems ha lanciato nel 1991 un progetto interno di ricerca aziendale che ha dato vita al linguaggio di programmazione chiamato Java, basato sul C++ e orientato agli oggetti. Obiettivo fondamentale di Java è quello di rendere possibile la scrittura di programmi che possono essere eseguiti su una grande varietà di sistemi informatici e su dispositivi controllati da computer. Tale obiettivo viene spesso indicato con il detto "scrivete una volta, eseguite ovunque". Java è usato per sviluppare applicazioni aziendali a larga scala, per migliorare le funzionalità dei web server (i computer che forniscono il contenuto che visualizziamo nei nostri browser per il web), per sviluppare applicazioni per dispositivi di largo consumo (smartphone, televisori e altro) e per molti altri scopi. Java è anche il linguaggio di sviluppo delle app Android.
C#	I tre principali linguaggi di programmazione di Microsoft orientati agli oggetti sono il Visual Basic (basato sull'originale Basic), il Visual C++ (basato su C++) e C# (basato su C++ e su Java, e sviluppato per integrare Internet e il web nelle applicazioni informatiche). Sono disponibili anche versioni del C# non Microsoft.
PHP	PHP, un linguaggio di scripting orientato agli oggetti e open-source, supportato da una comunità di utenti e sviluppatori, è utilizzato da milioni di siti web. PHP è indipendente dalla piattaforma (ne esistono implementazioni per tutti i sistemi operativi UNIX, Linux, Mac e Windows). PHP supporta anche molti database, compreso il popolare open-source MySQL.
Python	Python, un altro linguaggio di scripting orientato agli oggetti, è stato rilasciato pubblicamente nel 1991. Sviluppato da Guido van Rossum del National Research Institute for Mathematics and Computer Science (CWI) di Amsterdam, Python attinge parecchio da Modula-3, un linguaggio di programmazione di sistemi. Python è "estensibile", ovvero può essere esteso attraverso classi e interfacce di programmazione.
JavaScript	JavaScript è il linguaggio di scripting più utilizzato. È usato innanzitutto per aggiungere dinamicità alle pagine web (es. animazioni e interattività con l'utente). È implementato in tutti i più importanti browser per il web.

Figura 1.5 Comuni linguaggi di programmazione basati sul C.

continua

Linguaggio di programmazione	Descrizione
Swift	Swift, il nuovo linguaggio di programmazione di Apple per lo sviluppo di app iOS e Mac, fu annunciato alla Apple World Wide Developer Conference (WWDC) nel giugno 2014. Sebbene le app possano ancora essere sviluppate e mantenute con Objective-C, Swift è il linguaggio del futuro di Apple per lo sviluppo di app. È un linguaggio moderno che elimina parte della complessità di Objective-C, risultando più semplice per i principianti e per coloro che vengono da altri linguaggi di alto livello come Java, C#, C++ e C. Swift punta sulle prestazioni e sulla sicurezza, e ha pieno accesso alle capacità di programmazione di iOS e Mac.

Figura 1.5 Comuni linguaggi di programmazione basati sul C.

1.8 Ambiente di sviluppo tipico per la programmazione in C

I sistemi di supporto alla programmazione in C consistono generalmente di diverse parti: un ambiente di sviluppo, il linguaggio e la Libreria Standard del C. L’analisi che segue illustra il tipico ambiente di sviluppo per il linguaggio C mostrato nella Figura 1.6.

Per essere eseguiti, i programmi in C passano normalmente attraverso sei fasi (Figura 1.6): **editing** (redazione), **preelaborazione**, **compilazione**, **linking** (collegamento), **loading** (caricamento) ed **esecuzione**. Sebbene questo sia un libro di testo generico sul C (scritto senza tener conto dei dettagli specifici di un particolare sistema operativo), in questo paragrafo ci concentreremo su un tipico sistema per il linguaggio C basato su Linux. [Nota: i programmi presentati in questo libro potranno essere eseguiti con poche modifiche o nessuna del tutto sui sistemi più diffusi, compresi i sistemi Microsoft basati su Windows.] Se non state usando un sistema Linux, fate riferimento alla documentazione del sistema che state usando o chiedete all’istruttore come eseguire queste attività nel vostro ambiente. Consultate il nostro Resource Center per il C al sito www.deitel.com/C per trovare materiale introduttivo e guide per i più diffusi compilatori e ambienti di sviluppo per il C.

1.8.1 Fase 1: creazione di un programma

La Fase 1 consiste nell’editing di un file per mezzo di un programma editor. Due editor molto diffusi sui sistemi Linux sono `vi` ed `emacs`. Gli ambienti di sviluppo per C/C++, come Eclipse e Visual Studio di Microsoft, forniscono editor che sono integrati negli stessi ambienti di programmazione. Si scrive un programma in C con l’editor, si apportano correzioni se necessario, poi si memorizza il programma su un dispositivo di memoria secondaria, come un disco fisso. I nomi dei file che contengono programmi in C devono terminare con l’estensione `.c`.

1.8.2 Fasi 2 e 3: preelaborazione e compilazione di un programma in C

Nella Fase 2 si dà il comando di compilazione del programma. Il compilatore traduce il programma in C in un codice nel linguaggio macchina (denominato anche codice oggetto). In un sistema di sviluppo per il C viene eseguito automaticamente un programma di preelaborazione prima che inizi la fase di traduzione da parte del compilatore. Il preprocessore C obbedisce a speciali coman-

di chiamati **direttive per il preprocessore**, i quali indicano che certe operazioni devono essere eseguite sul programma prima della compilazione. Queste operazioni solitamente consistono nell'inclusione di altri file nel file da compilare e nell'esecuzione di varie sostituzioni di testo. Le più comuni direttive per il preprocessore sono esaminate nei primi capitoli; un'analisi dettagliata delle caratteristiche del preprocessore è presentata nel Capitolo 13.

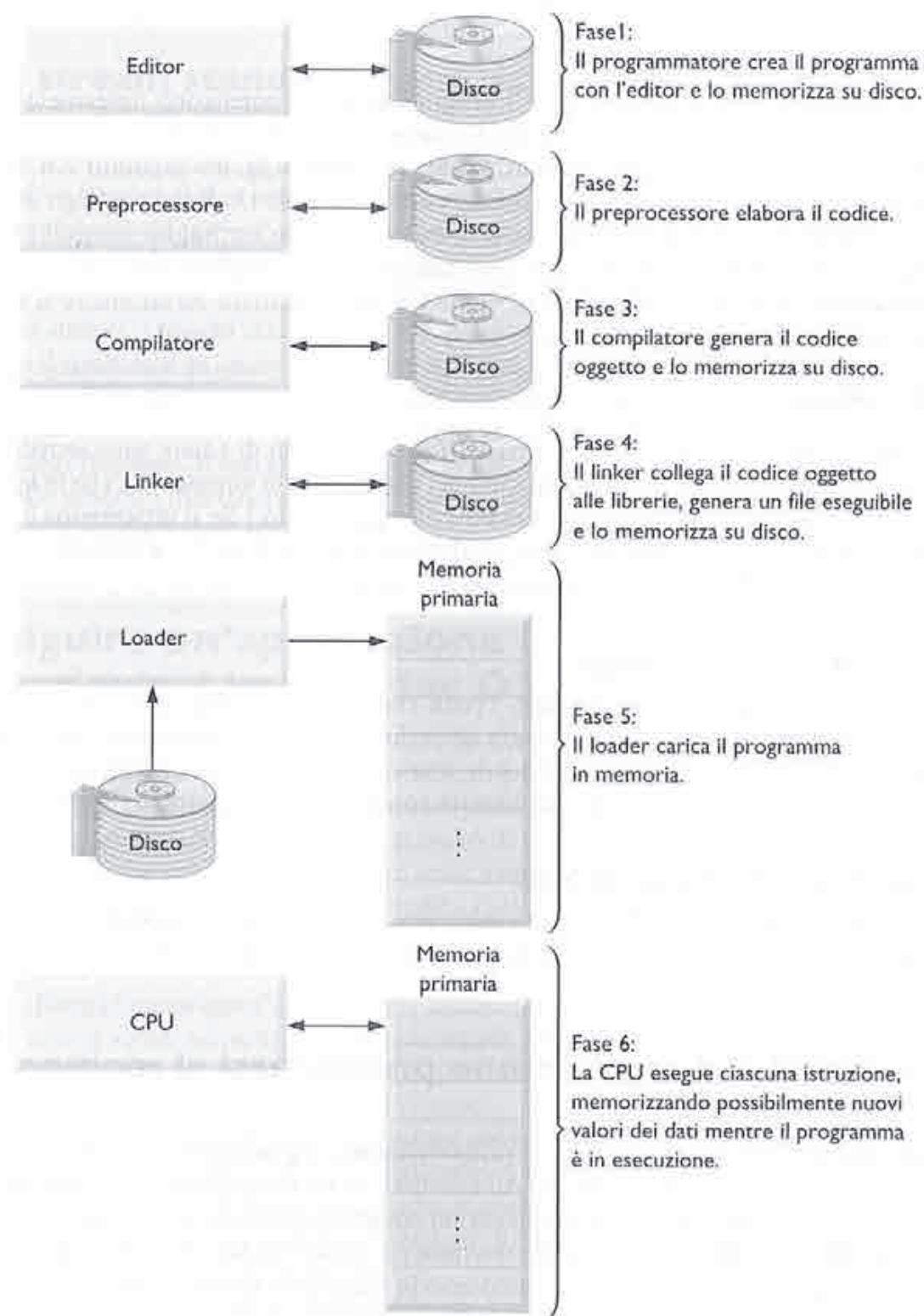


Figura 1.6 Tipico ambiente di sviluppo per il C.

Nella Fase 3 il compilatore traduce il programma in C nel codice in linguaggio macchina. Quando il compilatore non riesce a riconoscere un'istruzione perché questa viola le regole del linguaggio, si verifica un **errore di sintassi**. Per aiutare a individuare e a correggere l'istruzione scorretta, il compilatore dà un messaggio di errore. Lo Standard del C non specifica la forma esatta per i messaggi di errore dati dal compilatore, così i messaggi di errore che si vedono sul proprio sistema possono differire da quelli che si vedono su altri sistemi. Gli errori di sintassi sono chiamati anche errori di compilazione o errori al momento della compilazione.

1.8.3 Fase 4: linking

La fase successiva è chiamata **linking**. I programmi in C contengono tipicamente riferimenti a funzioni definite altrove, come nelle librerie standard o nelle librerie private di gruppi di programmatore che lavorano su un progetto particolare. Il codice oggetto prodotto dal compilatore C contiene solitamente "buchi" dovuti a queste parti mancanti. Un **linker** collega il codice oggetto con il codice delle funzioni mancanti, così da produrre un'**immagine eseguibile** (senza pezzi mancanti). Su un tipico sistema Linux il comando per la compilazione e il linking di un programma è chiamato **gcc** (il compilatore GNU C). Per compilare ed effettuare il link di un programma chiamato `welcome.c`, scrivete

```
gcc welcome.c
```

al prompt di Linux e premete il tasto Invio. [Nota: i comandi di Linux sono sensibili al carattere minuscolo o maiuscolo delle lettere; assicuratevi che ogni `c` sia minuscola e che le lettere nel nome del file siano nel carattere minuscolo o maiuscolo appropriato.] Se il programma è compilato e il linking è effettuato correttamente, viene prodotto (per default) un file chiamato `a.out`. Questa è l'immagine eseguibile del nostro programma `welcome.c`.

1.8.4 Fase 5: loading

La fase successiva è chiamata **loading**. Prima che un programma possa essere eseguito, deve innanzitutto essere caricato nella memoria centrale e questo si fa per mezzo del **loader**, il quale prende dall'immagine eseguibile e la trasferisce nella memoria primaria. Vengono anche caricati componenti aggiuntivi presi da librerie condivise che supportano il programma.

1.8.5 Fase 6: esecuzione

Alla fine, il computer, sotto il controllo della sua CPU, esegue il programma un'istruzione per volta. Per caricare ed eseguire il programma su un sistema Linux, scrivete `./a.out` al prompt di Linux e premete Invio.

1.8.6 Problemi che possono presentarsi al momento dell'esecuzione

I programmi non funzionano sempre al primo tentativo. Ognuna delle fasi precedenti può fallire per via di vari errori che analizzeremo. Ad esempio, se un programma in esecuzione tentasse una divisione per zero (operazione non ammessa sui computer, proprio come in aritmetica), apparirebbe un messaggio di errore; a quel punto dovreste ritornare alla fase di editing, apportare le necessarie correzioni e procedere di nuovo attraverso le successive fasi per verificare che le correzioni funzionino correttamente.



Errori comuni di programmazione 1.1

Errori come una divisione per zero si verificano quando un programma è in esecuzione, perciò vengono chiamati errori in fase di esecuzione. Dividere per zero è in genere un errore irreversibile, uno di quelli che causano immediatamente la terminazione del programma, senza che questo abbia eseguito con successo il proprio lavoro. Gli errori non irreversibili permettono al programma di essere eseguito fino alla fine, producendo però spesso risultati scorretti.

1.8.7 Gli stream standard input, standard output e standard error

La maggior parte dei programmi in C riceve in ingresso e/o produce in uscita dei dati. Certe funzioni C ricevono il loro input da **stdin** (standard input stream, il flusso standard di dati in entrata), che è normalmente la tastiera, anche se **stdin** può essere reindirizzato a un altro stream (flusso di dati). I dati sono spesso inviati a **stdout** (standard output stream, il flusso standard di dati in uscita), che è normalmente lo schermo del computer, anche se **stdout** può essere reindirizzato a un altro stream. Quando diciamo che un programma stampa un risultato, normalmente intendiamo che il risultato è mostrato sullo schermo. I dati possono essere inviati a dispositivi quali dischi e stampanti. Vi è anche uno **standard error stream** (flusso standard di dati per gli errori) denominato **stderr**. Lo stream **stderr** (normalmente connesso allo schermo) viene usato per mostrare messaggi di errore. È uso comune inviare i dati regolari in uscita (**stdout**) a un dispositivo diverso dallo schermo mantenendo **stderr** collegato allo schermo in modo che l'utente possa essere immediatamente informato degli errori.

1.9 Eseguire un'applicazione in C negli ambienti Windows, Linux e Mac OS X

In questo paragrafo eseguiremo e interagiremo con la nostra prima applicazione in C. Inizieremo con un gioco che consiste nell'indovinare un numero scelto a caso fra 1 e 1000. Se il numero viene indovinato, il gioco finisce; se non viene indovinato, l'applicazione indica se è maggiore o minore del numero corretto. Non c'è limite al numero di risposte che si possono dare, ma si deve riuscire a indovinare uno dei numeri di questa serie entro un massimo di dieci tentativi. Dietro questo gioco vi è una raffinata tecnica informatica (nel Paragrafo 6.10 esploreremo la tecnica della *ricerca binaria*).

Per questa prova abbiamo modificato l'applicazione rispetto all'esercizio che dovete svolgere nel Capitolo 5. Normalmente quest'applicazione seleziona *a caso* le risposte esatte. L'applicazione modificata usa la stessa sequenza di risposte esatte ogni volta che si esegue il programma (anche se questa sequenza può variare a seconda del compilatore), così si possono usare le stesse risposte di questo paragrafo e vedere gli stessi risultati.

Eseguiremo l'applicazione utilizzando il **Prompt dei comandi** di Windows, una shell di Linux e una finestra di **Terminale** in Mac OS X. L'applicazione viene eseguita allo stesso modo su tutte e tre le piattaforme. Dopo l'esecuzione sulla vostra piattaforma, potete provare la versione *randomizzata* del gioco fornita con ognuna delle versioni differenti dell'esempio che trovate in una sottocartella chiamata **randomized_version**.

Sono disponibili molti ambienti di sviluppo in cui è possibile compilare, costruire ed eseguire applicazioni in C, quali GNU C, Dev C++, Visual C++ di Microsoft, CodeLite, NetBeans, Eclipse,

Xcode, ecc. Consultate il vostro istruttore per avere informazioni sul vostro specifico ambiente di sviluppo. La maggior parte degli ambienti di sviluppo per C++ può compilare sia programmi in C che in C++.

Nei passi successivi verrà mostrata l'esecuzione dell'applicazione con l'inserimento da parte dell'utente di vari numeri per indovinare quello esatto. Le caratteristiche e le funzionalità di questa applicazione sono quelle tipiche che apprenderete per programmare con questo libro. Useremo diversi caratteri tipografici per distinguere tra quelli che si vedono sullo schermo (es. il **Prompt dei comandi**) e quelli che non hanno una relazione diretta con lo schermo. Metteremo in rilievo gli elementi mostrati sullo schermo come titoli e menu (es. il menu **File**) con il carattere **Helvetica** in semi-grassetto; per mettere in evidenza i nomi dei file, il testo mostrato da un'applicazione e i valori da fornire in ingresso a un'applicazione (es. **GuessNumber o 500**) useremo il carattere **Consolas**. Come avrete notato, le **definizioni** dei termini chiave sono mostrate in grassetto.

Per l'esecuzione dell'applicazione nell'ambiente Windows, in questo paragrafo abbiamo modificato il colore dello sfondo della finestra del **Prompt dei comandi** per renderla più leggibile. Per modificare i colori della finestra del **Prompt dei comandi** sul vostro sistema, apritela selezionando **Start > Tutti i programmi > Accessori > Prompt dei comandi**, poi fate clic con il pulsante destro del mouse sulla barra del titolo e selezionate **Proprietà**. Nella finestra di dialogo delle **Proprietà - "Prompt dei comandi"** che appare, cliccate sul pannello **Colori** e selezionate le vostre preferenze riguardo al testo e ai colori dello sfondo.

1.9.1 Eseguire un'applicazione in C dal Prompt dei comandi di Windows

- Controllo del setup.* È importante leggere la sezione “Before you Begin” nel sito www.deitel.com/books/chtp8/ per assicurarsi di aver copiato correttamente gli esempi del libro sul proprio disco fisso.
- Individuazione dell'applicazione completa.* Aprite una finestra del **Prompt dei comandi**. Per posizionarvi nella directory (o cartella) per l'applicazione completa **GuessNumber**, scrivete **cd c:\examples\ch01\GuessNumber\Windows**, poi premete Invio (Figura 1.7). Per cambiare la directory corrente si usa il comando **cd**.

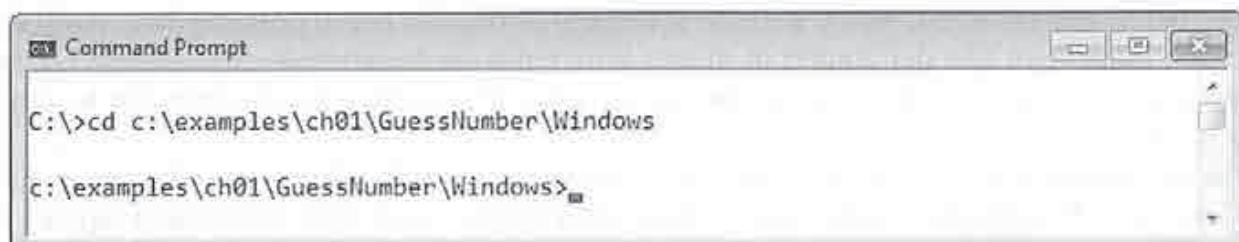


Figura 1.7 Apertura di una finestra del Prompt di comandi e cambiamento della directory.

- Esecuzione dell'applicazione **GuessNumber**.* Ora che siete nella directory contenente l'applicazione **GuessNumber**, scrivete il comando **GuessNumber** (Figura 1.8) e premete Invio. [Nota: **GuessNumber.exe** è il vero nome dell'applicazione; tuttavia, Windows assume l'estensione **.exe** per default.]

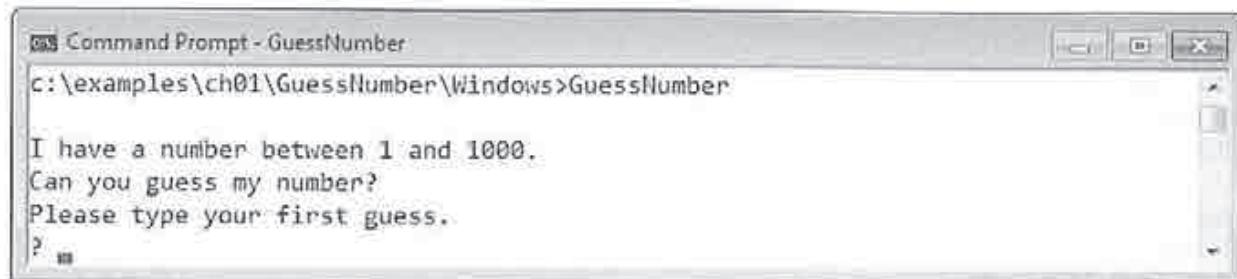


Figura 1.8 Esecuzione dell'applicazione GuessNumber.

4. *Inserimento della prima risposta.* L'applicazione visualizza "Please type your first guess." seguito da un punto interrogativo (?) come prompt sulla riga successiva (Figura 1.8). Al prompt digitate 500 (Figura 1.9).

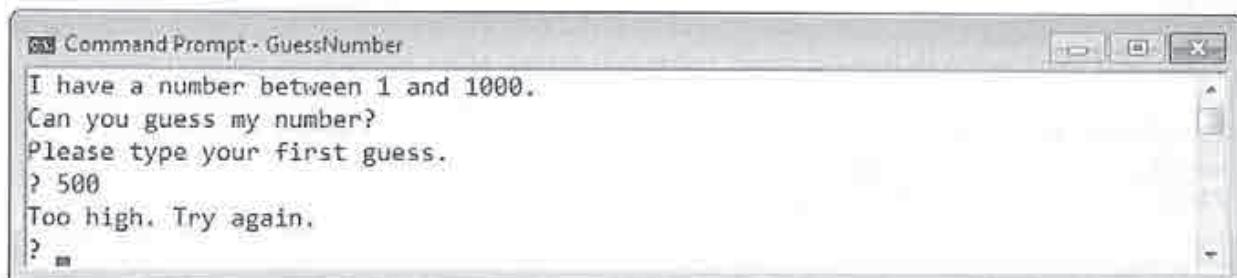


Figura 1.9 Inserimento della prima risposta.

5. *Inserimento di un'altra risposta.* L'applicazione visualizza "Too high. Try again.", intendendo che il valore inserito è maggiore del numero scelto dall'applicazione come risposta esatta. Dovete quindi inserire un numero più basso come risposta successiva. Al prompt digitate 250 (Figura 1.10). L'applicazione visualizza di nuovo "Too high. Try again.", poiché il valore inserito è ancora maggiore del numero scelto dall'applicazione.

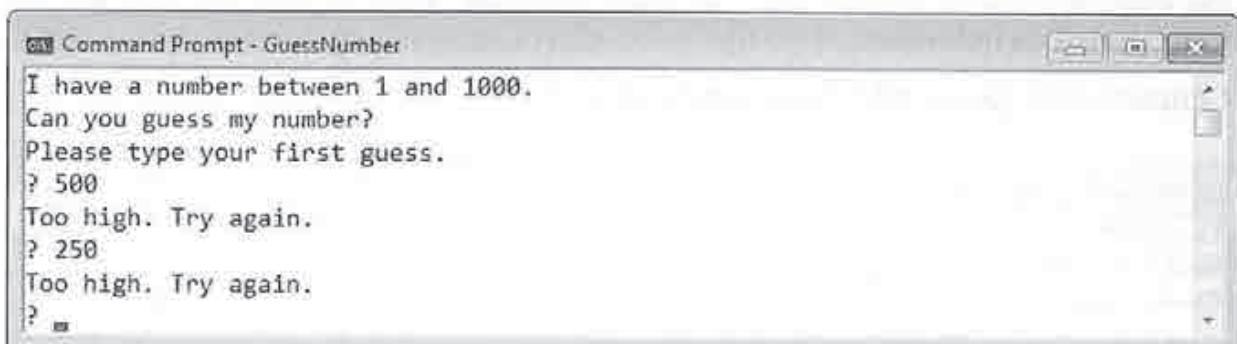


Figura 1.10 Inserimento di una seconda risposta e ricezione del feedback.

6. *Inserimento di ulteriori risposte.* Continuate a giocare introducendo valori finché non indovinate il numero esatto. L'applicazione mostrerà "Excellent! You guessed the number!" (Figura 1.11).

```
cmd Command Prompt - GuessNumber
Too high. Try again.
? 125
Too high. Try again.
? 62
Too high. Try again.
? 31
Too low. Try again.
? 46
Too high. Try again.
? 39
Too low. Try again.
? 43
Too high. Try again.
? 41
Too low. Try again.
? 42

Excellent! You guessed the number!
Would you like to play again?
Please type ( 1=yes, 2=no )?   
```

Figura 1.11 Inserimento di risposte aggiuntive e individuazione del numero esatto.

7. *Continuazione del gioco o uscita dall'applicazione.* Dopo che avete risposto correttamente, l'applicazione chiede se volete continuare a giocare (Figura 1.11). Al prompt, l'inserimento di 1 fa sì che l'applicazione scelga un nuovo numero e visualizzi il messaggio “Please type your first guess.”, seguito da un prompt con un punto interrogativo (Figura 1.12), che vi permette di fornire la prima risposta nel nuovo gioco. Digitando 2 terminerete l'applicazione e tornerete alla directory dell'applicazione nel **Prompt dei comandi** (Figura 1.13). Ogni volta che eseguirete questa applicazione dall'inizio (cioè dal *passo 3*), essa sceglierà per voi gli stessi numeri da indovinare.
8. *Chiusura della finestra del Prompt dei comandi.*

```
cmd Command Prompt - GuessNumber
Excellent! You guessed the number!
Would you like to play again?
Please type ( 1=yes, 2=no )? 1

I have a number between 1 and 1000.
Can you guess my number?
Please type your first guess.
?   
```

Figura 1.12 Continuazione del gioco.

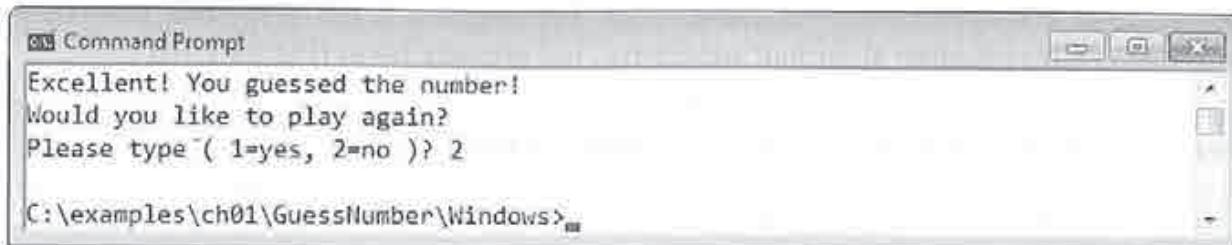


Figura 1.13 Fine del gioco.

1.9.2 Eseguire un'applicazione in C usando GNU C con Linux

Per le figure di questo paragrafo useremo un carattere in grassetto per evidenziare l'input dell'utente richiesto a ogni passo. Per questa modalità di esecuzione dell'applicazione supponiamo che sappiate come copiare gli esempi nella vostra directory. Siete pregati di consultare il vostro istruttore se avete qualche domanda su come copiare i file nel sistema Linux. Il prompt nella shell sul nostro sistema usa il segno tipografico tilde (~) per rappresentare la home directory, e ogni prompt termina col carattere grafico dollaro (\$). Il prompt potrà variare nei diversi sistemi Linux.

1. *Controllo del setup.* È importante leggere il paragrafo "Before You Begin" nel sito www.deitel.com/books/chpt8/ per assicurarsi di aver copiato correttamente gli esempi del libro sul proprio disco fisso.
2. *Individuazione dell'applicazione completa.* Da una shell Linux cambiate la directory corrente in quella dell'applicazione GuessNumber completa (Figura 1.14) scrivendo

```
cd examples/ch01/GuessNumber/GNU
```

e poi premendo Invio. Il comando cd è usato per cambiare directory.

```
~$ cd examples/ch01/GuessNumber/GNU
~/examples/ch01/GuessNumber/GNU$
```

Figura 1.14 Cambiamento della directory corrente per l'applicazione GuessNumber.

3. *Compilazione dell'applicazione GuessNumber.* Per eseguire un'applicazione con il compilatore GNU C bisogna prima compilarla scrivendo

```
gcc GuessNumber.c -o GuessNumber
```

come nella Figura 1.15. Questo comando compila l'applicazione. L'opzione -o è seguita dal nome che volete assegnare al file eseguibile: GuessNumber.

```
~/examples/ch01/GuessNumber/GNU$ gcc -std=c11 GuessNumber.c -o GuessNumber
~/examples/ch01/GuessNumber/GNU$
```

Figura 1.15 Compilazione dell'applicazione GuessNumber con il comando gcc.

4. *Esecuzione dell'applicazione GuessNumber.* Per eseguire il file eseguibile GuessNumber scrivete `./GuessNumber` al prompt successivo, poi premete Invio (Figura 1.16).

```
~/examples/ch01/GuessNumber/GNU$ ./GuessNumber
```

I have a number between 1 and 1000.
 Can you guess my number?
 Please type your first guess.
 ?

Figura 1.16 Esecuzione dell'applicazione GuessNumber.

5. *Inserimento della prima risposta.* L'applicazione visualizza “Please type your first guess.” seguito da un punto interrogativo (?) come prompt sulla riga successiva (Figura 1.16). Al prompt digitate 500 (Figura 1.17).

```
~/examples/ch01/GuessNumber/GNU$ ./GuessNumber
```

I have a number between 1 and 1000.
 Can you guess my number?
 Please type your first guess.
 ? 500
 Too high. Try again.
 ?

Figura 1.17 Inserimento di una risposta iniziale.

6. *Inserimento di un'altra risposta.* L'applicazione visualizza “Too high. Try again.”, intendendo che il valore inserito è maggiore del numero scelto dall'applicazione come risposta esatta (Figura 1.17). Al prompt successivo digitate 250 (Figura 1.18). Questa volta l'applicazione visualizza “Too low. Try again.” poiché il valore inserito è minore di quello della risposta esatta.

```
~/examples/ch01/GuessNumber/GNU$ ./GuessNumber
```

I have a number between 1 and 1000.
 Can you guess my number?
 Please type your first guess.
 ? 500
 Too high. Try again.
 ? 250
 Too low. Try again.
 ?

Figura 1.18 Inserimento di una seconda risposta e ricezione del feedback.

7. *Inserimento di ulteriori risposte.* Continuate a giocare (Figura 1.19) introducendo alcuni valori finché non avrete indovinato il numero esatto. Quando lo avrete indovinato, l'applicazione visualizzerà “Excellent! You guessed the number!”.

```
Too low. Try again.  
? 375  
Too low. Try again.  
? 437  
Too high. Try again.  
? 406  
Too high. Try again.  
? 391  
Too high. Try again.  
? 383  
Too low. Try again.  
? 387  
Too high. Try again.  
? 385  
Too high. Try again.  
? 384  
  
Excellent! You guessed the number!  
Would you like to play again?  
Please type ( 1=yes, 2=no )?
```

Figura 1.19 Inserimento di risposte aggiuntive e individuazione del numero esatto.

8. *Continuazione del gioco o fine dell'applicazione.* Dopo che avete indovinato il numero esatto, l'applicazione vi domanda se volete continuare a giocare. Al prompt, l'inserimento di 1 fa sì che l'applicazione scelga un nuovo numero e visualizzi il messaggio "Please type your first guess.", seguito da un prompt con un punto interrogativo (Figura 1.20), che vi permette di fornire la prima risposta nel nuovo gioco. Digitando 2 terminerete l'applicazione e tornerete alla directory dell'applicazione nella shell (Figura 1.21). Ogni volta che eseguirete questa applicazione dall'inizio (cioè dal passo 4), essa sceglierà per voi gli stessi numeri da indovinare.

```
Excellent! You guessed the number!  
Would you like to play again?  
Please type ( 1=yes, 2=no )? 1
```

```
I have a number between 1 and 1000.  
Can you guess my number?  
Please type your first guess.  
?
```

Figura 1.20 Continuazione del gioco.

```
Excellent! You guessed the number!  
Would you like to play again?  
Please type ( 1=yes, 2=no )? 2
```

```
~/examples/ch01/GuessNumber/GNU$
```

Figura 1.21 Fine del gioco.

1.9.3 Eseguire un'applicazione in C usando GNU C con Mac OS X

Per le figure di questo paragrafo useremo il grassetto per evidenziare l'input dell'utente richiesto a ogni passo. Per questa modalità di esecuzione userete una finestra di **Terminale** di Mac OS X. Per aprire una finestra di **Terminale** cliccate l'icona *Spotlight Search* nell'angolo in alto a destra del vostro schermo, poi scrivete **Terminale** per localizzare l'applicazione **Terminale**. Sotto **Applicazioni**, nei risultati della *Spotlight Search*, selezionate **Terminale** per aprire una finestra. Il prompt di una finestra di **Terminale** ha la forma *hostName:~ userFolder\$* per rappresentare la vostra directory. Per le figure di questo paragrafo useremo il nome generico *userFolder* per rappresentare la directory (o cartella) del vostro account utente.

- Controllo del setup.** È importante leggere il paragrafo “Before You Begin” al sito www.deitel.com/books/chtp8/ per assicurarsi di aver copiato correttamente gli esempi del libro sulla propria unità disco. Supponiamo che gli esempi si trovino nella directory **Documents/examples** del vostro account utente.
- Individuazione dell'applicazione completa.** Nella finestra di **Terminale** portatevi nella directory contenente l'applicazione **GuessNumber** completa (Figura 1.22) scrivendo

```
cd Documents/examples/ch01/GuessNumber/GNU
```

e poi premendo Invio. Per cambiare directory si usa il comando **cd**.

```
hostName:~ userFolder$ cd Documents/examples/ch01/GuessNumber/GNU
hostName:GNU$
```

Figura 1.22 Cambiamento della directory corrente per l'applicazione **GuessNumber**.

- Compilazione dell'applicazione *GuessNumber*.** Per eseguire un'applicazione dovete prima compilarla scrivendo

```
clang GuessNumber.c -o GuessNumber
```

come nella Figura 1.23. Questo comando compila l'applicazione e produce un file eseguibile chiamato **GuessNumber**.

```
hostName:GNU~ userFolder$ clang GuessNumber.c -o GuessNumber
hostName:GNU~ userFolder$
```

Figura 1.23 Compilazione dell'applicazione **GuessNumber** con il comando **clang**.

- Esecuzione dell'applicazione *GuessNumber*.** Per eseguire il file eseguibile **GuessNumber** digitate **./GuessNumber** al prompt successivo, poi premete Invio (Figura 1.24).

```
hostName:GNU~ userFolder$ ./GuessNumber  
I have a number between 1 and 1000.  
Can you guess my number?  
Please type your first guess.  
?
```

Figura 1.24 Esecuzione dell'applicazione GuessNumber.

5. *Inserimento della prima risposta.* L'applicazione visualizza "Please type your first guess." seguito da un punto interrogativo (?) come prompt sulla riga successiva (Figura 1.24). Al prompt digitate 500 (Figura 1.25).

```
hostName:GNU~ userFolder$ ./GuessNumber  
I have a number between 1 and 1000.  
Can you guess my number?  
Please type your first guess.  
? 500  
Too low. Try again.  
?
```

Figura 1.25 Inserimento di una risposta iniziale.

6. *Inserimento di un'altra risposta.* L'applicazione visualizza "Too low. Try again." (Figura 1.25), per significare che il valore inserito è minore del numero scelto dall'applicazione come numero esatto. Al prompt successivo digitate 750 (Figura 1.26). L'applicazione visualizza di nuovo "Too low. Try again." perché il valore inserito è minore della risposta corretta.

```
hostName:GNU~ userFolder$ ./GuessNumber  
I have a number between 1 and 1000.  
Can you guess my number?  
Please type your first guess.  
? 500  
Too low. Try again.  
? 750  
Too low. Try again.  
?
```

Figura 1.26 Inserimento di una seconda risposta e ricezione del feedback.

7. *Inserimento di ulteriori risposte.* Continuate il gioco (Figura 1.27) inserendo valori finché non indovinate il numero esatto. Quando lo indovinerete, l'applicazione visualizzerà "Excellent! You guessed the number!".

```
? 825
Too high. Try again.
? 788
Too low. Try again.
? 806
Too low. Try again.
? 815
Too high. Try again.
? 811
Too high. Try again.
? 808

Excellent! You guessed the number!
Would you like to play again?
Please type ( 1=yes, 2=no )?
```

Figura 1.27 Inserimento di risposte aggiuntive e individuazione della risposta esatta.

8. *Continuazione del gioco o fine dell'applicazione.* Dopo che avete individuato il numero esatto, l'applicazione vi domanda se volete continuare il gioco. Al prompt, l'inserimento di 1 fa sì che l'applicazione scelga un nuovo numero e visualizzi il messaggio “Please type your first guess.” seguito da un prompt con un punto interrogativo (Figura 1.28), che vi permette di fornire la prima risposta nel nuovo gioco. Digitando 2 terminerete l'applicazione e tornerete alla directory dell'applicazione nella finestra di Terminale (Figura 1.29). Ogni volta che eseguirete quest'applicazione dall'inizio (cioè dal *passo 4*), essa sceglierà per voi lo stesso numero da indovinare.

```
Excellent! You guessed the number!
Would you like to play again?
Please type ( 1=yes, 2=no )? 1

I have a number between 1 and 1000.
Can you guess my number?
Please type your first guess.
?
```

Figura 1.28 Continuazione del gioco.

```
Excellent! You guessed the number!
Would you like to play again?
Please type ( 1=yes, 2=no )? 2

hostName:GNU~ userFolder$
```

Figura 1.29 Fine del gioco.

1.10 Sistemi operativi

I sistemi operativi sono sistemi software che rendono l'uso dei computer più comodo per gli utenti, gli sviluppatori di applicazioni e gli amministratori di sistema. Essi forniscono servizi che consentono di eseguire ogni applicazione con sicurezza, in maniera efficiente e in modo *concorrente* (cioè in parallelo) con altre applicazioni. Il software che contiene i componenti fondamentali del sistema operativo è chiamato *kernel* (nucleo). Sistemi operativi per desktop molto diffusi sono Linux, Windows e Mac OS X. Sistemi operativi diffusi per dispositivi mobili, usati negli smartphone e nei tablet, sono Android di Google, iOS di Apple (per iPhone, iPad e iPod Touch), Windows Phone e BlackBerry OS.

1.10.1 Windows, un sistema operativo proprietario

Nella metà degli anni Ottanta Microsoft sviluppò il sistema operativo Windows, costituito da un'interfaccia grafica costruita sopra il DOS, un sistema operativo per personal computer estremamente diffuso, con cui gli utenti interagivano *digitando* comandi. Windows fece suoi molti dei concetti (come icone, menu e finestre) sviluppati da Xerox PARC e diffusi dai primi sistemi operativi per Macintosh di Apple. Windows 8.1 è l'ultimo sistema operativo di Microsoft (le sue caratteristiche comprendono supporto per PC e tablet, un'interfaccia utente basata su tiles, un ulteriore perfezionamento degli aspetti legati alla sicurezza, supporto per touch-screen e multi-touch, e altro ancora). Windows è un sistema operativo *proprietario*: è gestito esclusivamente da Microsoft. Windows è di gran lunga il sistema operativo più diffuso e usato nel mondo.

1.10.2 Linux, un sistema operativo open-source

Il sistema operativo Linux, che è popolare nei server, nei personal computer e nei sistemi embedded, è forse il più grande successo del movimento *open-source* (codice sorgente aperto). Lo stile di sviluppo del software *open-source* si discosta dallo stile di sviluppo del software *proprietario* (usato, per esempio, con Windows di Microsoft e Mac OS X di Apple). Con lo sviluppo dell'*open-source*, operatori singoli e aziende, spesso su scala mondiale, hanno unito i loro sforzi per sviluppare, mantenere e far evolvere software. Chiunque può usarlo e personalizzarlo per i propri scopi, di solito gratuitamente.

Tra le organizzazioni della comunità *open-source* vi sono *Eclipse Foundation* (l'ambiente di sviluppo integrato Eclipse consente ai programmati di sviluppare software in modo efficiente), *Mozilla Foundation* (creatrice del browser web Firefox), *Apache Software Foundation* (creatrice del server web Apache che trasmette pagine web su Internet in risposta a richieste del browser web) e *GitHub* e *SourceForge* (che forniscono gli strumenti per gestire progetti *open-source*).

I rapidi miglioramenti nell'informatica e nelle telecomunicazioni, la diminuzione dei costi e il software *open-source* hanno reso molto più facile e più economico creare oggi un'azienda basata sul software rispetto a dieci anni fa. Facebook, che fu lanciato dalla camera da letto di un college, è stato costruito con un software *open-source*.⁵

Una serie di problemi (come il potere di mercato di Microsoft, il numero relativamente esiguo di applicazioni Linux facili da usare e la diversità delle distribuzioni di Linux, come Linux Red Hat, Linux Ubuntu e molte altre) ha impedito che l'uso di Linux si espandesse sui computer desktop. Ma Linux è diventato estremamente popolare sui server e nei sistemi embedded, come gli smartphone basati su Android di Google.

⁵ <https://code.facebook.com/projects/>.

1.10.3 Mac OS X di Apple; iOS di Apple per iPhone®, iPad® e iPod Touch®

Apple, fondata nel 1976 da Steve Jobs e Steve Wozniak, è diventata rapidamente un'azienda leader nel ramo dei personal computer. Nel 1979 Jobs e diversi altri impiegati di Apple visitarono Xerox PARC (Palo Alto Research Center) per avere informazioni sui computer desktop di Xerox dotati di un'interfaccia grafica utente (GUI). Quella GUI servì da ispirazione per il Macintosh di Apple, lanciato con molto clamore nel 1984 con una memorabile pubblicità.

Il linguaggio di programmazione Objective-C, creato nei primi anni Ottanta presso la Stepstone da Brad Cox e Tom Love, aggiunse al linguaggio di programmazione C alcuni costrutti per la programmazione orientata agli oggetti (OOP). Steve Jobs lasciò Apple nel 1985 e fondò NeXT Inc. Nel 1988 NeXT ottenne la licenza di utilizzazione di Objective-C dalla Stepstone e sviluppò un compilatore per Objective-C e delle librerie da utilizzare come piattaforma per l'interfaccia utente del sistema operativo NeXTSTEP e per Interface Builder, impiegato per la costruzione di interfacce grafiche.

Jobs ritornò in Apple nel 1996 quando Apple acquistò NeXT. Il sistema operativo Mac OS X di Apple discende da NeXTSTEP. Il sistema operativo proprietario di Apple, iOS, deriva da Mac OS X ed è usato nei dispositivi iPhone, iPad e iPod Touch.

1.10.4 Android di Google

Android (il sistema operativo in crescita più rapida per tablet e smartphone) si basa sul kernel Linux e su Java come suo principale linguaggio di programmazione. Un vantaggio dello sviluppo di applicazioni per Android consiste nell'avere una piattaforma aperta. Il sistema operativo è open-source e gratuito.

Android è stato sviluppato da Android, Inc., che fu acquistata da Google nel 2005. Nel 2007 è stata costituita la Open Handset Alliance™, che comprende 87 compagnie in tutto il mondo, per continuare a sviluppare e mantenere Android, portando innovazione nella tecnologia mobile e migliorando l'esperienza utente riducendo al contempo i costi. A partire dall'aprile 2013, più di 1,5 milioni di dispositivi Android (smartphone, tablet, ecc.) vengono attivati *ogni giorno* in tutto il mondo!⁶ I dispositivi Android ora includono smartphone, tablet, e-reader, robot, reattori, satelliti della NASA, console per giochi, frigoriferi, televisioni, fotocamere, dispositivi per cure mediche, smartwatch, sistemi infotainment per auto (per controllare radio, GPS, telefonate, termostato e così via) e altro.⁷ Android viene eseguito anche sui computer desktop e notebook.⁸

1.11 Internet e il World Wide Web

Alla fine degli anni Sessanta, la Advanced Research Projects Agency (ARPA) del Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti mise a punto un progetto per collegare in rete i principali sistemi informativi di circa una dozzina di università e istituti di ricerca da essa finanziati. I computer dovevano essere collegati con linee di comunicazione che operavano a una velocità dell'ordine di 50.000 bit al secondo, una velocità stupefacente in un momento in cui la maggior parte delle persone (le poche

⁶ <http://www.technobuffalo.com/2013/04/16/google-daily-android-activations-1-5-million/>.

⁷ <http://www.businessweek.com/articles/2013-05-29/behind-the-internet-of-things-is-android-and-its-everywhere>.

⁸ <http://www.android-x86.org>.

che avevano accesso alla rete) si connetteva ai computer tramite linee telefoniche alla velocità di 110 bit al secondo. La ricerca accademica era sul punto di fare un gigantesco passo avanti. ARPA procedette a implementare ciò che rapidamente divenne noto come ARPANET, il precursore di quello che oggi è Internet. Attualmente le più elevate velocità di Internet sono nell'ordine di miliardi di bit al secondo, con una prospettiva imminente di un trilione di bit al secondo!

Le cose sono andate diversamente dal progetto originario. Sebbene ARPANET abbia permesso ai ricercatori di collegare in rete i loro computer, la sua principale utilità è stata quella di permettere una forma di comunicazione semplice e rapida attraverso quella che oggi è chiamata posta elettronica (e-mail). Questo vale anche per l'attuale Internet, in quanto le e-mail, l'instant messaging, il trasferimento di file e i social media come Facebook e Twitter permettono a miliardi di persone in tutto il mondo di comunicare rapidamente e facilmente.

Il protocollo (un insieme di regole) per comunicare su ARPANET divenne noto come TCP (Transmission Control Protocol). Il TCP assicurava che i messaggi, costituiti da parti numerate in sequenza chiamate pacchetti, venissero instradati in modo corretto dal mittente al destinatario, arrivassero intatti e fossero assemblati nell'ordine corretto.

1.11.1 Internet: una rete di network

In parallelo con l'iniziale evoluzione di Internet, varie organizzazioni in tutto il mondo implementavano le proprie reti sia per la comunicazione intraorganizzativa (ossia all'interno di un'organizzazione) che per quella interorganizzativa (ossia tra diverse organizzazioni). Apparve una grande varietà di hardware e software di rete. Una sfida era permettere a queste diverse reti di comunicare tra loro. ARPA raggiunse l'obiettivo sviluppando l'IP (Internet Protocol), che creava effettivamente una rete di network, l'attuale architettura di Internet. L'insieme combinato di protocolli è ora chiamato TCP/IP.

Le aziende si resero conto rapidamente che utilizzando Internet avrebbero potuto migliorare la proprie attività e offrire servizi nuovi e migliori ai propri clienti. Perciò iniziarono a investire grandi somme di denaro per sviluppare e migliorare la propria presenza su Internet. Questo ha generato una forte concorrenza tra le compagnie di telecomunicazione come tra i produttori di hardware e software per soddisfare la crescente domanda di infrastrutture. Di conseguenza, la larghezza di banda (la capacità delle linee di comunicazione di trasportare informazioni) su Internet è aumentata enormemente, mentre i costi dell'hardware sono crollati.

1.11.2 Il World Wide Web: semplificare l'uso di Internet

Il World Wide Web (detto semplicemente "il web") è una raccolta di hardware e software associati a Internet che consente agli utenti di computer di trovare e visualizzare documenti multimediali (documenti con differenti combinazioni di testo, grafica, animazioni, audio e video) su quasi ogni argomento. L'introduzione del web è un evento relativamente recente. Nel 1989, Tim Berners-Lee del CERN (il Centro Europeo di Ricerca Nucleare) iniziò a sviluppare una tecnologia per condividere informazioni tramite documenti testuali collegati da hyperlink. Berners-Lee chiamò la sua invenzione HyperText Markup Language (HTML). Egli scrisse anche protocolli di comunicazione come l'HyperText Transfer Protocol (HTTP) per costituire la spina dorsale del suo nuovo sistema informativo che chiamò World Wide Web.

Nel 1994, Berners-Lee ha fondato un organismo, chiamato World Wide Web Consortium (W3C, <http://www.w3.org>), dedicato allo sviluppo di tecnologie web. Uno degli obiettivi principali del W3C è quello di rendere il web universalmente accessibile, indipendentemente da disabilità, lingua o cultura.

1.11.3 Servizi web

I servizi web sono componenti software memorizzati su un computer a cui è possibile accedere tramite un'applicazione (o un altro componente software) su un altro computer su Internet. Con i servizi web è possibile creare *mashup*, che consentono di sviluppare rapidamente applicazioni attraverso la combinazione di servizi web complementari, spesso provenienti da diverse organizzazioni ed eventualmente con tipologie di informazioni differenti. Per esempio, 100 Destinations (<http://www.100destinations.co.uk>) combina le foto e i tweet di Twitter con le funzioni di mappatura di Google Maps per consentire di esplorare paesi di ogni parte del mondo attraverso le foto di altri.

Programmableweb (<http://www.programmableweb.com/>) fornisce un elenco di oltre 11.150 API e 7.300 mashup, oltre a guide pratiche e codice di esempio per la creazione di mashup personali. La Figura 1.30 elenca alcuni tra i più popolari servizi web. Secondo Programmableweb, le tre API più utilizzate per i mashup sono Google Maps, Twitter e YouTube.

Fonti di servizi web	Utilizzo
Google Maps	Servizi di mappatura
Twitter	Microblogging
YouTube	Ricerca di video
Facebook	Social networking
Instagram	Condivisione di foto
Foursquare	Geolocalizzazione mobile
LinkedIn	Social networking professionale
Groupon	Gruppi d'acquisto on-line
Netflix	Noleggio di film
eBay	Aste su Internet
Wikipedia	Enciclopedia collaborativa
PayPal	Pagamenti
Last.fm	Radio su Internet
Amazon eCommerce	Acquisto di libri e molti altri prodotti
Salesforce.com	Gestione delle relazioni con i clienti (CRM, <i>Customer Relationship Management</i>)
Skype	Telefonia su Internet
Microsoft Bing	Ricerca
Flickr	Condivisione di foto
Zillow	Quotazioni immobiliari
Yahoo Search	Ricerca
WeatherBug	Previsioni meteo

Figura 1.30 Alcuni noti servizi web (<http://www.programmableweb.com/category/all/apis>).

La Figura 1.31 elenca le directory dove troverete informazioni su molti dei servizi web più popolari. La Figura 1.32 elenca alcuni tra i web mashup più popolari.

Directory	URL
ProgrammableWeb	www.programmableweb.com .
Google Code API Directory	code.google.com/apis/gdata/docs/directory.html

Figura 1.31 Directory di servizi web.

URL	Descrizione
http://twikle.com/	Twikle utilizza i servizi web di Twitter per aggregare le notizie condivise on-line più popolari.
http://trendsmap.com/	TrendsMap utilizza Twitter e Google Maps. Permette di tracciare i tweet per posizione e visualizzarli su una mappa in tempo reale.
http://www.coindesk.com/price/bitcoin-price-ticker-widget/	Bitcoin Price Ticker Widget utilizza le API di CoinDesk per visualizzare in tempo reale il corso del prezzo del Bitcoin, il prezzo massimo e minimo del giorno e il grafico delle fluttuazioni del prezzo negli ultimi sessanta minuti.
http://www.dutranslation.com/	Il mashup Double Translation consente di utilizzare simultaneamente i servizi di traduzione di Bing e Google per tradurre testi in e da oltre 50 lingue. Inoltre si possono confrontare i risultati delle due traduzioni.
http://musicupdated.com/	Music Updated utilizza i servizi web di Last.fm e YouTube. Viene usato per monitorare la pubblicazione di album, informazioni sui concerti e altro relativo ai propri musicisti preferiti.

Figura 1.32 Alcuni tra i web mashup più diffusi.

1.11.4 Ajax

La tecnologia Ajax aiuta le applicazioni basate su Internet a fornire prestazioni paragonabili ad applicazioni di tipo desktop. Tuttavia si tratta di un compito difficile, dato che tali applicazioni sono sensibili ai ritardi di trasmissione quando i dati vanno avanti e indietro tra il proprio computer e i server su Internet. Usando Ajax, applicazioni come Google Maps hanno ottenuto eccellenti prestazioni e si avvicinano al look-and-feel delle applicazioni desktop.

1.11.5 L'Internet delle cose

Internet non è più solo una rete di computer: è un Internet delle cose. Una *cosa* è un qualsiasi oggetto con un indirizzo IP e la capacità di inviare dati automaticamente via Internet – ad esempio, una vettura con un transponder per il pagamento dei pedaggi, un cardiofrequenzimetro indossato da un essere umano, un contatore intelligente che riporta il consumo di energia, applicazioni mobili in grado di tracciare il vostro movimento e la posizione in cui vi trovate, e termostati intelligenti

ti che regolano la temperatura delle stanze sulla base delle previsioni meteo e delle attività all'interno della casa.

1.12 Principale terminologia nell'ambito dei software

La Figura 1.33 elenca un certo numero di parole di moda che sentirete nelle comunità che si occupano di sviluppo del software.

Tecnologia	Descrizione
Sviluppo agile del software	Lo sviluppo agile del software è un insieme di metodologie per implementare il software più velocemente e con l'uso di minori risorse. Si veda Agile Alliance (www.agilealliance.org) e il Manifesto della Metodologia Agile (www.agilemanifesto.org).
Refactoring	La tecnica di refactoring (che si potrebbe tradurre "rifacimento") riguarda la rielaborazione di programmi al fine di renderli più chiari e più facili da gestire, preservando al tempo stesso la loro correttezza e funzionalità. È largamente impiegata assieme alle metodologie di sviluppo agile. Molti IDE contengono strumenti di refactoring in grado di eseguire automaticamente buona parte del processo di rielaborazione.
Design patterns	I design pattern sono architetture già sperimentate per la costruzione di software orientato agli oggetti, che sia flessibile e facile da gestire. Il settore dei design pattern cerca di catalogare alcuni modelli ricorrenti e incoraggia i progettisti software a riutilizzarli per sviluppare software di migliore qualità, con l'impiego di minor tempo, denaro e fatica.
LAMP	LAMP è un acronimo per le tecnologie open-source che molti sviluppatori usano per costruire applicazioni web a basso costo: sta per <i>Linux</i> , <i>Apache</i> , <i>MySQL</i> e <i>PHP</i> (o Perl o Python, altri due popolari linguaggi di scripting). MySQL è un sistema open-source di gestione di database. PHP è il linguaggio open-source di scripting più utilizzato dai server per lo sviluppo di applicazioni web. Apache è il software più diffuso dei server web. L'equivalente per lo sviluppo in Windows è WAMP (<i>Windows</i> , <i>Apache</i> , <i>MySQL</i> e <i>PHP</i>).
SaaS (Software as a Service)	Il software è stato generalmente visto come un prodotto; la maggior parte del software viene tuttora offerta come tale. Se si vuole eseguire un'applicazione, bisogna comprare un pacchetto software da un produttore di software, spesso su un CD, un DVD o attraverso un download dal web. Poi lo si installa sul proprio computer e, se necessario, lo si fa eseguire. Quando sono disponibili nuove versioni si aggiorna il proprio software, ma spesso ciò richiede molto tempo e una spesa considerevole. Questo processo può diventare molto oneroso per organizzazioni che devono mantenere decine di migliaia di sistemi su diverse installazioni di computer.

Figura 1.33 Tecnologie software.

continua

Tecnologia	Descrizione
	L'approccio SaaS fa sì che il software venga eseguito su server remoti in Internet. Quando il server è aggiornato, tutti i clienti nel mondo hanno a disposizione le nuove capacità (non occorre alcuna installazione locale: si accede al server tramite un browser). I browser sono facilmente portabili, così si possono eseguire le stesse applicazioni su un'ampia varietà di computer da qualsiasi parte del mondo. Salesforce.com, Google, Office Live e Windows Live di Microsoft offrono tutti SaaS.
PaaS (Platform as a Service)	Platform as a Service (PaaS) fornisce come servizio sul web una piattaforma di calcolo per sviluppare ed eseguire applicazioni, al posto dell'installazione di strumenti ad hoc sul proprio computer. Fra i fornitori di PaaS vi sono Google App Engine, Amazon EC2 e Windows Azure™.
Cloud computing	SaaS e PaaS sono esempi di cloud computing. È possibile utilizzare il software e i dati memorizzati nel "cloud" – ovvero accessibili via Internet su computer (o server) remoti e disponibili a richiesta – piuttosto che averli memorizzati localmente sul proprio desktop, notebook o dispositivo mobile. Questo consente di aumentare o diminuire le risorse di calcolo per soddisfare le proprie esigenze in ogni momento: una soluzione più conveniente rispetto all'acquisto di hardware per fornire spazio di memoria e potenza di elaborazione sufficienti per soddisfare gli occasionali picchi di richiesta. Il cloud computing inoltre consente di risparmiare denaro spostando sul provider del servizio l'onere di gestione delle applicazioni (come installazione e aggiornamento del software, sicurezza, backup e <i>disaster recovery</i>).
SDK (Software Development Kit)	I Software Development Kit (SDK) forniscono gli strumenti e la documentazione usati dagli sviluppatori per realizzare applicazioni.

Figura 1.33 Tecnologie software.

Il software è complesso. Grandi applicazioni software dedicate al mondo reale possono richiedere molti mesi o addirittura anni per lo sviluppo e l'implementazione. Quando i prodotti software di grandi dimensioni sono in fase di sviluppo, in genere vengono messi a disposizione delle comunità di utenti con una serie progressiva di versioni, ognuna delle quali più completa e raffinata della precedente (Figura 1.34).

Versione	Descrizione
Alpha	Il software <i>alpha</i> è una prima versione di un prodotto software, ancora in fase di sviluppo attivo. Le versioni alpha sono spesso piene di errori, incomplete e instabili e sono distribuite a un numero relativamente modesto di sviluppatori, per testare nuove caratteristiche, ricevere presto feedback, ecc.

Figura 1.34 Terminologia relativa al rilascio dei prodotti software.

continua

Versione	Descrizione
Beta	Le versioni <i>beta</i> sono distribuite a un numero maggiore di sviluppatori verso la fine del processo di sviluppo, dopo che è stata corretta la maggior parte dei difetti principali e le nuove caratteristiche sono quasi complete. Il software beta è più stabile, ma ancora soggetto a cambiamenti.
Release candidate	Un <i>release candidate</i> (candidato al rilascio) è una versione generalmente <i>completa riguardo alle caratteristiche</i> , (per lo più) libera da difetti e pronta all'uso da parte della comunità, la quale a sua volta fornisce un ambiente eterogeneo di testing (il software viene usato su sistemi differenti, con limitazioni varie e per una varietà di scopi).
Rilascio finale	Ogni difetto che compare nel candidato al rilascio viene corretto e alla fine il prodotto finale è rilasciato al pubblico. Le compagnie di software distribuiscono spesso nuovi aggiornamenti su Internet.
Continuous beta	Il software che viene sviluppato usando questo approccio generalmente non ha numeri di versione (es. il motore di ricerca di Google o Gmail). È installato nel cloud (non installato sui vostri computer) ed è costantemente in evoluzione in modo che gli utenti abbiano sempre la versione più recente.

Figura 1.34 Terminologia relativa al rilascio dei prodotti software.

1.13 Mantenersi aggiornati sulle tecnologie dell'informazione

La Figura 1.35 elenca le principali pubblicazioni in ambito tecnico e aziendale che vi aiuteranno a rimanere aggiornati con le ultime notizie, tendenze e tecnologie. Potete trovare anche un elenco sempre aggiornato di Resource Center relativi a Internet e al web al sito www.deitel.com/ResourceCenters.html.

Pubblicazione	URL
AllThingsD	allthingsd.com
Bloomberg BusinessWeek	www.businessweek.com
CNET	news.cnet.com
Communications of the ACM	cacm.acm.org
Computerworld	www.computerworld.com
Engadget	www.engadget.com
eWeek	www.eweek.com
Fast Company	www.fastcompany.com
Fortune	money.cnn.com/magazines/fortune

Figura 1.35 Pubblicazioni tecniche e di tipo business.

continua

Pubblicazione	URL
GigaOM	gigaom.com
Hacker News	news.ycombinator.com
IEEE Computer Magazine	www.computer.org/portal/web/computingnow/computer
InfoWorld	www.infoworld.com
Mashable	mashable.com
PCWorld	www.pcworld.com
SD Times	www.sdtimes.com
Slashdot	slashdot.org
Stack Overflow	stackoverflow.com
Techcrunch	techcrunch.com
Technology Review	technologyreview.com
The Next Web	thenextweb.com
The Verge	www.theverge.com
Wired	www.wired.com

Figura 1.35 Pubblicazioni tecniche e di tipo business.

Esercizi di autovalutazione

1.1 Riempite gli spazi vuoti in ognuna delle seguenti istruzioni:

- I computer elaborano i dati sotto il controllo di sequenze di istruzioni chiamate _____.
- Le unità logiche fondamentali del computer sono _____, _____, _____, _____, _____ e _____.
- I tre tipi di linguaggi trattati nel capitolo sono _____, _____ e _____.
- I programmi che traducono nel linguaggio macchina programmi in un linguaggio di alto livello sono chiamati _____.
- _____ è un sistema operativo per dispositivi mobili basato sul kernel Linux e su Java.
- Un _____ software è generalmente una versione completa, (presumibilmente) priva di difetti e pronta all'uso da parte della comunità.
- Wii Remote, così come molti smartphone, utilizza un _____ che permette al dispositivo di rispondere al movimento.
- Il C è diffusamente noto come il linguaggio di sviluppo del sistema operativo _____.
- _____ è il nuovo linguaggio di programmazione per lo sviluppo di applicazioni iOS e Mac.

- 1.2 Riempite gli spazi vuoti in ognuna delle seguenti frasi riguardanti l'ambiente C.
- I programmi in C sono normalmente scritti su un computer usando un programma _____.
 - In un sistema in C, un programma detto _____ viene eseguito automaticamente prima che inizi la fase di traduzione.
 - I due tipi più comuni di direttive per il preprocessore sono _____ e _____.
 - Il programma _____ combina l'output del compilatore con varie funzioni di libreria per produrre un'immagine eseguibile.
 - Il programma _____ trasferisce l'immagine eseguibile dal disco alla memoria.

Risposte agli esercizi di autovalutazione

- a) programmi. b) unità di input, unità di output, unità di memoria, unità di elaborazione centrale, unità aritmetica e logica, unità di memoria secondaria. c) linguaggi macchina, linguaggi assemblatori, linguaggi ad alto livello. d) compilatori. e) Android. f) release candidate. g) accelerometro. h) UNIX. i) Swift.
- a) editor. b) preprocessore. c) inclusione di altri file nel file da compilare ed esecuzione di varie sostituzioni nel testo. d) linker. e) loader.

Esercizi

- Classificate ognuno dei seguenti elementi o come hardware o come software:
 - CPU
 - compilatore C++
 - ALU
 - preprocessore C++
 - unità di input
 - un programma editor
- Riempite gli spazi vuoti in ognuna delle seguenti asserzioni:
 - L'unità logica che riceve informazioni dall'esterno del computer per l'utilizzo da parte del computer si chiama _____.
 - Il processo che mette in grado il computer di risolvere un problema è chiamato _____.
 - Il _____ è un tipo di linguaggio per computer che usa abbreviazioni simili all'inglese per le istruzioni nel linguaggio macchina.
 - _____ è l'unità logica che invia informazioni già elaborate dal computer a diversi dispositivi in modo che possano essere utilizzate all'esterno del computer.
 - _____ e _____ sono unità logiche del computer che conservano le informazioni.
 - _____ è l'unità logica del computer che esegue i calcoli.
 - _____ è l'unità logica del computer preposta a prendere decisioni logiche.
 - I linguaggi _____ sono più idonei per i programmati per scrivere programmi velocemente e con facilità.
 - L'unico linguaggio che un computer comprende direttamente è chiamato _____ di quel computer.
 - La _____ è un'unità logica del computer che coordina le attività di tutte le altre unità logiche.

- 1.5 Riempite gli spazi vuoti in ognuna delle seguenti affermazioni:
- _____ è attualmente usato per sviluppare applicazioni aziendali su larga scala, aumentare la funzionalità dei server del web, fornire applicazioni per i dispositivi di largo consumo e per molti altri scopi.
 - _____ inizialmente divenne molto noto come il linguaggio di sviluppo del sistema operativo UNIX.
 - Il linguaggio di programmazione _____ è stato sviluppato da Bjarne Stroustrup nei primi anni Ottanta presso i Laboratori Bell.
- 1.6 Analizzate il significato di ognuno dei seguenti nomi:
- `stdin`
 - `stdout`
 - `stderr`
- 1.7 Perché oggi così tanta attenzione è focalizzata sulla programmazione orientata agli oggetti?
- 1.8 (*Aspetti negativi di Internet*) Oltre ai loro numerosi vantaggi, Internet e il web hanno diversi lati negativi, come problemi riguardanti la privacy, furti di identità, spam e virus. Ricercaate alcuni degli aspetti negativi di Internet. Elencate cinque problemi e descrivete cosa si potrebbe fare per cercare di risolverli.

Introduzione alla programmazione nel linguaggio C



OBIETTIVI

- Scrivere semplici programmi in C
- Usare semplici istruzioni di input e output
- Usare i tipi di dati fondamentali
- Apprendere i concetti relativi alla memoria di un computer
- Usare operatori aritmetici
- Imparare l'ordine di precedenza degli operatori aritmetici
- Scrivere semplici istruzioni per prendere decisioni
- Introdurre alle pratiche per una programmazione sicura in C

2.1 Introduzione

Il linguaggio C facilita un approccio strutturato e disciplinato alla progettazione di programmi per computer. In questo capitolo introdurremo la programmazione in C e presenteremo diversi esempi che illustrano molte caratteristiche importanti del C. Ciascun esempio verrà analizzato un'istruzione per volta. Nei Capitoli 3 e 4 presenteremo un'introduzione alla programmazione strutturata in C. Useremo poi l'approccio strutturato per tutto il resto del testo. Il Paragrafo 2.7 è il primo di molti paragrafi "Programmazione sicura in C" nel corso del manuale.

2.2 Un semplice programma in C: stampare una riga di testo

Il C utilizza alcune notazioni che possono apparire strane a chi non ha esperienza di programmazione. Cominciamo a considerare un semplice programma in C: il nostro primo esempio stampa una riga di testo. Il programma e il suo output sullo schermo sono mostrati nella Figura 2.1.

```
1 // Fig. 2.1: fig02_01.c
2 // Un primo programma in C.
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main( void )
7 {
8     printf( "Welcome to C!\n" );
9 } // fine della funzione main
```

Welcome to C!

Figura 2.1 Un primo programma in C.

Commenti

Pur essendo semplice, questo programma illustra diverse caratteristiche importanti del linguaggio C. Le righe 1 e 2

```
// Fig. 2.1: fig02_01.c
// Un primo programma in C.
```

iniziano con // per indicare che queste due righe sono **commenti**. Inserite i commenti per documentare i programmi e migliorarne la leggibilità. I commenti non portano il computer a compiere alcuna azione durante l'esecuzione del programma. I commenti sono *ignorati* dal compilatore C e non provocano la generazione di alcun codice in linguaggio macchina. I commenti precedenti descrivono semplicemente il numero della figura, il nome del file e l'obiettivo del programma. I commenti aiutano anche altre persone a leggere e a capire il vostro programma.

Potete usare anche **commenti multilinea** /*...*/ in cui ogni cosa compresa tra /* nella prima riga e */ alla fine dell'ultima è un commento. Sono preferibili commenti con // perché sono più brevi ed eliminano gli errori comuni di programmazione che possono capitare con commenti /*...*/, specialmente quando la chiusura */ è omessa.

Direttiva #include per il preprocessore

La riga 3

```
#include <stdio.h>
```

è un'istruzione per il preprocessore C. Le righe che cominciano con # sono elaborate dal preprocessore *prima* della compilazione. La riga 3 dice al preprocessore di includere nel programma i contenuti del file di intestazione (header) di input/output standard (<stdio.h>). Il file di intestazione contiene informazioni utilizzate dal compilatore durante la compilazione delle chiamate a funzioni della libreria di input/output standard come printf (riga 8). Spiegheremo più dettagliatamente i contenuti dei file di intestazione nel Capitolo 5.

Righe vuote e caratteri di spaziatura

La riga 4 è semplicemente una riga vuota. Usate righe vuote e i caratteri di spazio e di tabulazione (cioè “tab”) per rendere i programmi più leggibili. Questi caratteri sono noti come **caratteri di spaziatura**. I caratteri di spaziatura sono normalmente ignorati dal compilatore.

La funzione main

La riga 6

```
int main( void )
```

è parte di ogni programma in C. Le parentesi dopo il `main` indicano che `main` è un blocco costitutente di un programma, chiamato **funzione**. I programmi in C contengono una o più funzioni, una delle quali *deve* essere proprio `main`. Ciascun programma in C inizia l'esecuzione dalla funzione `main`. Le funzioni possono *restituire* informazioni. La parola chiave `int` alla sinistra di `main` indica che `main` “restituisce” un valore intero (numero intero). Spiegheremo cosa significa per una funzione “restituire un valore” quando vi mostreremo come creare le vostre funzioni nel Capitolo 5. Per ora includete semplicemente la parola chiave `int` alla sinistra di `main` in ognuno dei vostri programmi.

Le funzioni possono anche *ricevere* informazioni quando vengono eseguite. Il `void` qui tra parentesi vuol dire che `main` *non* riceve alcuna informazione. Nel Capitolo 14 mostreremo un esempio di `main` che riceve informazioni.

**Buona pratica di programmazione 2.1**

Ogni funzione deve essere preceduta da un commento che ne descrive l'obiettivo.

Una parentesi graffa sinistra, `{`, inizia il corpo di ogni funzione (riga 7). Una corrispondente parentesi graffa destra, `}`, termina ogni funzione (riga 9). Questa coppia di parentesi graffe e la porzione del programma fra le parentesi è chiamata **blocco**. Il blocco è un importante costrutto sintattico in C.

Un'istruzione di output

La riga 8

```
printf( "Welcome to C!\n" );
```

fa compiere un'azione al computer, ossia fa stampare sullo schermo la **stringa** di caratteri compresa tra le virgolette. Una stringa è talvolta chiamata **stringa di caratteri**, **messaggio** o **letterale**. L'intera riga, comprendente la funzione `printf` (la “f” sta per “formattato”), il suo argomento all'interno delle parentesi e il punto e virgola `(;)`, è chiamata **istruzione**. Ogni istruzione deve terminare con un punto e virgola (noto anche come **terminatore dell'istruzione**). Quando la precedente istruzione `printf` viene eseguita, essa stampa sullo schermo il messaggio `Welcome to C!` I caratteri, di norma, vengono stampati così come appaiono nell'istruzione `printf` tra le doppie virgolette.

Sequenze di escape

Notate che i caratteri `\n` non sono stati stampati sullo schermo. Il carattere di backslash (`\`, barra all'indietro) è detto **carattere di escape**. Esso indica che `printf` è tenuta a fare qualcosa fuori dall'ordinario. Quando incontra un backslash in una stringa, il compilatore guarda in avanti al carattere successivo e lo combina con il backslash per formare una **sequenza di escape**. La sequenza di escape `\n` è detta **newline** (nuova riga). Quando `\n` appare nella stringa argomento di una `printf`, il cursore viene posizionato all'inizio della riga successiva sullo schermo. Alcune comuni sequenze di escape sono elencate nella Figura 2.2.

Sequenza di escape	Descrizione
\n	Nuova riga. Posiziona il cursore all'inizio della riga successiva.
\t	Tab orizzontale. Sposta il cursore alla successiva tabulazione.
\a	Alert. Produce un suono o un allarme visibile senza cambiare la posizione corrente del cursore.
\\\	Backslash. Inserisce un carattere di backslash in una stringa.
\"	Doppi virgolette. Inserisce un carattere di doppie virgolette in una stringa.

Figura 2.2 Alcune comuni sequenze di escape.

Poiché il backslash ha un significato speciale in una stringa, cioè il compilatore lo riconosce come un carattere di escape, usiamo un doppio backslash (\\) per collocarne uno singolo in una stringa. Stampare le doppie virgolette costituisce anche un problema, perché esse segnano i confini di una stringa (tali virgolette non vengono stampate). Usando la sequenza di escape \" in una stringa argomento di printf, indichiamo che printf deve stampare proprio le doppie virgolette. La parentesi graffa destra, }, (riga 9) indica che è stata raggiunta la fine della funzione main.



Buona pratica di programmazione 2.2

Aggiungete un commento alla riga contenente la parentesi graffa destra, }, che chiude ciascuna funzione, compresa main.

Diciamo che printf fa compiere un'azione al computer. Durante l'esecuzione, qualsiasi programma compie diverse azioni e prende decisioni. Il Paragrafo 2.6 prenderà in esame le decisioni. Il Capitolo 3 approfondirà questo modello di azione/decisione nell'ambito della programmazione.

Il linker e gli eseguibili

Le funzioni della Libreria Standard come printf e scanf *non* sono parti del linguaggio di programmazione C. Ad esempio, il compilatore *non è in grado* di trovare un errore di ortografia in printf o scanf. Quando il compilatore compila un'istruzione printf, introduce semplicemente uno spazio nel programma oggetto per una "chiamata" alla funzione della libreria. Ma il compilatore *non* sa dove sono le funzioni della libreria, mentre chi lo sa è il *linker*. Quando il linker è in esecuzione, localizza le funzioni della libreria e inserisce le chiamate appropriate a queste funzioni nel programma oggetto. A questo punto il programma oggetto è completo e pronto per essere eseguito. Per questo motivo, il programma elaborato dal linker è chiamato **eseguibile**. Se il nome della funzione è scritto male, il linker scoprirà l'errore, perché non sarà in grado di collegare il nome nel programma in C con il nome di una qualsiasi funzione conosciuta nelle librerie.



Errore comune di programmazione 2.1

Scrivere in un programma print anziché printf per indicare la funzione di output.



Buona pratica di programmazione 2.3

Fate rientrare a destra il testo dell'intero corpo di ciascuna funzione con un livello di indentazione (raccomandiamo tre spazi) all'interno delle parentesi graffe che lo delimitano. Questa indentazione mette in risalto la struttura funzionale dei programmi e aiuta a renderli più leggibili.



Buona pratica di programmazione 2.4

Stabilite una convenzione per l'entità dell'indentazione che preferite e poi applicatela uniformemente. Il tasto tab può essere utilizzato per effettuare le indentazioni, ma le tabulazioni possono variare. Le guide stilistiche professionali spesso raccomandano di utilizzare spazi anziché tabulazioni.

Uso di diversi printf

La funzione printf è in grado di stampare Welcome to C! in tanti modi diversi. Ad esempio, il programma della Figura 2.3 produce lo stesso output del programma della Figura 2.1. Questo funziona perché ogni printf riprende a stampare da dove la printf precedente ha completato la stampa. La prima printf (riga 8) stampa Welcome seguito da uno spazio (ma senza un carattere di newline), e la seconda printf (riga 9) inizia a stampare sulla stessa riga immediatamente dopo lo spazio.

```

1 // Fig. 2.3: fig02_03.c
2 // Stampare su una riga con due istruzioni printf.
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main( void )
7 {
8     printf( "Welcome " );
9     printf( "to C!\n" );
10 } // Fine della funzione main

```

Welcome to C!

Figura 2.3 Stampare su una riga con due istruzioni printf.

Una printf può stampare *diverse* righe usando ulteriori caratteri di newline come nella Figura 2.4. Ogni volta che si incontra la sequenza di escape \n (newline), l'output continua all'inizio della riga successiva.

```

1 // Fig. 2.4: fig02_04.c
2 // Stampare diverse righe con un singolo printf.
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main( void )
7 {
8     printf( "Welcome\n to\n C!\n" );
9 } // Fine della funzione main

```

Welcome
to
C!

Figura 2.4 Stampare diverse righe con un singolo printf.

2.3 Un altro semplice programma in C: addizionare due interi

Il nostro programma successivo usa la funzione `scanf` della Libreria Standard per ricevere due valori interi scritti da un utente sulla tastiera, calcola la somma di questi valori e stampa il risultato usando `printf`. Il programma e un esempio di output sono mostrati nella Figura 2.5. [Nel dialogo di input/output della Figura 2.5 evidenziamo in grassetto i numeri introdotti dall'utente.]

```

1 // Fig. 2.5: fig02_05.c
2 // Programma per l'addizione.
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main( void )
7 {
8     int integer1; // primo numero inserito dall'utente
9     int integer2; // secondo numero inserito dall'utente
10
11    printf( "Enter first integer\n" ); // prompt
12    scanf( "%d", &integer1 ); // legge un intero
13
14    printf( "Enter second integer\n" ); // prompt
15    scanf( "%d", &integer2 ); // legge un intero
16
17    int sum; // variabile nella quale viene memorizzata la somma
18    sum = integer1 + integer2; // assegna il totale a sum
19
20    printf( "Sum is %d\n", sum ); // stampa la somma
21 } // fine della funzione main

```

```

Enter first integer
45
Enter second integer
72
Sum is 117

```

Figura 2.5 Programma per l'addizione.

Il commento nelle righe 1–2 spiega l'obiettivo del programma. Come affermato in precedenza, ogni programma inizia l'esecuzione con `main`. La parentesi graffa sinistra `{` (riga 7) segna l'inizio del corpo di `main` e la corrispondente parentesi graffa destra `}` (riga 21) segna la fine di `main`.

Variabili e definizioni di variabili

Le righe 8–10

```

int integer1; // primo numero inserito dall'utente
int integer2; // secondo numero inserito dall'utente

```

sono definizioni. I nomi `integer1`, `integer2` e `sum` sono nomi di variabili, locazioni in memoria dove si possono memorizzare i valori che verranno utilizzati dal programma. Queste definizioni

specificano che le variabili `integer1`, `integer2` e `sum` sono di tipo `int`, il che significa che avranno valori interi, cioè numeri interi come 7, -11, 0, 31914 e simili.

Definire le variabili prima che siano utilizzate

Tutte le variabili devono essere definite con un nome e un tipo di dato *prima* di poter essere usate in un programma. Il C standard permette di collocare *dovunque* dentro `main` ogni definizione di variabile prima del primo uso di quella variabile nel codice (sebbene alcuni vecchi compilatori non lo consentano). Vedrete in seguito perché sia opportuno definire le variabili *in prossimità* del loro primo utilizzo.

Definire più variabili dello stesso tipo in un'unica istruzione

Le definizioni precedenti avrebbero potuto essere combinate in una singola definizione come segue:

```
int integer1, integer2;
```

ma questo avrebbe reso difficile associare i commenti con ciascuna delle variabili, come abbiamo fatto nelle righe 8-9.

Identifieri e maiuscolo/minuscolo

Il nome di una variabile in C può essere un qualunque identificatore valido. Un identificatore è una serie di caratteri, consistenti in lettere, cifre e trattini (`_`), che *non* comincia con una cifra. Il C è sensibile all'uso del carattere maiuscolo/minuscolo: le lettere maiuscole e minuscole sono *differenti* in C, così `a1` e `A1` sono identifieri *differenti*.



Errore comune di programmazione 2.2

Usare una lettera maiuscola quando se ne deve usare una minuscola (ad esempio scrivere `Main` invece di `main`).



Prevenzione di errori 2.1

Evitate di usare come primo carattere di un identificatore il trattino (`_`) per prevenire conflitti con gli identifieri generati dal compilatore e con gli identifieri della Libreria Standard.



Buona pratica di programmazione 2.5

Scegliere nomi significativi per le variabili aiuta a rendere un programma auto-documentato e quindi a ridurre la necessità di commenti.



Buona pratica di programmazione 2.6

La prima lettera di un identificatore usato come semplice nome di una variabile deve essere minuscola. Nel seguito del testo assegneremo uno speciale significato agli identifieri che cominciano con una lettera maiuscola e a quelli che usano tutte lettere maiuscole.



Buona pratica di programmazione 2.7

I nomi di variabili costituiti da più parole possono essere d'aiuto per rendere un programma più leggibile. Separate le parole con trattini come in `total_commissions`, o, se scrivete le parole attaccate, cominciate ogni parola dopo la prima con una lettera maiuscola, come in `totalCommissions`. L'ultimo stile – spesso chiamato notazione a cammello perché l'alternarsi di lettere maiuscole e minuscole ricorda la silhouette di un cammello – viene preferito.

Messaggi di prompting

La riga 11

```
printf( "Enter first integer\n" ); // prompt
```

stampa in uscita il letterale "Enter first integer" e posiziona il cursore all'inizio della riga successiva. Questo messaggio è chiamato **prompt** (letteralmente "richiesta di comandi") perché dice all'utente di compiere una specifica azione.

La funzione `scanf` e gli input formattati

La riga 12

```
scanf( "%d", &integer1 ); // legge un intero
```

usa `scanf` (la "f" sta per "formattato") per ottenere un valore dall'utente. La funzione legge dallo *standard input* che solitamente è la tastiera.

Questa `scanf` ha due argomenti, "%d" e `integer1`. Il primo, la stringa di controllo del formato, indica il *tipo* di dato che deve essere inserito dall'utente. Lo specificatore di conversione %d indica che il dato deve essere un intero (la lettera d sta per "decimale intero"). Il % in questo contesto è trattato da `scanf` (e da `printf`, come vedremo) come un carattere speciale con cui inizia uno specificatore di conversione.

Il secondo argomento di `scanf` inizia con il simbolo & – chiamato **operatore di indirizzo** – seguito dal nome della variabile. Il simbolo &, se combinato con il nome della variabile, comunica a `scanf` la locazione (o l'indirizzo) in memoria in cui è contenuta la variabile `integer1`. Il computer quindi memorizza il valore che l'utente inserisce per `integer1` in quella locazione. L'uso del simbolo & causa spesso confusione ai programmati inesperti o a coloro che hanno programmato in altri linguaggi che non richiedono questa notazione. Per adesso ricordate soltanto di far precedere ciascuna variabile in ogni chiamata di `scanf` con il simbolo &. Alcune eccezioni a questa regola saranno esaminate nei Capitoli 6 e 7. L'uso del simbolo & diverrà chiaro dopo che avremo studiato i *puntatori* nel Capitolo 7.



Buona pratica di programmazione 2.8

Lasciate uno spazio dopo ogni virgola (,) per rendere i programmi più leggibili.

Quando il computer esegue la funzione `scanf` di cui sopra, aspetta che l'utente inserisca un valore per la variabile `integer1`. L'utente risponde scrivendo un intero, poi premendo il tasto *Invio* per inviare il numero al computer. Il computer quindi assegna questo numero, o valore, alla variabile `integer1`. Qualunque riferimento successivo a `integer1` in questo programma userà questo stesso valore. Le funzioni `printf` e `scanf` facilitano l'interazione tra l'utente e il computer. Questa interazione assomiglia a un dialogo ed è spesso chiamata **elaborazione interattiva**.

Prompt e inserimento del secondo intero

La riga 14

```
printf( "Enter second integer\n" ); // prompt
```

stampa sullo schermo il messaggio Enter second integer, poi posiziona il cursore all'inizio della riga successiva. Anche questa printf chiede all'utente di compiere un'azione. La riga 15

```
scanf( "%d", &integer2 ); // legge un intero
```

ottiene dall'utente un valore per la variabile integer2.

Definire la variabile sum

La riga 17

```
int sum; // variabile nella quale viene memorizzata sum
```

definisce la variabile sum di tipo int appena prima del suo utilizzo nella riga 18.

Istruzione di assegnazione

L'istruzione di assegnazione nella riga 18

```
sum = integer1 + integer2; // assegna il totale a sum
```

calcola il totale delle variabili integer1 e integer2 e assegna il risultato alla variabile sum usando l'operatore di assegnazione =. L'istruzione è letta come "a sum è assegnato il valore dell'espressione integer1 + integer2". La maggior parte dei calcoli viene eseguita nelle istruzioni di assegnazione. L'operatore = e l'operatore + sono chiamati operatori binari poiché ognuno ha due operandi. I due operandi dell'operatore + sono integer1 e integer2. I due operandi dell'operatore = sono sum e il valore dell'espressione integer1 + integer2.

**Buona pratica di programmazione 2.9**

Lasciate spazi su entrambi i lati di un operatore binario. Questo fa sì che l'operatore sia in evidenza e rende il programma più leggibile.

**Errore comune di programmazione 2.3**

Un calcolo in un'istruzione di assegnazione deve essere sul lato destro dell'operatore =. È un errore di compilazione mettere un calcolo sul lato sinistro di un operatore di assegnazione.

Stampare con una stringa di controllo del formato

La riga 20

```
printf( "Sum is %d\n", sum ); // stampa la somma
```

chiama la funzione printf per stampare il letterale Sum is seguito dal valore numerico della variabile sum sullo schermo. Questa printf ha due argomenti, "Sum is %d\n" e sum. Il primo è la stringa di controllo del formato. Essa contiene alcuni caratteri da stampare esattamente e lo specifikatore di conversione %d che indica che sarà stampato un intero. Il secondo argomento specifica il

valore da stampare. Notate che lo specificatore di conversione per un intero è lo stesso sia in `printf` che in `scanf` (ciò vale per la maggior parte dei tipi di dati in C).

Combinare la definizione di una variabile e un'istruzione di assegnazione

È possibile assegnare un valore a una variabile nella sua definizione (questo è conosciuto come **inizializzazione** della variabile). Per esempio, le righe 17–18 possono essere combinate nell'istruzione

```
int sum = integer1 + integer2; // assegna il totale a sum
```

la quale somma `integer1` e `integer2`, poi memorizza il risultato nella variabile `sum`.

Calcoli all'interno delle istruzioni printf

I calcoli possono anche essere eseguiti all'interno delle istruzioni `printf`. Per esempio, le righe 17–20 possono essere sostituite con l'istruzione

```
printf( "Sum is %d\n", integer1 + integer2 );
```

nel qual caso la variabile `sum` non è necessaria.



Errore comune di programmazione 2.4

Dimenticare di far precedere una variabile in un'istruzione `scanf` dal simbolo &, quando invece è necessario farlo, provoca un errore al momento dell'esecuzione. Su molti sistemi questo causa un "errore di segmentazione" o una "violazione di accesso". Un simile errore si verifica quando il programma dell'utente tenta di accedere a una parte della memoria del computer per la quale non ha privilegi d'accesso. La causa precisa di questo errore sarà spiegata nel Capitolo 7.



Errore comune di programmazione 2.5

Far precedere una variabile inclusa in un'istruzione `printf` dal simbolo & quando, invece, non bisognerebbe farlo.

2.4 Concetti relativi alla memoria

Nomi di variabili come `integer1`, `integer2` e `sum` corrispondono in realtà a locazioni nella memoria del computer. Ogni variabile ha un nome, un tipo e un valore.

Nel programma per l'addizione della Figura 2.5, quando l'istruzione (riga 12)

```
scanf( "%d", &integer1 ); // legge un intero
```

viene eseguita, il valore inserito dall'utente viene posto in una locazione di memoria alla quale è stato assegnato il nome `integer1`. Supponete che l'utente inserisca il numero 45 come valore per `integer1`. Il computer porrà il valore 45 nella locazione `integer1`, come mostrato nella Figura 2.6. Ogni volta che un valore è posto in una locazione di memoria, tale valore *sostituisce* quello precedente in quella locazione e il valore precedente va perso; per tale motivo, questo processo si dice **distruttivo**.

integer1	45
----------	----

Figura 2.6 Locazione di memoria che mostra il nome e il valore di una variabile.

Tornando al nostro programma per l'addizione, quando l'istruzione (riga 15)

```
scanf( "%d", &integer2 ); // legge un intero
```

viene eseguita, supponete che l'utente inserisca il valore 72. Questo valore è posto nella locazione integer2 e la memoria appare come nella Figura 2.7. Queste locazioni non sono necessariamente adiacenti.

integer1	45
integer2	72

Figura 2.7 Locazioni di memoria dopo che entrambe le variabili hanno ricevuto i valori in ingresso.

Una volta che il programma ha ottenuto i valori per integer1 e integer2, esso addiziona questi valori e memorizza il totale nella variabile sum. L'istruzione (riga 18)

```
sum = integer1 + integer2; // assegna il totale a sum
```

che esegue l'addizione *sostituisce* anche qualsiasi valore che era stato memorizzato in precedenza in sum. Questo avviene quando il totale calcolato di integer1 e integer2 è posto nella locazione sum (distruggendo il valore già in sum). Dopo il calcolo di sum, la memoria appare come nella Figura 2.8. I valori di integer1 e integer2 rimangono esattamente come erano *prima* di essere usati nel calcolo. Durante il calcolo sono stati usati, ma non distrutti. Pertanto, quando un valore viene semplicemente *letto* dalla locazione di memoria, il processo si dice *non distruttivo*.

integer1	45
integer2	72
sum	117

Figura 2.8 Locazioni di memoria dopo un calcolo.

2.5 Aritmetica in C

La maggior parte dei programmi in C esegue calcoli usando gli operatori aritmetici del C (Figura 2.9). Notate l'uso di vari simboli speciali non usati comunemente in algebra. L'asterisco (*) indica la *moltiplicazione* e il segno di percentuale (%) indica l'*operatore di resto*, che viene introdotto di seguito. In algebra, per moltiplicare a per b , mettiamo semplicemente l'uno accanto all'altro questi nomi di variabile costituiti da singole lettere, come in ab . Se facessimo questo in C, ab sarebbe

interpretato come un nome singolo di due lettere (o identificatore). Quindi il C (così come molti altri linguaggi di programmazione) richiede che la moltiplicazione sia indicata esplicitamente usando l'operatore `*`, come in `a * b`. Gli operatori aritmetici sono tutti operatori *binari*. Ad esempio, l'espressione `3 + 7` contiene l'operatore binario `+` e gli operandi `3` e `7`.

Operazione in C	Operatore aritmetico	Espressione algebrica	Espressione in C
Addizione	<code>+</code>	$f + 7$	<code>f + 7</code>
Sottrazione	<code>-</code>	$p - c$	<code>p - c</code>
Moltiplicazione	<code>*</code>	bm	<code>b * m</code>
Divisione	<code>/</code>	x/y o $\frac{x}{y}$ o $x \div y$	<code>x / y</code>
Resto	<code>%</code>	$r \bmod s$	<code>r % s</code>

Figura 2.9 Operatori aritmetici.

Divisione intera e operatore di resto

La divisione intera restituisce un risultato intero. Ad esempio, l'espressione `7 / 4` restituisce il valore `1` e l'espressione `17 / 5` restituisce il valore `3`. Il C ha l'operatore di resto, `%`, che calcola il *resto* di una divisione intera. L'operatore di resto è un operatore intero che può essere usato soltanto con operandi interi. L'espressione `x % y` calcola il resto della divisione di `x` per `y`. Così, `7 % 4` restituisce il valore `3` e `17 % 5` restituisce il valore `2`. Esamineremo in seguito molte interessanti applicazioni dell'operatore di resto.



Errore comune di programmazione 2.6

Un tentativo di dividere per zero porta a un risultato indefinito sul computer e generalmente provoca un errore irreversibile, ossia un errore che causa l'interruzione immediata di un programma, senza che questo porti a termine con successo il suo lavoro. Gli errori non irreversibili permettono ai programmi di completare l'esecuzione, producendo spesso risultati scorretti.

Espressioni aritmetiche in forma lineare

Le espressioni aritmetiche in C devono essere scritte in forma lineare per facilitare l'inserimento di programmi nel computer. Così, espressioni come "a diviso b" devono essere scritte come `a/b`, in modo che tutti gli operatori e gli operandi compaiano in una configurazione lineare. La notazione algebrica

$$\frac{a}{b}$$

non è generalmente accettabile per i compilatori, sebbene alcuni pacchetti software specifici tollerino una notazione più naturale per le espressioni matematiche complesse.

Parentesi per raggruppare sottoespressioni

Le parentesi sono usate nelle espressioni in C allo stesso modo che nelle espressioni algebriche. Ad esempio, per moltiplicare per `a` la quantità `b + c`, scriviamo `a * (b + c)`.

Regole di precedenza degli operatori

Il C applica gli operatori nelle espressioni aritmetiche in una precisa sequenza, determinata dalle seguenti regole di precedenza degli operatori, che generalmente sono le stesse di quelle dell'algebra:

1. Gli operatori nelle espressioni contenute entro una coppia di parentesi sono applicati per primi. Le parentesi si considerano al “massimo livello di precedenza”. In caso di parentesi annidate, come

$$((a + b) + c)$$

gli operatori nella coppia di parentesi *più interne* sono applicati per primi.

2. Le operazioni di moltiplicazione, divisione e resto sono calcolate subito dopo. Se un'espressione contiene diverse operazioni di moltiplicazione, divisione e resto, il calcolo procede da sinistra a destra. Si dice che la moltiplicazione, la divisione e il resto hanno lo stesso livello di precedenza.
3. Segue il calcolo delle operazioni di addizione e sottrazione. Se un'espressione contiene diverse operazioni di addizione e sottrazione, il calcolo procede da sinistra a destra. L'addizione e la sottrazione hanno anche lo stesso livello di precedenza, che è più basso di quello delle operazioni di moltiplicazione, divisione e resto.
4. L'operatore di assegnazione (`=`) è valutato per ultimo.

Le regole di precedenza degli operatori specificano l'ordine che viene usato per calcolare le espressioni in C.¹ Quando diciamo che il calcolo procede da sinistra a destra, ci riferiamo all'associatività degli operatori. Vedremo che alcuni operatori sono associativi da destra a sinistra. La Figura 2.10 sintetizza queste regole di precedenza per gli operatori che abbiamo visto finora.

Operatore()	Operazione(i)	Ordine di valutazione (precedenza)
()	Parentesi	Valutate per prime. Se le parentesi sono annidate, l'espressione nella coppia <i>più interna</i> è calcolata per prima. Se vi sono diverse coppie di parentesi “allo stesso livello” (cioè non annidate), queste sono calcolate da sinistra a destra.
*	Moltiplicazione	Valutate per seconde. Se ve ne sono diverse, sono calcolate da sinistra a destra.
/	Divisione	
%	Resto	
+	Addizione	Valutate per terze. Se ve ne sono diverse, sono calcolate da sinistra a destra.
-	Sottrazione	
=	Assegnazione	Valutata per ultima.

Figura 2.10 Precedenza degli operatori aritmetici.

¹ Usiamo esempi semplici per spiegare l'ordine di calcolo delle espressioni. Problemi particolari si presentano in espressioni più complesse che incontrerete in seguito nel libro. Affronteremo questi problemi quando compariranno.

Esempi di espressioni algebriche e di espressioni in C

Adesso consideriamo diverse espressioni alla luce delle regole di precedenza degli operatori. Ogni esempio presenta un'espressione algebrica e la sua equivalente in C. La seguente espressione calcola la media aritmetica di cinque termini.

$$\text{Algebra: } m = \frac{a + b + c + d + e}{5}$$

$$\text{C: } m = (a + b + c + d + e) / 5;$$

Le parentesi sono richieste per raggruppare le addizioni, perché la divisione ha una precedenza più alta dell'addizione. L'intera quantità $(a + b + c + d + e)$ deve essere divisa per 5. Se le parentesi sono erroneamente omesse, otteniamo $a + b + c + d + e / 5$, che viene calcolata non correttamente come

$$a + b + c + d + \frac{e}{5}$$

La seguente espressione è l'equazione di una linea retta:

$$\text{Algebra: } y = mx + b$$

$$\text{C: } y = m * x + b;$$

Non sono richieste parentesi. La moltiplicazione è calcolata per prima, perché la moltiplicazione ha una precedenza più alta dell'addizione.

La seguente espressione contiene le operazioni di resto (%), moltiplicazione, divisione, addizione, sottrazione e assegnazione:

$$\text{Algebra: } z = pr \bmod q + w/x - y$$

$$\text{C: } z = p * r \% q + w / x - y;$$

6 1 2 4 3 5

I numeri cerchiati indicano l'ordine in cui vengono applicati gli operatori in C. La moltiplicazione, il resto e la divisione sono calcolati per primi nell'ordine da sinistra a destra (cioè sono associativi da sinistra a destra), perché hanno una precedenza più alta dell'addizione e della sottrazione. L'addizione e la sottrazione sono calcolate successivamente, anch'esse da sinistra a destra. Alla fine il risultato è assegnato alla variabile z.

Non tutte le espressioni con diverse coppie di parentesi contengono parentesi annidate. Ad esempio, l'espressione seguente *non* contiene parentesi annidate; le parentesi sono "allo stesso livello".

$$a * (b + c) + c * (d + e)$$

Calcolo di un polinomio di secondo grado

Per avere una comprensione migliore delle regole di precedenza degli operatori, vediamo come viene calcolato un polinomio di secondo grado in C.

$y = a * x * x + b * x + c;$

6 1 2 4 3 5

I numeri cerchiati sotto l'istruzione indicano l'ordine in cui vengono eseguite le operazioni in C. Non c'è alcun operatore aritmetico per l'esponente in C, così abbiamo scritto x^2 come $x * x$. La Libreria Standard del C include la funzione pow ("power") per calcolare una potenza. A causa di problemi particolari relativi ai tipi di dati richiesti dalla funzione pow, rimandiamo al Capitolo 4 una spiegazione dettagliata di tale funzione.

Supponete che le variabili a , b , c e x nel precedente polinomio di secondo grado siano inizializzate come segue: $a = 2$, $b = 3$, $c = 7$ e $x = 5$. La Figura 2.11 illustra l'ordine in cui gli operatori sono applicati.

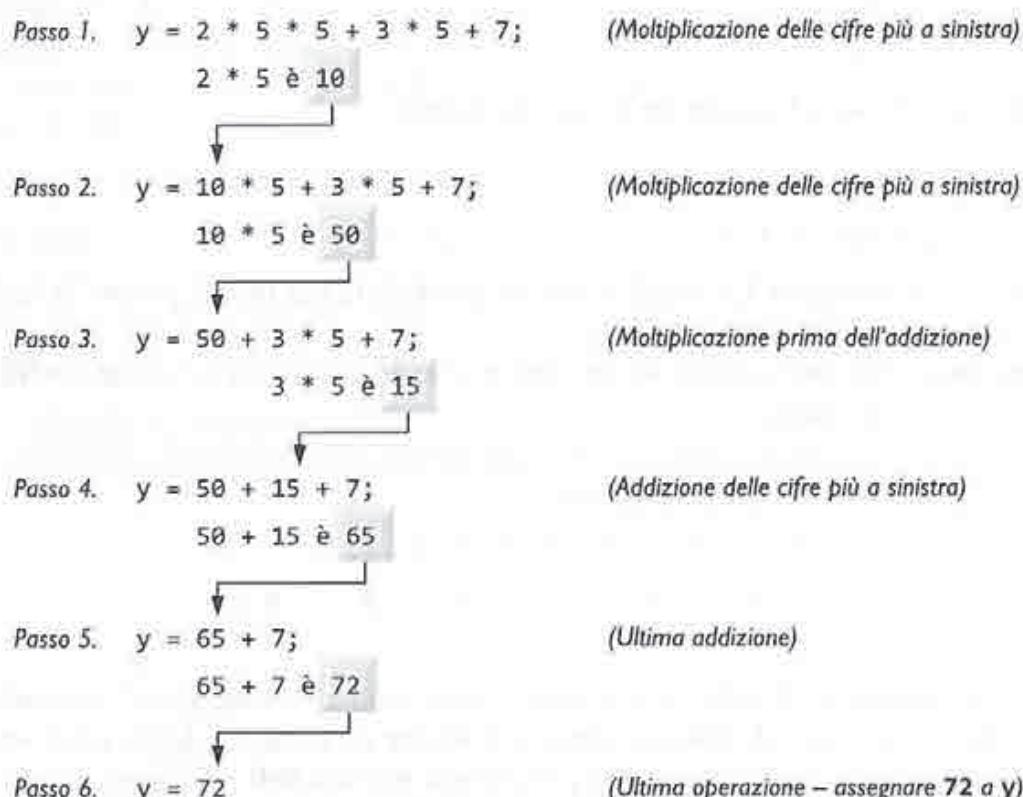


Figura 2.11 Ordine di calcolo per un polinomio di secondo grado.

Utilizzare parentesi per chiarezza

Come in algebra, è accettabile inserire parentesi non necessarie in un'espressione per renderla più chiara. Queste sono chiamate **parentesi ridondanti**. Ad esempio, l'istruzione precedente potrebbe essere scritta con parentesi come segue:

$y = (a * x * x) + (b * x) + c;$

2.6 Decisioni: operatori di uguaglianza e relazionali

Le istruzioni eseguibili o eseguono azioni (come calcoli, oppure input o output di dati) o prendono decisioni (presto ne vedremo diversi esempi). Potremmo prendere una decisione in un programma, ad esempio, per stabilire se il voto di una persona a un esame sia maggiore o uguale a 60 e se il programma debba stampare il messaggio "Congratulazioni! Sei stato promosso." Questo paragrafo introduce una versione semplice dell'istruzione `if` del C, che permette a un programma di prendere una decisione basata sulla verità o falsità di un'espressione chiamata condizione. Se la condizione è vera (cioè la condizione è soddisfatta), l'istruzione nel corpo dell'istruzione `if` viene eseguita. Se la condizione è falsa (cioè la condizione non è soddisfatta), l'istruzione nel corpo non viene eseguita. A prescindere dal fatto che l'istruzione nel corpo venga eseguita o meno, al termine dell'istruzione `if` l'esecuzione procede con l'istruzione successiva all'istruzione `if`.

Le condizioni nelle istruzioni `if` vengono costruite usando gli operatori di uguaglianza e gli operatori relazionali riassunti nella Figura 2.12. Gli operatori relazionali hanno tutti lo stesso livello di precedenza e sono associativi da sinistra a destra. Gli operatori di uguaglianza hanno un livello di precedenza più basso degli operatori relazionali e sono associativi da sinistra a destra. [Nota: in C una condizione può essere effettivamente *qualsiasi espressione che genera un valore zero (falso) o un valore diverso da zero (vero)*.]



Errore comune di programmazione 2.7

Si commette un errore di sintassi se i due simboli in uno qualsiasi degli operatori ==, !=, >= e <= sono separati da spazi.



Errore comune di programmazione 2.8

Confondere l'operatore di uguaglianza == con l'operatore di assegnazione. Per evitare questa confusione, l'operatore di uguaglianza va letto "doppio uguale" e l'operatore di assegnazione va letto "assume il valore." Come vedrete, confondere questi operatori può non causare un errore di compilazione facile da riconoscere, ma può causare errori logici molto insidiosi.

Operatore di uguaglianza o relazionale in algebra	Operatore di uguaglianza o relazionale in C	Esempio di condizione in C	Significato della condizione in C
<i>Operatori relazionali</i>			
>	>	$x > y$	x è maggiore di y
<	<	$x < y$	x è minore di y
\geq	\geq	$x \geq y$	x è maggiore o uguale a y
\leq	\leq	$x \leq y$	x è minore o uguale a y
<i>Operatori di uguaglianza</i>			
$=$	$==$	$x == y$	x è uguale a y
\neq	$!=$	$x != y$	x non è uguale a y

Figura 2.12 Operatori di uguaglianza e relazionali.

La Figura 2.13 usa sei istruzioni if per confrontare due numeri inseriti dall'utente. Se la condizione in una qualunque di queste istruzioni if è vera, l'istruzione printf a essa associata viene eseguita. Il programma e i risultati in uscita dei tre esempi di esecuzione sono mostrati nella figura.

```
1 // Fig. 2.13: fig02_13.c
2 // Uso dell'istruzione if, degli operatori
3 // relazionali e degli operatori di uguaglianza.
4 #include <stdio.h>
5
6 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
7 int main( void )
8 {
9     printf( "Enter two integers, and I will tell you\n" );
10    printf( "the relationships they satisfy: " );
11
12    int num1; // primo numero inserito dall'utente
13    int num2; // secondo numero inserito dall'utente
14
15    scanf( "%d %d", &num1, &num2 ); // legge due interi
16
17    if ( num1 == num2 ) {
18        printf( "%d is equal to %d\n", num1, num2 );
19    } // fine di if
20
21    if ( num1 != num2 ) {
22        printf( "%d is not equal to %d\n", num1, num2 );
23    } // fine di if
24
25    if ( num1 < num2 ) {
26        printf( "%d is less than %d\n", num1, num2 );
27    } // fine di if
28
29    if ( num1 > num2 ) {
30        printf( "%d is greater than %d\n", num1, num2 );
31    } // fine di if
32
33    if ( num1 <= num2 ) {
34        printf( "%d is less than or equal to %d\n", num1, num2 );
35    } // fine di if
36
37    if ( num1 >= num2 ) {
38        printf( "%d is greater than or equal to %d\n", num1, num2 );
39    } // fine di if
40 } // fine della funzione main
```

```
Enter two integers, and I will tell you
the relationships they satisfy: 3 7
3 is not equal to 7
3 is less than 7
3 is less than or equal to 7
```

```
Enter two integers, and I will tell you
the relationships they satisfy: 22 12
22 is not equal to 12
22 is greater than 12
22 is greater than or equal to 12
```

```
Enter two integers, and I will tell you
the relationships they satisfy: 7 7
7 is equal to 7
7 is less than or equal to 7
7 is greater than or equal to 7
```

Figura 2.13 Uso dell'istruzione if, degli operatori relazionali e degli operatori di uguaglianza.

Il programma usa `scanf` (riga 15) per leggere due interi nelle variabili `int num1` e `num2`. Ogni specificatore di conversione ha un argomento corrispondente nel quale sarà memorizzato il valore in ingresso. Il primo `%d` converte il valore da memorizzare nella variabile `num1` e il secondo `%d` converte il valore da memorizzare nella variabile `num2`.



Buona pratica di programmazione 2.10

Pur essendo permesso, è preferibile che non ci sia più di un'istruzione per riga in un programma.



Errore comune di programmazione 2.9

Mettere virgole (quando non sono necessarie) tra specificatori di conversione nella stringa di controllo del formato di un'istruzione `scanf`.

Confronto di numeri

L'istruzione if nelle righe 17–19

```
if ( num1 == num2 ) {
    printf( "%d is equal to %d\n", num1, num2 );
} // fine di if
```

confronta i valori delle variabili `num1` e `num2` per vedere se sono uguali. Se i valori sono uguali, l'istruzione nella riga 18 stampa una riga di testo che afferma che i numeri sono uguali. Se le condizioni sono vere in una o più delle istruzioni if nelle righe 21, 25, 29, 33 e 37, la corrispondente istruzione nel corpo dell'if stampa una riga di testo appropriata. Indentare il corpo di ognuna delle istruzioni if e inserire righe vuote sopra e sotto di esse migliora la leggibilità del programma.



Errore comune di programmazione 2.10

Mettere un punto e virgola immediatamente dopo la parentesi destra che segue la condizione in un'istruzione if.

Una parentesi graffa sinistra, {, inizia il corpo di ognuna delle istruzioni `if` (es. la riga 17). Una parentesi graffa destra corrispondente, }, termina il corpo dell'istruzione `if` (es. la riga 19). Nel corpo di un'istruzione `if` si può inserire un numero qualsiasi di istruzioni.²



Buona pratica di programmazione 2.11

Un'istruzione troppo lunga può essere distribuita su diverse righe. Se un'istruzione deve essere divisa fra più righe, scegliete punti di rottura che abbiano senso (come dopo una virgola in un elenco separato da virgolette). Se un'istruzione è divisa fra due o più righe, indentate tutte le righe successive. Non è corretto spezzare gli identificatori.

La Figura 2.14 elenca la precedenza degli operatori introdotti in questo capitolo, dalla più alta alla più bassa. Gli operatori sono mostrati dall'alto in basso in ordine decrescente di precedenza. Il segno di uguale è pure un operatore. Tutti questi operatori, ad eccezione dell'operatore di assegnazione =, sono associativi da sinistra a destra. L'operatore di assegnazione (=) è associativo da destra a sinistra.

Operatori	Associatività
()	da sinistra a destra
* / %	da sinistra a destra
+ -	da sinistra a destra
< <= > >=	da sinistra a destra
== !=	da sinistra a destra
=	da destra a sinistra

Figura 2.14 Precedenza e associatività degli operatori discussi finora.



Buona pratica di programmazione 2.12

Quando scrivete espressioni contenenti molti operatori, fate riferimento alla tabella di precedenza degli operatori. Controllate che gli operatori nell'espressione siano applicati nell'ordine giusto. Se non siete sicuri sull'ordine di calcolo in un'espressione complessa, usate le parentesi per raggruppare le espressioni o spezzate l'istruzione in diverse istruzioni più semplici. Ricordatevi che alcuni operatori del C come l'operatore di assegnazione (=) sono associativi da destra a sinistra piuttosto che da sinistra a destra.

Alcune delle parole che abbiamo usato nei programmi in C in questo capitolo – in particolare `int`, `if` e `void` – sono parole chiave o parole riservate del linguaggio. La Figura 2.15 contiene le paro-

² L'uso di parentesi graffe per delimitare il corpo di un'istruzione `if` è facoltativo quando il corpo contiene soltanto un'istruzione. È considerata una buona pratica usare sempre tali parentesi. Nel Capitolo 3 parleremo di questo argomento.

le chiavi del C. Queste parole hanno un significato speciale per il compilatore C, pertanto dovete fare attenzione a non usarle come identificatori, come per i nomi delle variabili.

In questo capitolo abbiamo introdotto diverse importanti caratteristiche della programmazione in linguaggio C, come la stampa di dati sullo schermo, l'inserimento di dati da parte dell'utente, l'esecuzione di calcoli e il prendere decisioni. Nel prossimo capitolo utilizzeremo queste tecniche nel loro insieme quando introdurremo la programmazione strutturata. Le tecniche di indentazione vi diverranno più familiari. Studieremo come specificare l'*ordine di esecuzione delle istruzioni*, ovvero il cosiddetto **flusso di controllo**.

Parole chiave			
auto	double	int	struct
break	else	long	switch
case	enum	register	typedef
char	extern	return	union
const	float	short	unsigned
continue	for	signed	void
default	goto	sizeof	volatile
do	if	static	while

Parole chiave aggiunte nello standard C99
_Bool _Complex _Imaginary inline restrict

Parole chiave aggiunte nello standard C11
_Alignas _Alignof _Atomic _Generic _Noreturn _Static_assert _Thread_local

Figura 2.15 Parole chiave del C.

2.7 Programmazione sicura in C

Nella Prefazione abbiamo fatto menzione del *CERT C Secure Coding Standard* e abbiamo detto che avremmo seguito certe linee guida che vi avrebbero aiutato a evitare pratiche di programmazione che espongono i sistemi ad attacchi.

Evitare printf con argomento singolo³

Una linea guida consiste nell'*evitare l'uso di printf con una sola stringa come argomento*. Se avete necessità di stampare una stringa che *termina con un newline* ("ritorno a capo"), usate la funzione **puts**, che stampa il suo argomento, una stringa, seguito da un carattere newline. Ad esempio, nella Figura 2.1, la riga 8

```
printf( "Welcome to C!\n" );
```

³ Per maggiori informazioni si veda CERT Secure Coding rule FIO30-C (www.securecoding.cert.org/confluence/display/seccode/FIO30-C.+Exclude+user+input+from+format+strings). Nel paragrafo sulla programmazione sicura in C nel Capitolo 6 spiegheremo la nozione di input dell'utente come è definita da questa linea guida CERT.

andrebbe scritta come:

```
puts( "Welcome to C!" );
```

Non abbiamo incluso \n nella stringa precedente perché puts lo aggiunge automaticamente.

Se avete l'esigenza di mostrare una stringa *senza* un carattere newline di terminazione, usate printf con *due* argomenti: una stringa di controllo per il formato "%s" e la stringa da stampare. Lo specificatore di conversione %s serve a stampare una stringa. Ad esempio, nella Figura 2.3, la riga 8

```
printf( "Welcome" );
```

andrebbe scritta come:

```
printf( "%s", "Welcome" );
```

Sebbene le printf in questo capitolo così come sono scritte *non* siano davvero insicure, queste modifiche sono buone pratiche di codifica che eliminaranno certe vulnerabilità relative alla sicurezza quando andremo più a fondo nel linguaggio C (nel seguito del libro spiegheremo il motivo). D'ora in poi useremo queste pratiche negli esempi del capitolo e voi dovraste usarle nelle risposte ai vostri esercizi.

Scanf e printf, scanf_s e printf_s

In questo capitolo abbiamo solo introdotto scanf e printf. Diremo di più su queste funzioni nei successivi paragrafi sulle linee guida per una codifica sicura in C, partendo dal Paragrafo 3.13. Esamineremo anche le funzioni scanf_s e printf_s, che sono state introdotte nel C11.

Riepilogo

Paragrafo 2.1 Introduzione

Il linguaggio C facilita un approccio strutturato e disciplinato al progetto di programmi per computer.

Paragrafo 2.2 Un semplice programma in C: stampare una riga di testo

- I commenti cominciano con //. Essi documentano i programmi e ne migliorano la leggibilità. Il C prevede anche commenti multilinea, secondo uno stile più datato, che cominciano con /* e finiscono con */.
- I commenti non fanno eseguire al computer azioni quando il programma è in esecuzione. Essi vengono ignorati dal compilatore C e non provocano la generazione di codice oggetto in linguaggio macchina.
- Le righe che cominciano con # sono elaborate dal preprocessore prima che il programma sia compilato. La direttiva #include dice al preprocessore di includere il contenuto di un altro file.
- L'intestazione <stdio.h> indica il file stdio.h contenente informazioni utilizzate dal compilatore per la chiamata di funzioni di input/output della Libreria Standard come printf.
- La funzione main fa parte di ogni programma in C. Le parentesi dopo main indicano che main è un blocco costituente di un programma chiamato funzione. I programmi in C contengono una o più funzioni, una delle quali deve essere main. Ogni programma in C inizia l'esecuzione dalla funzione main.

- Le funzioni possono restituire informazioni. La parola chiave `int` alla sinistra di `main` indica che `main` "restituisce" un valore intero (numero intero).
- Le funzioni possono ricevere informazioni quando vengono invocate. Il `void` in parentesi dopo `main` indica che `main` non riceve informazioni.
- Una parentesi graffa sinistra, `{`, inizia il corpo di ogni funzione. Una corrispondente parentesi graffa destra, `}`, termina ciascuna funzione. La coppia di parentesi graffe insieme alla porzione di programma tra le parentesi è chiamata blocco.
- La funzione `printf` istruisce il computer a stampare informazioni sullo schermo.
- Una stringa è talvolta chiamata stringa di caratteri, messaggio o letterale.
- Ogni istruzione deve terminare con un punto e virgola (noto anche come terminatore dell'istruzione).
- In `\n`, il backslash (cioè la barra all'indietro `\`) è chiamato carattere di escape. Quando si incontra un backslash in una stringa, il compilatore guarda avanti al carattere successivo e lo combina con il backslash per formare una sequenza di escape. La sequenza di escape `\n` significa newline, ovvero ritorno a capo in una riga successiva.
- Quando un newline appare nella stringa inviata in uscita da una `printf`, il cursore viene posizionato all'inizio della riga successiva sullo schermo.
- Il doppio backslash (`\\"`) della sequenza di escape può essere usato per inserire un singolo backslash in una stringa.
- La sequenza di escape `\\"` rappresenta il carattere "doppie virgolette" in una stringa.

Paragrafo 2.3 Un altro semplice programma in C: addizionare due interi

- Una variabile è una locazione di memoria dove un valore può essere memorizzato per essere usato da un programma.
- Variabili di tipo `int` contengono valori interi, cioè numeri interi come `7, -11, 0, 3, 31914`.
- Tutte le variabili devono essere definite con un nome e un tipo di dato prima di poter essere utilizzate in un programma.
- Il nome di una variabile in C è qualsiasi identificatore valido. Un identificatore è una serie di caratteri, costituita da lettere, cifre e trattini (`_`), che non inizia con una cifra.
- Il C è sensibile al carattere maiuscolo/minuscolo: lettere maiuscole e minuscole sono differenti in C.
- La funzione `scanf` della Libreria Standard può essere usata per ottenere dati in ingresso dallo standard input, che solitamente è la tastiera.
- Lo specificatore di conversione `%d` indica che il dato deve essere un intero (la lettera `d` sta per "intero decimale"). Il simbolo `%` in questo contesto è trattato da `scanf` (e `printf`) come un carattere speciale con cui inizia uno specificatore di conversione.
- Gli argomenti che seguono la stringa di controllo per il formato di `scanf` iniziano con il simbolo `&` – detto operatore di indirizzo – seguito dal nome della variabile. Il simbolo `&`, se combinato col nome di una variabile, indica a `scanf` la locazione di memoria associata alla variabile. Il computer pertanto memorizza il valore della variabile in tale locazione.
- La maggior parte dei calcoli è eseguita nelle istruzioni di assegnazione.
- L'operatore `=` e l'operatore `+` sono operatori binari, ciascuno con due operandi.

- In una `printf` che specifica come suo primo argomento una stringa di controllo per il formato, gli specificatori di conversione indicano i segnaposto per i dati da inviare in uscita.

Paragrafo 2.4 Concetti relativi alla memoria

- I nomi delle variabili corrispondono a locazioni nella memoria del computer. Ogni variabile ha un nome, un tipo e un valore.
- Tutte le volte che un valore è posto in una locazione di memoria, sostituisce il valore precedente contenuto in quella locazione; così, inserire un nuovo valore in una locazione di memoria è un'operazione “distruttiva”.
- Quando un valore viene letto da una locazione di memoria, l'operazione è non distruttiva.

Paragrafo 2.5 Aritmetica in C

- In algebra, se vogliamo moltiplicare a per b , possiamo semplicemente porre questi nomi di variabili, costituiti da lettere singole, l'uno accanto all'altro come in ab . In C, invece, se facessimmo questo, ab verrebbe interpretato come un singolo nome di due lettere (o identificatore). Quindi il C (come altri linguaggi di programmazione in generale) richiede che la moltiplicazione sia esplicitamente indicata con l'uso dell'operatore `*`, come in `a * b`.
- Le espressioni aritmetiche in C vanno scritte in forma lineare per facilitare l'inserimento di programmi nel computer. Così, espressioni quali “ a diviso b ” vanno scritte come `a/b`, in modo che tutti gli operatori e gli operandi compaiano in una sola riga.
- Le parentesi sono usate per raggruppare termini nelle espressioni in C allo stesso modo che nelle espressioni algebriche.
- Le espressioni aritmetiche vengono calcolate in C in una sequenza precisa determinata dalle regole di precedenza degli operatori illustrate nei punti successivi, che sono generalmente le stesse di quelle seguite nell'algebra.
- Le operazioni di moltiplicazione, divisione e resto sono applicate per prime. Se un'espressione contiene diverse operazioni di moltiplicazione, divisione e resto, il calcolo procede da sinistra a destra. Si dice che la moltiplicazione, la divisione e il resto sono allo stesso livello di precedenza.
- Le operazioni di addizione e sottrazione sono calcolate dopo. Se un'espressione contiene diverse operazioni di addizione e sottrazione, il calcolo procede da sinistra a destra. L'addizione e la sottrazione hanno anche lo stesso livello di precedenza, che è più basso di quello degli operatori di moltiplicazione, divisione e resto.
- Le regole di precedenza degli operatori specificano l'ordine che viene usato per calcolare le espressioni in C. L'associatività degli operatori specifica se essi sono valutati da sinistra a destra o da destra a sinistra.

Paragrafo 2.6 Decisioni: operatori di uguaglianza e relazionali

- Le istruzioni eseguibili del C o eseguono azioni o prendono decisioni.
- L'istruzione `if` del C permette a un programma di prendere una decisione basata sulla verità o sulla falsità di un'espressione chiamata condizione. Se la condizione è soddisfatta (è vera), l'istruzione nel corpo dell'istruzione `if` viene eseguita. Se la condizione non è soddisfatta (è falsa), l'istruzione nel corpo non viene eseguita. A prescindere dal fatto che l'istruzione nel corpo venga eseguita o meno, al termine dell'istruzione `if` l'esecuzione procede con l'istruzione successiva all'istruzione `if`.

- Le condizioni nelle istruzioni `if` sono scritte usando gli operatori di uguaglianza e gli operatori relazionali.
- Gli operatori relazionali hanno tutti lo stesso livello di precedenza e sono associativi da sinistra a destra. Gli operatori di uguaglianza hanno un livello più basso di precedenza degli operatori relazionali e sono pure associativi da sinistra a destra.
- Per evitare di confondere l'assegnazione (`=`) e l'uguaglianza (`==`), l'operatore di assegnazione andrebbe letto "assume il valore" e l'operatore di uguaglianza "doppio uguale."
- Nei programmi in C i caratteri di spaziatura come tab, newline e spazio sono normalmente ignorati. Così le istruzioni possono essere divise su diverse righe. Non è corretto dividere gli identificatori.
- Le parole chiave (o parole riservate) hanno un significato speciale per il compilatore C, per cui non potete utilizzarle come identificatori, come nel caso dei nomi di variabili.

Paragrafo 2.7 Programmazione sicura in C

- Una buona pratica che contribuisce a evitare che i sistemi rimangano esposti agli attacchi è quella di non usare `printf` con un solo argomento costituito da una singola stringa.
- Per stampare una stringa seguita da un carattere newline, usate la funzione `puts` che stampa il suo argomento (una stringa) seguito da un carattere newline.
- Per stampare una sola stringa senza il carattere newline finale, potete usare `printf` con lo specificatore di conversione "%s" come primo argomento e la stringa da stampare come secondo argomento.

Esercizi di autovalutazione

2.1 Riempite gli spazi vuoti in ognuna delle seguenti frasi.

- Ogni programma in C inizia l'esecuzione dalla funzione _____.
- Il corpo di ogni funzione inizia con _____ e termina con _____.
- Ogni istruzione termina con un _____.
- La funzione della Libreria Standard _____ stampa le informazioni sullo schermo.
- La sequenza di escape `\n` rappresenta il carattere di _____ che porta il cursore a posizionarsi all'inizio della riga successiva sullo schermo.
- La funzione della Libreria Standard _____ è usata per leggere dati dalla tastiera.
- Lo specificatore di conversione _____ è usato in una stringa di controllo per il formato in un'istruzione `scanf` per indicare che sarà letto un intero e in una stringa di controllo per il formato in un'istruzione `printf` per indicare che sarà fornito in uscita un intero.
- Ogni volta che un nuovo valore è posto in una locazione di memoria, esso annulla il valore precedente in quella locazione. Questa operazione si dice _____.
- Quando un valore è letto da una locazione di memoria, il valore in quella locazione viene lasciato inalterato; questa operazione si dice _____.
- L'istruzione _____ è usata per prendere decisioni.

2.2 Stabilite se ognuna delle seguenti frasi è *vera* o *falsa*. Se *falsa*, spiegate perché.

- La funzione `printf` comincia a stampare sempre all'inizio di una nuova riga.
- I commenti fanno sì che il computer stampi sullo schermo il testo dopo // durante l'esecuzione del programma.

- c) La sequenza di escape `\n`, quando è usata in una stringa di controllo per il formato in un'istruzione `printf`, fa posizionare il cursore all'inizio della riga successiva sullo schermo.
- d) Prima di essere usate, tutte le variabili devono essere definite.
- e) A tutte le variabili deve essere assegnato un tipo quando sono definite.
- f) Il linguaggio C considera identiche le variabili `number` e `NuMbEr`.
- g) Le definizioni possono comparire ovunque nel corpo di una funzione.
- h) Tutti gli argomenti che seguono la stringa di controllo per il formato in una funzione `printf` devono essere preceduti dal simbolo `&`.
- i) L'operatore di resto `(%)` può essere usato soltanto con operandi interi.
- j) Gli operatori aritmetici `*`, `/`, `%`, `+` e `-` hanno tutti lo stesso livello di precedenza.
- k) Un programma che stampa tre righe di output deve contenere tre istruzioni `printf`.
- 2.3** Scrivete singole istruzioni in C per realizzare ognuna delle seguenti operazioni:
- Definite le variabili `c`, `thisVariable`, `q76354` e `number` di tipo `int`.
 - Richiedete all'utente di inserire un intero. Terminate il vostro messaggio di richiesta con i due punti `(:)` seguiti da uno spazio e lasciate il cursore posizionato dopo lo spazio.
 - Leggete un intero dalla tastiera e memorizzate il valore inserito in una variabile intera `a`.
 - Se `number` non è uguale a 7, stampate "The variable number is not equal to 7."
 - Stampate il messaggio "This is a C program." su una riga.
 - Stampate il messaggio "This is a C program." su due righe in modo che la prima riga termini con `C`.
 - Stampate il messaggio "This is a C program." con ogni parola su una riga separata.
 - Stampate il messaggio "This is a C program." con le parole separate da tabulazioni.
- 2.4** Scrivete un'istruzione (o un commento) per realizzare ognuna delle seguenti operazioni:
- Dichiarate che un programma calcolerà il prodotto di tre interi.
 - Richiedete all'utente di inserire tre interi.
 - Definite le variabili `x`, `y`, `z` e `result` di tipo `int`.
 - Leggete tre interi dalla tastiera e memorizzateli nelle variabili `x`, `y` e `z`.
 - Definite la variabile `result`, calcolate il prodotto degli interi nelle variabili `x`, `y` e `z` e utilizzate il risultato per inizializzare la variabile `result`.
 - Stampate "The product is" seguito dal valore della variabile intera `result`.
- 2.5** Usando le istruzioni che avete scritto nell'Esercizio 2.4, scrivete un programma completo che calcoli il prodotto di tre interi.
- 2.6** Identificate e correggete gli errori in ciascuna delle seguenti istruzioni:
- `printf("The value is %d\n", &number);`
 - `scanf("%d%d", &number1, number2);`
 - `if (c < 7); {`
 `printf("C is less than 7\n");`
`}`
 - `if (c => 7) {`
 `printf("C is greater than or equal to 7\n");`
`}`

Risposte agli esercizi di autovalutazione

- 2.1 a) main. b) parentesi graffa sinistra ({), parentesi graffa destra (}). c) punto e virgola. d) printf. e) newline. f) scanf. g) %d. h) distruttiva. i) non distruttiva. j) if.
- 2.2 a) Falso. La funzione printf comincia a stampare sempre da dove il cursore è posizionato, e questa posizione può essere ovunque su una riga dello schermo.
 b) Falso. I commenti non fanno effettuare alcuna azione durante l'esecuzione del programma; sono usati per documentare i programmi e migliorarne la leggibilità.
 c) Vero.
 d) Vero.
 e) Vero.
 f) Falso. Il linguaggio C è sensibile al carattere maiuscolo/minuscolo, per cui queste variabili sono diverse.
 g) Vero.
 h) Falso. Gli argomenti in una funzione printf generalmente non devono essere preceduti dal simbolo &. Gli argomenti che seguono la stringa di controllo del formato in una funzione scanf generalmente devono essere preceduti da un &. Analizzeremo le eccezioni a queste regole nei Capitoli 6 e 7..
 i) Vero.
 j) Falso. Gli operatori *, / e % sono allo stesso livello di precedenza e gli operatori + e - sono a un livello di precedenza più basso.
 k) Falso. Un'istruzione printf con più sequenze di escape \n può stampare diverse righe.
- 2.3 a) int c, thisVariable, q76354, number;
 b) printf("Enter an integer: ");
 c) scanf("%d", &a);
 d) if (number != 7) {
 printf("The variable number is not equal to 7.\n");
 }
 e) printf("This is a C program.\n");
 f) printf("This is a C\nprogram.\n");
 g) printf("This\nis\na\nC\nprogram.\n");
 h) printf("This\ris\nta\tC\tprogram.\n");
- 2.4 a) // Calcola il prodotto di tre interi
 b) printf("Enter three integers: ");
 c) int x, y, z;
 d) scanf("%d%d%d", &x, &y, &z);
 e) int result = x * y * z;
 f) printf("The product is %d\n", result);
- 2.5 Si veda sotto.

```

1 // Calcola il prodotto di tre interi
2 #include <stdio.h>
3
4 int main( void )
5 {
6     printf( "Enter three integers: " ); // prompt
7
8     int x, y, z; // dichiara variabili
  
```

```

9     scanf( "%d%d%d", &x, &y, &z ); // legge tre interi
10
11    int result = x * y * z; // moltiplica i valori
12    printf( "The product is %d\n", result ); // stampa il risultato
13 } // termina la funzione main

```

- 2.6 a) Errore: &number.

Correzione: eliminare il simbolo &. Discuteremo le eccezioni in seguito.

- b) Errore: number2 non ha un &.

Correzione: number2 deve essere &number2. In seguito nel testo esamineremo eventuali eccezioni.

- c) Errore: il punto e virgola dopo la parentesi destra della condizione nell'istruzione if.

Correzione: rimuovere il punto e virgola dopo la parentesi destra. [Nota: il risultato di questo errore è che l'istruzione printf sarà eseguita a prescindere dal fatto che la condizione nell'istruzione if sia vera o falsa. Il punto e virgola dopo la parentesi destra è considerato un'istruzione vuota, un'istruzione che non fa niente.]

- d) Errore: => non è un operatore nel linguaggio C.

Correzione: l'operatore relazionale => va cambiato in >= (maggiore o uguale a).

Esercizi

- 2.7 Identificate e correggete gli errori in ciascuna delle seguenti istruzioni. (Nota: potrebbe esserci più di un errore per istruzione.)

a) scanf("d", value);

b) printf("The product of %d and %d is %d\n", x, y);

c) firstNumber + secondNumber = sumOfNumbers

d) if (number => largest)
 largest == number;

e) /* Programma per il calcolo del maggiore di tre interi */

f) Scanf("%d", anInteger);

g) printf("Remainder of %d divided by %d is\n", x, y, x % y);

h) if (x = y);
 printf(%d is equal to %d\n", x, y);

i) print("The sum is %d\n", x + y);

j) Printf("The value you entered is: %d\n", &value);

- 2.8 Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti frasi:

a) _____ sono usati per documentare un programma e migliorarne la leggibilità.

b) La funzione usata per stampare informazioni sullo schermo è _____.

c) Un'istruzione in C che prende una decisione è _____.

d) I calcoli sono normalmente eseguiti da istruzioni _____.

e) La funzione _____ legge valori dalla tastiera.

- 2.9 Scrivete singole istruzioni in C per eseguire ognuna delle seguenti operazioni:

a) Stampate il messaggio "Enter two numbers."

b) Assegnate il prodotto delle variabili b e c alla variabile a.

c) Dichiarate che un programma esegue il calcolo di una retribuzione (ossia usate un testo che serva a documentare un programma).

d) Leggete tre valori interi dalla tastiera e poneteli nelle variabili intere a, b e c.

2.10 Stabilite quali delle seguenti affermazioni sono *vere* e quali sono *false*. Se *false*, spiegate la vostra risposta.

- Gli operatori del C sono calcolati da sinistra a destra.
- I seguenti sono tutti nomi di variabili validi: `_under_bar_, m928134, t5, j7, her_sales, his_account_total, a, b, c, z, z2`.
- L'istruzione `printf("a = 5;");` è un tipico esempio di istruzione di assegnazione.
- Un'espressione aritmetica valida non contenente parentesi è calcolata da sinistra a destra.
- I seguenti sono tutti nomi di variabili non validi: `3g, 87, 67h2, h22, 2h`.

2.11 Riempite gli spazi in ciascuna delle seguenti frasi:

- Quali operazioni aritmetiche sono allo stesso livello di precedenza della moltiplicazione? _____.
- Quando le parentesi sono annidate, quale insieme di parentesi è calcolato per primo in un'espressione aritmetica? _____.
- Una locazione di memoria di un computer che può contenere valori differenti nei vari momenti dell'esecuzione di un programma è chiamata una _____.

2.12 Cosa viene stampato quando viene eseguita ognuna delle seguenti istruzioni? Se non viene stampato nulla, allora rispondete "Nulla". Ponete $x = 2$ e $y = 3$.

- `printf("%d", x);`
- `printf("%d", x + x);`
- `printf("x=");`
- `printf("x=%d", x);`
- `printf("%d = %d", x + y, y + x);`
- `z = x + y;`
- `scanf("%d%d", &x, &y);`
- `// printf("x + y = %d", x + y);`
- `printf("\n");`

2.13 Tra le seguenti istruzioni in C, quali contengono variabili i cui valori vengono rimpiazzati?

- `scanf("%d%d%d%d%d", &b, &c, &d, &e, &f);`
- `p = i + j + k + 7;`
- `printf("Values are replaced");`
- `printf("a = 5");`

2.14 Data l'equazione $y = ax^3 + 7$, tra le seguenti istruzioni quali sono corrette per questa equazione?

- `y = a * x * x * x + 7;`
- `y = a * x * x * (x + 7);`
- `y = (a * x) * x * (x + 7);`
- `y = (a * x) * x * x + 7;`
- `y = a * (x * x * x) + 7;`
- `y = a * x * (x * x + 7);`

2.15 Stabilite l'ordine di calcolo degli operatori in ciascuna delle seguenti istruzioni in C e determinate il valore di x dopo l'esecuzione di ogni istruzione.

- `x = 7 + 3 * 6 / 2 - 1;`
- `x = 2 % 2 + 2 * 2 - 2 / 2;`
- `x = (3 * 9 * (3 + (9 * 3 / (3))));`

- 2.16 (Aritmetica)** Scrivete un programma che chieda all’utente di inserire due numeri, che li legga e ne stampi la somma, il prodotto, la differenza, il quoziente e il resto.
- 2.17 (Stampa di valori con printf)** Scrivete un programma che stampi sulla stessa riga i numeri da 1 a 4. Scrivete il programma usando i seguenti metodi.
- Uso di una sola istruzione `printf` senza specificatori di conversione.
 - Uso di una sola istruzione `printf` con quattro specificatori di conversione.
 - Uso di quattro istruzioni `printf`.
- 2.18 (Confronto di interi)** Scrivete un programma che chieda all’utente di inserire due interi, che legga tali numeri e quindi stampi il numero maggiore seguito dalle parole “is larger”. Se i numeri sono uguali, stampate il messaggio “These numbers are equal”. Usate solamente la forma a selezione singola dell’istruzione `if` che avete imparato in questo capitolo.
- 2.19 (Aritmetica, valore maggiore e valore minore)** Scrivete un programma che riceva in ingresso tre diversi interi dalla tastiera, poi stampi la somma, la media, il prodotto, il minore e il maggiore di questi numeri. Usate solamente la forma a selezione singola dell’istruzione `if` che avete imparato in questo capitolo. Il dialogo sullo schermo deve apparire come segue:

```
Enter three different integers: 13 27 14
Sum is 54
Average is 18
Product is 4914
Smallest is 13
Largest is 27
```

- 2.20 (Diametro, circonferenza e area di un cerchio)** Scrivete un programma che legga il raggio di un cerchio e stampi il diametro, la circonferenza e l’area del cerchio. Usate il valore costante 3,14159 per π . Effettuate ognuno di questi calcoli all’interno dell’istruzione `printf` e usate lo specificatore di conversione `%f`. [Nota: in questo capitolo abbiamo esaminato soltanto le costanti e le variabili intere. Nel Capitolo 3 esamineremo i numeri in virgola mobile, cioè i valori che possono avere punti decimali.]
- 2.21 (Forme con asterischi)** Scrivete un programma che stampi le seguenti forme con gli asterischi.

```
*****      ***      *      *
*   *   *   *   *   ***   *   *
*   *   *   *   *   ****   *   *
*   *   *   *   *   *   *   *   *
*   *   *   *   *   *   *   *   *
*   *   *   *   *   *   *   *   *
*   *   *   *   *   *   *   *   *
*****      ***      *      *
```

- 2.22** Che cosa stampa il seguente codice?
- ```
printf("**\n**\n***\n****\n*****\n");
```
- 2.23 (Intero maggiore e minore)** Scrivete un programma che legga tre interi e poi determini e stampi il maggiore e il minore del gruppo. Usate solamente le tecniche di programmazione che avete imparato in questo capitolo.

**2.24 (Dispari o pari)** Scrivete un programma che legga un intero e determini e stampi se sia dispari o pari. [Suggerimento: usate l'operatore di resto. Un numero pari è un multiplo di due. Qualunque multiplo di due lascia un resto di zero quando è diviso per due.]

**2.25** Stampate le vostre iniziali in stampatello dall'alto in basso lungo la pagina. Costruite ogni lettera a stampatello ripetendo la lettera che essa rappresenta, come mostrato di seguito.

PPPPPPPPP

P P  
P P  
P P  
P P

JJ

J  
J  
J

JJJJJJJ

DDDDDDDDD

D D  
D D  
D D  
DDDD

**2.26 (Multipli)** Scrivete un programma che legga due interi e determini e stampi se il primo è un multiplo del secondo. [Suggerimento: usate l'operatore di resto.]

**2.27 (Figura a scacchiera di asterischi)** Stampate la seguente figura a scacchiera con otto istruzioni `printf` e poi stampate la stessa figura con meno istruzioni `printf` possibili.

```

* * * * * * *

* * * * * * *

* * * * * * *

* * * * * * *
```

**2.28** Distinguite tra i termini errore fatale (o irreversibile) ed errore non fatale (non irreversibile). Perché potreste preferire di incorrere in un errore fatale piuttosto che in un errore non fatale?

**2.29 (Valore intero di un carattere)** Uno sguardo in avanti. In questo capitolo avete appreso qualcosa sugli interi e sul tipo `int`. Il C può anche rappresentare lettere maiuscole, lettere minuscole e una considerevole varietà di simboli speciali. Il C usa internamente numeri interi per rappresentare i singoli caratteri. L'insieme dei caratteri che un computer usa assieme alle corrispondenti rappresentazioni intere per quei caratteri si dice insieme dei caratteri di quel computer. Potete stampare l'intero equivalente della lettera maiuscola A, ad esempio, eseguendo l'istruzione

```
printf("%d", 'A');
```

Scrivete un programma in C che stampi gli equivalenti interi di alcune lettere maiuscole, minuscole, di alcune cifre e simboli speciali. Determinate almeno gli equivalenti interi dei seguenti caratteri: A B C a b c 0 1 2 \$ \* + e il carattere di spazio.

- 2.30 (*Separazione delle cifre di un intero*) Scrivete un programma che riceva in ingresso un numero di cinque cifre, separi il numero nelle sue cifre individuali e stampi le cifre ciascuna separata dall'altra da tre spazi. [Suggerimento: usate combinazioni di divisioni intere con l'operazione di resto.] Ad esempio, se l'utente scrive 42139, il programma deve stampare

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 2 | 1 | 3 | 9 |
|---|---|---|---|---|

- 2.31 (*Tavola di quadrati e di cubi*) Usando solo le tecniche che avete appreso in questo capitolo, scrivete un programma che calcoli i quadrati e i cubi dei numeri da 0 a 10 e usi tabulazioni per stampare la seguente tavola di valori:

| numero | quadrato | cubo |
|--------|----------|------|
| 0      | 0        | 0    |
| 1      | 1        | 1    |
| 2      | 4        | 8    |
| 3      | 9        | 27   |
| 4      | 16       | 64   |
| 5      | 25       | 125  |
| 6      | 36       | 216  |
| 7      | 49       | 343  |
| 8      | 64       | 512  |
| 9      | 81       | 729  |
| 10     | 100      | 1000 |

## Prove sul campo

- 2.32 (*Calcolatore dell'indice di massa corporea*) Le formule per calcolare l'indice di massa corporea (BMI) sono

$$BMI = \frac{weightInPounds \times 703}{heightInInches \times heightInInches}$$

oppure

$$BMI = \frac{weightInKilograms}{heightInMeters \times heightInMeters}$$

Create un'applicazione, che sia un calcolatore di BMI, che legga il peso dell'utente in libbre e l'altezza in pollici (o, se preferite, il peso dell'utente in kilogrammi e l'altezza in metri), poi calcolate e mostrate l'indice di massa corporea dell'utente. L'applicazione deve anche mostrare le seguenti informazioni tratte dal Department of Health and Human Services/National Institutes of Health, così che l'utente possa valutare il suo BMI:

### VALORI del BMI

|             |                 |
|-------------|-----------------|
| Sottopeso:  | meno di 18.5    |
| Normale:    | tra 18.5 e 24.9 |
| Sovrappeso: | tra 25 e 29.9   |
| Obeso:      | 30 o oltre      |

[Nota: in questo capitolo avete imparato a usare il tipo `int` per rappresentare i numeri interi. I calcoli del BMI fatti con i valori `int` producono in entrambi i casi risultati interi. Nel Capitolo 4 imparerete a usare il tipo `double` per rappresentare numeri con il punto decimale. Quando i calcoli del BMI sono eseguiti con il tipo `double`, producono in entrambi i casi numeri con il punto decimale, chiamati numeri “in virgola mobile”.]

**2.33 (*Calcolatore del risparmio nel car pooling*)** Ricercate diversi siti web riguardanti il car pooling (utilizzazione condivisa di un’automobile). Create un’applicazione che calcoli quanto spendete quotidianamente in carburante, così che possiate valutare quanto denaro potreste risparmiare con il car pooling, cosa che ha anche altri vantaggi, come quello di ridurre le emissioni di carburante e la congestione del traffico. L’applicazione deve ricevere in ingresso le seguenti informazioni e mostrare la spesa giornaliera dell’utente per andare al lavoro in auto:

- a) Miglia totali percorse al giorno.
- b) Costo del carburante al gallone.
- c) Media delle miglia per gallone.
- d) Costo del parcheggio al giorno.
- e) Pedaggi al giorno.

# Sviluppo di un programma strutturato in C



## OBIETTIVI

- Usare le tecniche fondamentali per la risoluzione di problemi.
- Sviluppare algoritmi attraverso un processo top-down di affinamenti successivi.
- Usare l'istruzione di selezione if e l'istruzione di selezione if...else per selezionare azioni.
- Usare l'istruzione di iterazione while per eseguire ripetutamente istruzioni in un programma.
- Usare l'iterazione controllata da contatore e l'iterazione controllata da "sentinella".
- Imparare la programmazione strutturata.
- Usare operatori di incremento, di decremento e di assegnazione.

### 3.1 Introduzione

Prima di scrivere un programma per risolvere un problema particolare, dobbiamo avere una piena comprensione del problema e un approccio alla soluzione pianificato con cura. I prossimi due capitoli prenderanno in esame le tecniche che facilitano lo sviluppo di programmi strutturati per computer. Nel Paragrafo 4.12 riassumeremo le tecniche di programmazione strutturata sviluppate qui e nel Capitolo 4.

### 3.2 Algoritmi

La soluzione di qualsiasi problema di calcolo implica l'esecuzione di una serie di azioni in un ordine specifico. Una procedura per la risoluzione di un problema nei termini di

1. azioni da eseguire e
2. ordine in cui queste azioni vanno eseguite

è chiamata **algoritmo**. L'esempio seguente dimostra quanto sia importante specificare correttamente l'ordine di esecuzione delle azioni.

Considerate "l'algoritmo sveglia!" eseguito da un giovane dirigente d'azienda per alzarsi dal letto e andare al lavoro: (1) alzarsi dal letto, (2) togliersi il pigiama, (3) farsi una doccia, (4) vestir-

si, (5) fare colazione, (6) andare al lavoro con il servizio di carpooling. Queste azioni di routine gli consentono di arrivare al lavoro ben preparato per prendere decisioni cruciali. Supponete che gli *stessi* passi siano compiuti con un *ordine* leggermente diverso: (1) alzarsi dal letto, (2) togliersi il pigiama, (3) vestirsi, (4) farsi una doccia, (5) fare colazione, (6) andare al lavoro con il servizio di carpooling. In questo caso il nostro giovane dirigente d'azienda si presenterebbe al lavoro bagnato fradicio. Specificare l'ordine in cui le istruzioni vanno eseguite nel programma di un computer si dice **controllo del programma**. In questo e nel prossimo capitolo esamineremo le funzionalità di controllo dei programmi in C.

### 3.3 Pseudocodice

Lo pseudocodice è un linguaggio artificiale e informale che aiuta a sviluppare algoritmi. Lo pseudocodice che presentiamo qui è particolarmente utile per lo sviluppo di algoritmi che saranno convertiti in programmi strutturati in C. Lo pseudocodice è simile al linguaggio di ogni giorno; è comodo e semplice per l'utente, sebbene *non* sia un vero e proprio linguaggio di programmazione per computer.

I programmi in pseudocodice *non* sono eseguiti su computer. Piuttosto, vi aiutano semplicemente a riflettere bene su un programma prima che tentiate di scriverlo in un linguaggio di programmazione come il C.

Lo pseudocodice consiste puramente di caratteri, così potete comodamente scrivere programmi in pseudocodice in un computer usando un programma editor. Un programma in pseudocodice preparato con cura può essere facilmente convertito in un corrispondente programma in C. Questo si fa, in molti casi, semplicemente sostituendo le istruzioni dello pseudocodice con le loro equivalenti in C.

Lo pseudocodice consiste solamente in istruzioni di *azione* e *decisione* (quelle che vengono eseguite dopo la conversione del programma dallo pseudocodice al C). Le definizioni *non* sono istruzioni eseguibili, ma semplicemente messaggi per il compilatore. Ad esempio, la definizione

```
int i;
```

dice al compilatore il tipo della variabile *i* e lo istruisce a riservare spazio nella memoria per la variabile. Ma questa definizione *non* provoca alcuna azione – come un'operazione di input o di output, oppure un calcolo o un confronto – quando il programma viene eseguito. Alcuni programmatore scelgono di elencare ogni variabile all'inizio di un programma in pseudocodice e di accennare brevemente allo scopo di ognuna di esse.

### 3.4 Strutture di controllo

Normalmente le istruzioni in un programma sono eseguite una dopo l'altra nell'ordine in cui sono scritte. Questa semplice modalità è chiamata **esecuzione sequenziale**. Varie istruzioni in C che presto esamineremo vi permetteranno di specificare come istruzione successiva da eseguire una diversa da quella successiva nella sequenza. Questa modalità è chiamata **trasferimento del controllo**.

Durante gli anni Settanta divenne chiaro che l'uso indiscriminato del trasferimento del controllo stava alla radice di una grande quantità di problemi incontrati dagli sviluppatori del software. Il dito era puntato contro l'**istruzione goto**, che permette di specificare un trasferimento del control-

lo a uno dei tanti punti possibili in un programma. Il principio della cosiddetta programmazione strutturata divenne quasi sinonimo di “eliminazione del goto”.

La ricerca di Bohm e Jacopini<sup>1</sup> ha dimostrato che i programmi potrebbero essere scritti *senza istruzioni goto*. Per i programmatore la sfida dell’epoca era quella di spostare i loro stili verso la “programmazione senza goto”. Solo negli anni Settanta la pratica professionale della programmazione ha iniziato a prendere sul serio la programmazione strutturata. I risultati sono stati impressionanti, in quanto gli sviluppatori del software riportavano tempi di sviluppo ridotti, una consegna più frequente dei sistemi nei tempi stabiliti e un più frequente completamento dei progetti software all’interno dei budget. I programmi prodotti con tecniche strutturate erano più chiari, più facili da correggere e da modificare e, con buona probabilità, senza errori sin dal primo momento.<sup>2</sup>

Il lavoro di Bohm e Jacopini ha dimostrato che tutti i programmi potrebbero essere scritti in termini di sole tre strutture di controllo, ossia la struttura sequenziale, la struttura di selezione e la struttura di iterazione. La struttura sequenziale è semplice: a meno che non venga specificato diversamente, il computer esegue le istruzioni in C una dopo l’altra nell’ordine in cui sono scritte. Il segmento di diagramma di flusso della Figura 3.1 illustra la struttura sequenziale del C.

### *Diagrammi di flusso*

Un diagramma di flusso è una rappresentazione *grafica* di un algoritmo o di una porzione di un algoritmo. I diagrammi di flusso sono disegnati usando certi simboli specifici come *rettangoli*, *rombi*, *rettangoli arrotondati* e *cerchietti*; questi simboli sono collegati da frecce chiamate *linee di flusso*.

Come lo pseudocodice, i diagrammi di flusso sono utili per sviluppare e rappresentare gli algoritmi, anche se la maggior parte dei programmatore preferisce lo pseudocodice. I diagrammi di flusso mostrano chiaramente come operano le strutture di controllo, e per tale motivo li usiamo in questo testo.

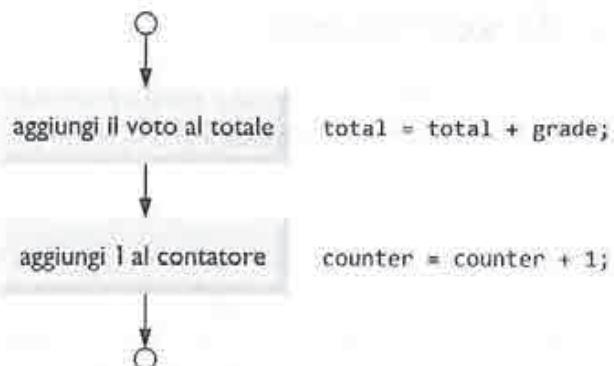
Consideriamo il diagramma di flusso per la struttura sequenziale della Figura 3.1. Usiamo il simbolo rettangolo, chiamato anche simbolo di azione, per indicare qualsiasi tipo di azione che include un calcolo o un’operazione di input/output. Le linee di flusso nella figura indicano l’*ordine* in cui sono eseguite le azioni: inizialmente grade (voto) viene aggiunto a total (totale), poi 1 viene aggiunto a counter (contatore). Il C ci permette di avere tutte le azioni che vogliamo in una struttura sequenziale. Come presto vedremo, *dovunque possa essere inserita una singola azione possiamo inserire diverse azioni in sequenza*.

Quando si disegna un diagramma di flusso che rappresenta un algoritmo completo, il primo simbolo usato nel diagramma è il simbolo rettangolo arrotondato contenente la parola “Inizio”; l’ultimo simbolo usato è il simbolo rettangolo arrotondato contenente la parola “Fine”. Quando si disegna solo una *porzione* di un algoritmo, come nella Figura 3.1, i simboli rettangolo arrotondato sono omessi e al loro posto si usano dei simboli cerchietto, chiamati anche simboli connettori.

Forse il simbolo più importante di un diagramma di flusso è il simbolo rombo, chiamato anche simbolo di decisione, il quale indica che c’è da prendere una *decisione*. Esamineremo il simbolo rombo nel prossimo paragrafo.

<sup>1</sup> C. Bohm, G. Jacopini, “Flow Diagrams, Turing Machines, and Languages with Only Two Formation Rules,” Communications of the ACM, Vol. 9, No. 5, May 1966, pp. 336–371.

<sup>2</sup> Come vedrete nel Paragrafo 14.10, ci sono casi speciali nei quali l’istruzione goto è utile.



**Figura 3.1** Diagramma di flusso della struttura sequenziale in C.

### Istruzioni di selezione in C

Il C fornisce tre tipi di strutture di selezione nella forma di istruzioni. L'istruzione di selezione **if** (Paragrafo 3.5) *seleziona* (esegue) un'azione se una condizione è *vera* o *salta* l'azione se la condizione è *falsa*. L'istruzione di selezione **if...else** (Paragrafo 3.6) esegue un'azione se una condizione è *vera* ed esegue un'azione diversa se la condizione è *falsa*. L'istruzione di selezione **switch** (esaminata nel Capitolo 4) esegue una fra *varie* azioni differenti, a seconda del valore di un'espressione. L'istruzione **if** è chiamata **istruzione di selezione singola** poiché essa seleziona o ignora un'azione singola. L'istruzione **if...else** è chiamata **istruzione di selezione doppia** perché effettua una selezione tra due azioni differenti. L'istruzione **switch** è chiamata **istruzione di selezione multipla** perché effettua una selezione tra varie azioni differenti.

### Istruzioni di iterazione in C

Il C fornisce tre tipi di *strutture di iterazione* nella forma di istruzioni, cioè **while** (Paragrafo 3.7), **do...while** e **for** (esaminate insieme nel Capitolo 4).

Questo è tutto quello che c'è. Il linguaggio C ha soltanto sette istruzioni di controllo: sequenza, tre tipi di selezione e tre tipi di iterazione. Ogni programma in C è formato dalla combinazione di tante istruzioni di controllo di ognuno di questi tipi quante sono quelle appropriate per l'algoritmo che il programma implementa.

Come per la struttura sequenziale della Figura 3.1, vedremo che la rappresentazione a diagramma di flusso di ogni istruzione di controllo ha due simboli cerchietto, uno nel *punto di ingresso* dell'istruzione di controllo e uno nel *punto di uscita*. Queste istruzioni di controllo a un solo ingresso e a una sola uscita facilitano la costruzione di programmi chiari. I segmenti di diagrammi di flusso relativi alle istruzioni di controllo possono essere attaccati l'uno all'altro collegando il punto di uscita di un'istruzione di controllo al punto di ingresso della successiva. Ciò è molto simile al modo in cui un bambino mette l'uno sull'altro i blocchi di costruzioni, per cui chiamiamo quest'operazione **accatastamento delle istruzioni di controllo**. Apprenderemo che vi è soltanto un altro modo in cui le istruzioni di controllo possono essere connesse, un metodo chiamato **annidamento** delle istruzioni di controllo. Qualsiasi programma in C che avremo mai bisogno di costruire potrà quindi essere costruito partendo soltanto da *sette* tipi differenti di istruzioni di controllo combinate in due soli modi. È l'essenza della semplicità.

### 3.5 Istruzione di selezione if

Le istruzioni di selezione sono usate per scegliere tra linee di azione alternative. Ad esempio, supponiamo che il voto minimo per superare un esame sia 60. L'istruzione in pseudocodice

```
Se il voto dello studente è maggiore o uguale a 60
Stampa "Passed"
```

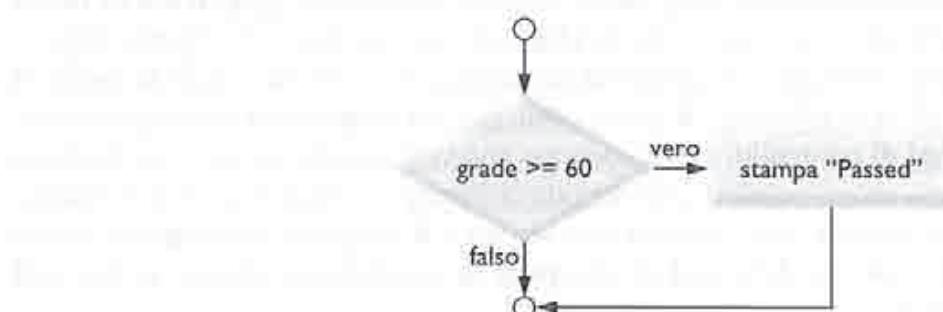
verifica se la condizione “il voto dello studente è maggiore o uguale a 60” è vera o falsa. Se la condizione è vera, allora viene stampato “Passed” e viene “eseguita” nell’ordine la successiva istruzione nello pseudocodice (ricordate che lo pseudocodice non è un vero linguaggio di programmazione). Se la condizione è falsa, la stampa viene ignorata e viene eseguita nell’ordine la successiva istruzione nello pseudocodice.

La precedente istruzione in pseudocodice *Se...* può essere scritta in C come

```
if (grade >= 60) {
 puts("Passed\n");
} // Fine di if
```

Si noti che il codice C corrisponde strettamente allo pseudocodice (naturalmente dovrete dichiarare la variabile *grade* come *int*). Questa è una delle proprietà dello pseudocodice che lo rende uno strumento utile per lo sviluppo di un programma. La seconda riga di questa struttura di selezione è indentata. Tale indentazione è facoltativa, ma altamente raccomandata, in quanto consente di mettere in rilievo la struttura propria dei programmi strutturati. Il compilatore C ignora i caratteri di spaziatura, come spazi, tabulazioni e newline usati per l’indentazione e la spaziatura verticale.

Il diagramma di flusso della Figura 3.2 illustra l’istruzione *if* a selezione singola. Questo diagramma di flusso contiene quello che è forse il simbolo più importante del diagramma, il rombo, chiamato anche simbolo di decisione, il quale indica che deve essere presa una decisione. Il simbolo di decisione contiene un’espressione, come una condizione, che può essere o vera o falsa. Il simbolo di decisione ha *due* linee di flusso che emergono da esso. Una indica la direzione da prendere quando l’espressione nel simbolo è vera e l’altra la direzione da prendere quando l’espressione è falsa. Le decisioni possono basarsi su condizioni contenenti operatori relazionali o di uguaglianza. In realtà, una decisione può basarsi su *qualsiasi* espressione: se l’espressione ha valore *uguale a zero* è trattata come falsa e se ha valore *diverso da zero* è trattata come vera.



**Figura 3.2** Diagramma di flusso dell’istruzione a selezione singola *if*.

Anche l'istruzione `if` è un'istruzione a *una sola entrata e a una sola uscita*. Presto apprenderemo che anche i diagrammi di flusso per le rimanenti strutture di controllo possono contenere (oltre ai simboli cerchietto e alle linee di flusso) solamente simboli rettangolo per indicare le azioni da eseguire e simboli rombo per indicare le decisioni da prendere. Questo è il *modello di programmazione azione/decisione* cui abbiamo dato risalto.

Possiamo immaginare sette contenitori, ciascuno contenente soltanto diagrammi di flusso per le istruzioni di controllo di uno dei sette tipi. Questi segmenti di diagramma di flusso sono vuoti, non c'è scritto niente né nei rettangoli né nei rombi. Il vostro compito, quindi, è quello di assemblare un programma partendo da tante istruzioni di controllo di ogni tipo quante ne richiede l'algoritmo, combinandole in due soli modi possibili (*accatastandole o annidandole*) e inserendo poi le *azioni* e le *decisioni* in un modo appropriato per l'algoritmo. Esamineremo ora i vari modi in cui si possono scrivere le azioni e le decisioni.

## 3.6 Istruzione di selezione if...else

L'istruzione di selezione `if` esegue un'azione indicata solo quando la condizione è vera; altrimenti l'azione viene saltata. L'istruzione di selezione `if...else` vi permette di specificare che vanno eseguite azioni *differenti* quando la condizione è vera e quando è falsa. Ad esempio, l'istruzione nello pseudocodice

*Se il voto dello studente è maggiore o uguale a 60*

*Stampa "Passed"*

*altrimenti*

*Stampa "Failed"*

stampa *Passed* se il voto dello studente è maggiore o uguale a 60 e *Failed* se è inferiore a 60. In entrambi i casi, dopo che avviene la stampa, viene "eseguita" la successiva istruzione in sequenza nello pseudocodice. Anche il corpo dell'*altrimenti* viene indentato.



### Buona pratica di programmazione 3.1

*Indentare ambedue le istruzioni del corpo di un'istruzione if...else (sia in pseudocodice che in C).*



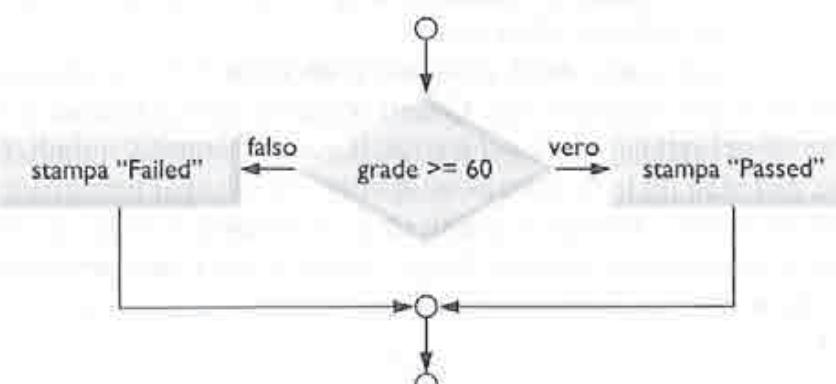
### Buona pratica di programmazione 3.2

*Se vi sono diversi livelli di indentazione, ciascuno di essi deve essere indentato con la stessa quantità di spazio.*

La precedente istruzione nello pseudocodice *Se...altrimenti* può essere scritta in C come

```
if (grade >= 60) {
 puts("Passed");
} // fine di if
else {
 puts("Failed");
} // fine di else
```

Il diagramma di flusso della Figura 3.3 illustra il flusso di controllo nell'istruzione `if...else`. Ancora una volta, oltre a cerchietti e frecce, gli unici simboli nel diagramma di flusso sono rettangoli (per le azioni) e un rombo (per una decisione).



**Figura 3.3** Diagramma di flusso dell'istruzione a selezione doppia `if...else`.

Il C fornisce l'**operatore condizionale** (`? :`), che è strettamente correlato all'istruzione `if...else`. L'operatore condizionale è il solo operatore *ternario* in C, ovvero si applica a *tre* operandi. Questi, insieme all'operatore condizionale, formano un'**espressione condizionale**. Il primo operando è una *condizione*. Il secondo operando è il valore dell'intera espressione condizionale se la condizione è *vera* e il terzo operando è il valore dell'intera espressione condizionale se la condizione è *falsa*. Ad esempio, l'istruzione `puts`

```
puts(grade >= 60 ? "Passed" : "Failed");
```

contiene come suo argomento un'espressione condizionale che assume come valore la stringa `"Passed"` se la condizione `grade >= 60` è vera e la stringa `"Failed"` se la condizione è falsa. L'istruzione `puts` ha essenzialmente lo stesso comportamento della precedente istruzione `if...else`.

Il secondo e il terzo operando di un'espressione condizionale possono essere anche azioni da eseguire. Ad esempio, l'espressione condizionale

```
grade >= 60 ? puts("Passed") : puts("Failed");
```

si legge: "Se `grade` è maggiore o uguale a 60, allora `puts("Passed")`, altrimenti `puts ("Failed")`." Questa è pure paragonabile alla precedente istruzione `if...else`. Vedremo poi che gli operatori condizionali possono essere usati in alcuni punti dove non è possibile ricorrere all'istruzione `if...else`, includendo espressioni e argomenti a funzioni (come `printf`).



### Prevenzione di errori 3.1

Utilizzate espressioni dello stesso tipo per il secondo e il terzo operando dell'operatore condizionale (`? :`) per evitare errori insidiosi.

### Istruzioni annidate if...else

Le istruzioni annidate if...else effettuano test su casi multipli attraverso il piazzamento di istruzioni if...else all'interno di altre istruzioni if...else. Ad esempio, la seguente istruzione in pseudocodice stamperà A per i voti dell'esame maggiori o uguali a 90, B per i voti maggiori o uguali a 80 (ma meno di 90), C per i voti maggiori o uguali a 70 (ma meno di 80), D per i voti maggiori o uguali a 60 (ma meno di 70) e F per tutti gli altri voti.

*Se il voto dello studente è maggiore o uguale a 90*

*Stampa "A"*

*altrimenti*

*Se il voto dello studente è maggiore o uguale a 80*

*Stampa "B"*

*altrimenti*

*Se il voto dello studente è maggiore o uguale a 70*

*Stampa "C"*

*altrimenti*

*Se il voto dello studente è maggiore o uguale a 60*

*Stampa "D"*

*altrimenti*

*Stampa "F"*

Questo pseudocodice può essere scritto in C come

```
if (grade >= 90) {
 puts("A");
} // fine di if
else {
 if (grade >= 80) {
 puts("B");
 } // fine di if
 else {
 if (grade >= 70) {
 puts("C");
 } // fine di if
 else {
 if (grade >= 60) {
 puts("D");
 } // fine di if
 else {
 puts("F");
 } // fine di else
 } // fine di else
 } // fine di else
} // fine di else
```

Se la variabile `grade` è maggiore o uguale a 90, tutte e quattro le condizioni saranno vere, ma soltanto l'istruzione `puts` dopo il primo test sarà eseguita. Dopo l'esecuzione di `puts`, la parte `else` dell'istruzione if...else "esterna" viene saltata.

Si potrebbe preferire scrivere la precedente istruzione `if` come

```
if (grade >= 90) {
 puts("A");
} // fine di if
else if (grade >= 80) {
 puts("B");
} // fine di else if
else if (grade >= 70) {
 puts("C");
} // fine di else if
else if (grade >= 60) {
 puts("D");
} // fine di else if
else {
 puts("F");
} // fine di else
```

Per quanto riguarda il compilatore C, le due forme sono equivalenti. L'ultima forma è la più comune, dal momento che evita la profonda indentazione a destra del codice. Tale indentazione lascia spesso poco spazio su una riga, facendo sì che le righe siano spezzate con conseguente riduzione della leggibilità del programma.

L'istruzione di selezione `if` si aspetta solo un'istruzione nel suo corpo (se avete solo un'istruzione nel corpo di un `if`, *non* dovete includerla fra parentesi). Per includere diverse istruzioni nel corpo di un `if`, dovete includere l'insieme delle istruzioni fra parentesi graffe (`{ e }`). L'insieme delle istruzioni contenute dentro una coppia di parentesi graffe è chiamato **istruzione composta** o **blocco**.

### Osservazione di ingegneria del software 3.1



*Un'istruzione composta può essere collocata ovunque possa essere collocata una singola istruzione in un programma.*

L'esempio seguente include un'istruzione composta nella parte `else` di un'istruzione `if...else`.

```
if (grade >= 60) {
 puts("Passed.");
} // fine di if
else {
 puts("Failed.");
 puts("You must take this course again.");
} // fine di else
```

In questo caso, se il voto è inferiore a 60, il programma esegue *entrambe* le istruzioni `puts` nel corpo dell'`else` e stampa

```
Failed.
You must take this course again.
```

Le parentesi graffe attorno alle due istruzioni nella clausola `else` sono importanti. Senza di esse l'istruzione

```
puts(" You must take this course again.");
```

sarebbe *al di fuori* del corpo della parte `else` dell'`if` e verrebbe eseguita a prescindere dal fatto che il voto sia inferiore o meno a 60, quindi anche uno studente che supera la prova dovrebbe ripetere il corso!



### Prevenzione di errori 3.2

*Includete sempre il corpo delle istruzioni di controllo tra parentesi (`{ e }`), anche se contiene solo una singola istruzione. Questo risolve il problema dell'`else` sospeso, che analizzeremo negli Esercizi 3.30–3.31.*

Un *errore di sintassi* è individuato dal compilatore. Un *errore logico* ha il suo effetto al momento dell'esecuzione. Un *errore logico irreversibile* fa sì che il programma fallisca e termini prematuramente. Un *errore logico non irreversibile* permette al programma di continuare l'esecuzione ma gli fa produrre risultati scorretti.

Proprio come un'istruzione composta può essere collocata ovunque si possa collocare un'istruzione singola, è anche possibile non avere affatto istruzioni, ossia avere un'istruzione vuota. L'istruzione vuota è rappresentata mettendo un punto e virgola (`;`) dove ci sarebbe normalmente un'istruzione.



### Errore comune di programmazione 3.1

*L'inserimento di un punto e virgola dopo la condizione in un'istruzione `if` come in `if (voto >= 60);` provoca un errore logico nelle istruzioni `if` a selezione singola e un errore di sintassi nelle istruzioni `if` a selezione doppia.*



### Prevenzione di errori 3.3

*L'inserimento di parentesi graffe iniziali e finali nelle istruzioni composte prima di scrivere le singole istruzioni dentro le parentesi aiuta a evitare l'omissione di una o di entrambe le parentesi, prevenendo errori di sintassi ed errori logici (dove entrambe le parentesi graffe sono davvero necessarie).*

## 3.7 Istruzione di iterazione while

Un'istruzione di iterazione (chiamata anche istruzione di ripetizione) permette di specificare che un'azione va ripetuta finché una qualche condizione rimane vera. L'istruzione in pseudocodice

*Finché ci sono ancora elementi nella mia lista della spesa  
Acquista l'elemento successivo e cancellalo dalla mia lista*

descrive un'iterazione che avviene mentre si fa shopping. La condizione “ci sono ancora elementi nella mia lista della spesa” può essere vera o falsa. Se è vera, viene eseguita l’azione “Acquista l’elemento successivo e cancellalo dalla mia lista”. Questa azione sarà eseguita *ripetutamente* finché la condizione rimarrà vera. Le istruzioni contenute nell'istruzione di iterazione `while` (in italiano “finché”) costituiscono il corpo del `while`. Il corpo dell'istruzione `while` può essere un'istruzione singola o un'istruzione composta.

Alla fine la condizione diventerà falsa (quando l'ultimo elemento nella lista della spesa sarà stato acquistato e cancellato dalla lista). A questo punto l'iterazione terminerà e verrà eseguita la prima istruzione nello pseudocodice *dopo* la struttura di iterazione.



### Errore comune di programmazione 3.2

*Non inserire nel corpo di un'istruzione while un'azione che faccia sì che alla fine la condizione nel while diventi falsa. Normalmente, una tale struttura di iterazione non terminerà mai, e l'errore è chiamato pertanto "ciclo infinito".*



### Errore comune di programmazione 3.3

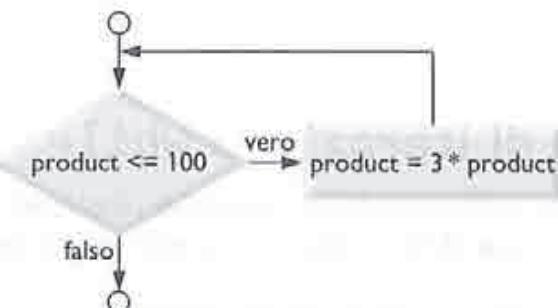
*Scrivere una parola chiave (come while o if) con una lettera maiuscola (come While o If) è un errore di compilazione. Ricordate che il C è un linguaggio sensibile al carattere maiuscolo/minuscolo e che le parole chiave contengono solo lettere minuscole.*

Come esempio di un'istruzione **while**, considerate un segmento di programma scritto per trovare la prima potenza di 3 maggiore di 100. Supponete che la variabile intera **product** sia stata inizializzata a 3. Quando il seguente codice terminerà l'esecuzione, **product** conterrà la risposta desiderata:

```
product = 3;

while (product <= 100) {
 product = 3 * product;
}
```

Il diagramma di flusso della Figura 3.4 illustra il flusso di controllo nella precedente istruzione di iterazione **while**. Ancora una volta, si noti che (oltre a cerchietti e frecce) il diagramma di flusso contiene solamente un simbolo rettangolo e un simbolo rombo. Il diagramma di flusso mostra chiaramente l'iterazione. La linea di flusso che emerge dal rettangolo è diretta all'indietro verso la decisione che viene verificata ogni volta nel corso del ciclo, finché la decisione alla fine diventa falsa. A questo punto, l'istruzione **while** viene terminata e il controllo passa all'istruzione successiva nel programma.



**Figura 3.4** Diagramma di flusso dell'istruzione di iterazione **while**.

Quando si inizia a eseguire l'istruzione **while**, il valore di **product** è 3. La variabile **product** è moltiplicata ripetutamente per 3 e assume in successione i valori 9, 27 e 81. Quando **product** diventa 243, la condizione nell'istruzione **while**, **product <= 100**, diventa falsa. Questo termina l'iterazione e il valore finale di **product** è 243. L'esecuzione del programma continua con l'istruzione successiva dopo **while**.

## 3.8 Formulare algoritmi, caso pratico 1: iterazione controllata da contatore

Per illustrare come vengono sviluppati gli algoritmi, cerchiamo le soluzioni per diverse varianti del problema della media di una classe. Considerate il seguente problema:

*Una classe di dieci studenti fa un quiz. Avete a disposizione i voti (numeri interi compresi tra 0 e 100) per questo quiz. Determinate la media della classe in riferimento al quiz.*

La media della classe è uguale alla somma dei voti divisa per il numero degli studenti. L'algoritmo per risolvere questo problema su un computer deve ricevere in ingresso ognuno dei voti, eseguire il calcolo della media e stampare il risultato.

Usiamo lo pseudocodice per elencare le azioni da eseguire e specificare l'ordine in cui devono essere eseguite. Usiamo l'**iterazione controllata da contatore** per inserire i voti uno alla volta. Questa tecnica usa una variabile chiamata **contatore** per specificare il numero delle volte in cui un insieme di istruzioni deve essere eseguito. In questo esempio l'iterazione termina quando il contatore supera il valore 10. In questo paragrafo presentiamo semplicemente l'algoritmo in pseudocodice (Figura 3.5) e il corrispondente programma in C (Figura 3.6). Nel prossimo paragrafo mostreremo come vengono sviluppati gli algoritmi in pseudocodice. L'iterazione controllata da contatore è spesso chiamata **iterazione definita**, perché il numero delle iterazioni si conosce *prima* che il ciclo inizi l'esecuzione.

- 1 *Poni il totale uguale a zero*
- 2 *Poni il contatore dei voti uguale a uno*
- 3
- 4 *Finché il contatore dei voti è minore o uguale a dieci*
- 5   *Leggi il voto successivo*
- 6   *Somma il voto al totale*
- 7   *Somma uno al contatore dei voti*
- 8
- 9 *Poni la media della classe uguale al totale diviso per dieci*
- 10 *Stampa la media della classe*

**Figura 3.5** Algoritmo in pseudocodice che usa l'iterazione controllata da un contatore per risolvere il problema della media di una classe.

```

1 // Fig. 3.6: fig03_06.c
2 // Media di una classe con l'iterazione controllata da contatore.
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main(void)
7 {
8 unsigned int counter; // numero del prossimo voto da inserire
9 int grade; // valore del voto
10 int total; // somma dei voti inseriti dall'utente
11 int average; // media dei voti
12
13 // fase di inizializzazione
14 total = 0; // inizializza il totale

```

```

15 counter = 1; // inizializza il contatore del ciclo
16
17 // fase di elaborazione
18 while (counter <= 10) { // ripeti 10 volte
19 printf("%s", "Enter grade: "); // prompt per l'ingresso
20 scanf("%d", &grade); // leggi il voto
21 total = total + grade; // somma il voto al totale
22 counter = counter + 1; // incrementa il contatore
23 } // fine di while
24
25 // fase di terminazione
26 average = total / 10; // divisione intera
27
28 printf("Class average is %d\n", average); // stampa il risultato
29 } // fine della funzione main

```

```

Enter grade: 98
Enter grade: 76
Enter grade: 71
Enter grade: 87
Enter grade: 83
Enter grade: 90
Enter grade: 57
Enter grade: 79
Enter grade: 82
Enter grade: 94
Class average is 81

```

**Figura 3.6** Programma per il problema della media di una classe, che usa l'iterazione controllata da contatore.

L'algoritmo menziona un totale e un contatore. Un totale è una variabile usata per accumulare la somma di una serie di valori. Un contatore è una variabile (riga 8) usata per *contare* (in questo caso, per contare il numero dei voti inseriti). Poiché la variabile per il contatore è usata in questo programma per contare da 1 a 10 (tutti valori positivi), abbiamo dichiarato la variabile come tipo `unsigned int`, che può memorizzare soltanto valori non negativi (cioè 0 e oltre). Le variabili usate per memorizzare i totali devono normalmente essere inizializzate a zero *prima* di essere usate in un programma, altrimenti la somma includerebbe anche il precedente valore memorizzato nella locazione di memoria del totale. Le variabili contatore sono normalmente inizializzate a zero o a uno, a seconda del loro uso (presenteremo esempi di ognuno dei due casi). Una variabile non inizializzata contiene un valore “spazzatura”, l'ultimo valore memorizzato nella locazione di memoria riservata per quella variabile.



### Errore comune di programmazione 3.4

Se un contatore o un totale non viene inizializzato, i risultati del vostro programma saranno probabilmente scorretti. Questo è un esempio di errore logico.



### Prevenzione di errori 3.4

Inizializzare tutti i contatori e i totali.

Il calcolo della media nel programma produce come risultato il numero intero 81. In realtà, la somma dei voti in questo esempio è 817, che diviso per 10 produce il valore 81,7, cioè un numero con la *virgola*. Vedremo come trattare tali numeri (chiamati numeri *in virgola mobile*) nel prossimo paragrafo.

#### *Nota importante sul collocamento delle definizioni di variabili*

Nel Capitolo 2 abbiamo detto che il C standard consente di collocare *dovunque* dentro `main` ciascuna definizione di variabile prima del primo uso di quella variabile nel codice. In questo capitolo continuiamo a raggruppare le nostre definizioni di variabili all'inizio di `main` per enfatizzare l'inizializzazione, l'elaborazione e le fasi di chiusura di programmi semplici. A partire dal Capitolo 4, collocheremo ciascuna definizione di variabile subito prima del primo uso di quella variabile. Quando discuteremo il campo di azione delle variabili nel Capitolo 5, vedrete come questa pratica aiuti a ridurre gli errori.

## 3.9 Formulare algoritmi con affinamento graduale top-down, caso pratico 2: iterazione controllata da sentinella

Generalizziamo il problema del calcolo della media di una classe. Consideriamo il seguente problema:

*Sviluppare un programma per il calcolo della media di una classe in grado di elaborare un numero arbitrario di voti ogni volta che è in esecuzione.*

Nel primo esempio del calcolo della media di una classe il numero dei voti (10) si sapeva in anticipo. In questo esempio non si dà alcuna indicazione su quanti voti verranno inseriti. Il programma deve elaborare un numero *arbitrario* di voti. Come può il programma stabilire quando fermare l'inserimento dei voti? Come saprà quando calcolare e stampare la media della classe?

Un modo per risolvere questo problema è quello di usare un valore speciale, chiamato **valore sentinella** (o anche **valore di segnale**, **valore fittizio** o **valore di flag**), per indicare la "fine dell'ingresso dei dati". L'utente scrive i voti finché non sono stati inseriti tutti i voti *validi*, poi scrive il valore sentinella per indicare che l'ultimo voto è stato inserito. L'iterazione controllata da sentinella è spesso chiamata **iterazione indefinita**, perché il numero di iterazioni non è noto prima che il ciclo inizi l'esecuzione.

Chiaramente, il valore sentinella deve essere scelto in modo tale che *non possa* essere confuso con un valore di input accettabile. Poiché i voti su un quiz sono normalmente numeri interi *non negativi*, -1 è un valore sentinella accettabile per questo problema. In questo modo, un'esecuzione del programma della media di una classe potrebbe elaborare una sequenza di input come 95, 96, 75, 74, 89 e -1. Il programma poi calcolerebbe e stamperebbe la media della classe per i voti 95, 96, 75, 74 e 89 (-1 è il valore sentinella, per cui *non* deve entrare nel calcolo della media).

#### *Affinamento graduale top-down*

Affrontiamo il problema della media di una classe con una tecnica chiamata **affinamento graduale top-down**, una tecnica essenziale allo sviluppo di programmi ben strutturati. Iniziamo con una rappresentazione dello pseudocodice a livello **top**:

*Determina la media della classe per il quiz*

Il livello top è un’istruzione singola che rappresenta la funzione complessiva del programma. Come tale il livello top è, in effetti, una rappresentazione *completa* di un programma. Purtroppo, il livello top raramente contiene una quantità sufficiente di dettagli per scrivere il programma in C. Così iniziamo ora il processo di *affinamento*. Suddividiamo il livello top in una serie di compiti più piccoli e li elenchiamo nell’ordine in cui devono essere eseguiti. Ciò risulta nel seguente **primo affinamento**.

*Inizializza le variabili*

*Ricevi in ingresso, somma e conta i voti del quiz*

*Calcola e stampa la media della classe*

Qui è stata usata solo la *struttura sequenziale* (i passi elencati vanno eseguiti in ordine, uno dopo l’altro).



### Osservazione di ingegneria del software 3.2

*Ogni affinamento, come pure lo stesso livello top, è una specificazione completa dell’algoritmo; varia soltanto il livello di dettaglio.*

#### Secondo affinamento

Per procedere al successivo livello di affinamento, cioè al **secondo affinamento**, useremo alcune variabili specifiche. Avremo bisogno di un totale corrente dei numeri, di un conteggio di quanti numeri sono stati elaborati, di una variabile che riceve il valore di ogni singolo voto quando è inserito e di una variabile per contenere la media calcolata. L’istruzione in pseudocodice

*Inizializza le variabili*

può essere affinata come segue:

*Inizializza il totale a zero*

*Inizializza il contatore a zero*

Si noti che vanno inizializzati soltanto il totale e il contatore; le variabili media e voto (rispettivamente, per la media calcolata e l’input dell’utente) non necessitano di essere inizializzate, perché i loro valori saranno calcolati e inseriti dall’utente, rispettivamente. L’istruzione in pseudocodice

*Ricevi in ingresso, somma e conta i voti del quiz*

richiede una struttura di *iterazione* che di volta in volta legge ogni voto. Poiché non sappiamo in anticipo quanti voti ci sono da elaborare, useremo l’iterazione controllata da sentinella. L’utente inserirà i voti validi uno alla volta. Dopo aver scritto l’ultimo voto valido, l’utente scriverà il valore sentinella. Il programma farà il test per questo valore dopo che sarà inserito ogni voto e terminerà il ciclo quando sarà inserita la sentinella. L’affinamento della precedente istruzione in pseudocodice è allora

*Ricevi in ingresso il primo voto (eventualmente la sentinella)*

*Finché l’utente non ha ancora inserito la sentinella*

*Aggiungi questo voto al totale corrente*

*Aggiungi uno al contatore dei voti*

*Ricevi in ingresso il voto successivo (eventualmente la sentinella)*

Si noti che nello pseudocodice *non* usiamo parentesi graffe intorno all'insieme di istruzioni che forma il corpo dell'istruzione *while*, ma semplicemente indentiamo tutte queste istruzioni sotto il *while* per mostrare che tutte quante appartengono al *while*. Di nuovo, lo pseudocodice è un ausilio per lo sviluppo informale di un programma.

L'istruzione in pseudocodice

*Calcola e stampa la media della classe*

si può affinare come segue:

*Se il contatore non è uguale a zero*

*Poni la media uguale al totale diviso per il contatore*

*Stampa la media*

*altrimenti*

*Stampa "No grades were entered"*

Si noti che qui siamo stati attenti a verificare la possibilità della *divisione per zero*, un **errore irreversibile** che, se non viene scoperto, provoca l'arresto del programma (in questo caso detto "crashing", cioè "arresto anomalo"). Il secondo affinamento completo è mostrato nella Figura 3.7.



### Errore comune di programmazione 3.5

*Un tentativo di dividere per zero provoca un errore irreversibile.*



### Buona pratica di programmazione 3.3

*Quando si esegue una divisione con un'espressione il cui valore potrebbe essere zero, controllate esplicitamente questo caso e trattatelo adeguatamente nel vostro programma (come con la stampa di un messaggio di errore) piuttosto che permettere che si verifichi l'errore irreversibile.*

Nelle Figure 3.5 e 3.7 includiamo alcune righe completamente vuote nello pseudocodice per migliorarne la leggibilità. In realtà, le righe vuote separano questi programmi nelle loro varie fasi.

- 1 *Inizializza il totale a zero*
- 2 *Inizializza il contatore a zero*
- 3
- 4 *Ricevi in ingresso il primo voto (eventualmente la sentinella)*
- 5 *Finché l'utente non ha ancora inserito la sentinella*
- 6    *Aggiungi il voto al totale corrente*
- 7    *Aggiungi uno al contatore dei voti*
- 8    *Ricevi in ingresso il voto successivo (eventualmente la sentinella)*
- 9
- 10 *Se il contatore non è uguale a zero*
- 11    *Poni la media uguale al totale diviso per il contatore*
- 12    *Stampa la media*
- 13    *altrimenti*
- 14    *Stampa "No grades were entered"*

**Figura 3.7** Algoritmo in pseudocodice che usa l'iterazione controllata da sentinella per risolvere il problema del calcolo della media di una classe.



### Osservazione di ingegneria del software 3.3

Molti programmi possono essere divisi logicamente in tre fasi: una fase di inizializzazione, che inizializza le variabili del programma; una fase di elaborazione, che riceve in ingresso i valori dei dati e modifica conseguentemente le variabili del programma e una fase di chiusura, che calcola e stampa i risultati finali.

L'algoritmo in pseudocodice nella Figura 3.7 risolve il problema del calcolo della media di una classe nella sua forma più generale. Questo algoritmo è stato sviluppato dopo due soli livelli di affinamento. Talvolta sono necessari più livelli.



### Osservazione di ingegneria del software 3.4

Il processo di affinamento graduale top-down termina quando l'algoritmo in pseudocodice è specificato con sufficiente dettaglio, tale da poter convertire lo pseudocodice direttamente in C. A quel punto, implementare il programma in C è normalmente molto semplice.

Il programma in C e un esempio di esecuzione sono mostrati nella Figura 3.8. Sebbene vengano inseriti solo voti interi, è probabile che il calcolo della media produca un numero *con un punto decimale* (che sostituisce la virgola nella notazione del C). Il tipo int non può rappresentare un tale numero. Il programma introduce il tipo di dati float per trattare i numeri con punto decimale (chiamati numeri in virgola mobile) e introduce un operatore speciale chiamato *operatore cast* per trattare il calcolo della media. Questi argomenti sono spiegati dopo la presentazione del programma.

```

1 // Fig. 3.8: fig03_08.c
2 // Media di una classe con iterazione controllata da sentinella.
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main(void)
7 {
8 unsigned int counter; // numero di voti letti
9 int grade; // valore del voto
10 int total; // somma dei voti
11
12 float average; // numero con punto decimale per la media
13
14 // fase di inizializzazione
15 total = 0; // inizializza il totale
16 counter = 0; // inizializza il contatore del ciclo
17
18 // fase di elaborazione
19 // ricevi il primo voto dall'utente
20 printf("%s", "Enter grade, -1 to end: "); // prompt per l'input
21 scanf("%d", &grade); // leggi il voto dall'utente
22
23 // ripeti finché non viene letto il valore sentinella
24 while (grade != -1) {
25 total = total + grade; // aggiungi il voto al totale

```

```

26 counter = counter + 1; // incrementa il contatore
27
28 // ricevi il voto successivo dall'utente
29 printf("%s", "Enter grade, -1 to end: "); // prompt per l'input
30 scanf("%d", &grade); // leggi il prossimo voto
31 } // fine di while
32
33 // fase di chiusura
34 // se l'utente ha inserito almeno un voto
35 if (counter != 0) {
36
37 // calcola la media di tutti i voti inseriti
38 average = (float) total / counter; // evita il troncamento
39
40 // stampa la media con la precisione di due cifre
41 printf("Class average is %.2f\n", average);
42 } // fine di if
43 else { // se non sono stati inseriti voti, stampa un messaggio
44 puts("No grades were entered");
45 } // fine di else
46 } // fine della funzione main

```

```

Enter grade, -1 to end: 75
Enter grade, -1 to end: 94
Enter grade, -1 to end: 97
Enter grade, -1 to end: 88
Enter grade, -1 to end: 70
Enter grade, -1 to end: 64
Enter grade, -1 to end: 83
Enter grade, -1 to end: 89
Enter grade, -1 to end: -1
Class average is 82.50
Enter grade, -1 to end: -1
No grades were entered

```

**Figura 3.8** Programma per il calcolo della media di una classe con iterazione controllata da sentinella.

Si noti l'istruzione composta nel ciclo while (riga 24) nella Figura 3.8. Ancora una volta, le parentesi graffe sono *necessarie* per assicurare che tutte e quattro le istruzioni siano eseguite all'interno del ciclo. Senza le parentesi graffe le ultime tre istruzioni nel corpo del ciclo cadrebbero *al di fuori* di esso, facendo sì che il computer interpreti scorrettamente questo codice come segue.

```

while (grade != -1)
 total = total + grade; // aggiungi il voto al totale
 counter = counter + 1; // incrementa il contatore
 printf("%s", "Enter grade, -1 to end: "); // prompt per l'input
 scanf("%d", &grade); // leggi il prossimo voto

```

Questo provocherebbe un *ciclo infinito* se l'utente non inserisse -1 per il primo voto.



## Prevenzione di errori 3.5

In un ciclo controllato da sentinella, ricordate esplicitamente all'utente qual è il valore della sentinella nei prompt che richiedono l'inserimento di dati.

### Conversione esplicita e implicita tra tipi

Le medie non sempre hanno come valori dei numeri interi. Spesso, una media è un valore come 7,2 o 93,5 contenente una parte frazionaria. Questi valori sono definiti numeri in virgola mobile e possono essere rappresentati dal tipo di dati `float`. La variabile `average` viene definita di tipo `float` (riga 12) per catturare il risultato frazionale del nostro calcolo. Tuttavia, il risultato del calcolo `total/counter` è un numero intero, poiché `total` e `counter` sono *entrambe* variabili intere. La divisione di due numeri interi produce una divisione intera in cui la parte frazionale del calcolo è troncata (cioè persa). Poiché `prima` viene eseguito il calcolo, la parte frazionale è perduta *prima* che il risultato sia assegnato ad `average`. Per realizzare un calcolo in virgola mobile con valori interi, dobbiamo creare valori temporanei che sono numeri in virgola mobile. Per fare ciò, il C mette a disposizione l'operatore `cast` unario. La riga 38

```
average = (float) total / counter;
```

include l'operatore `cast` (`float`), che crea una copia *temporanea* in virgola mobile del suo operando, `total`. Il valore memorizzato in `total` è ancora un numero intero. Un simile uso dell'operatore `cast` è chiamato **conversione esplicita**. Il calcolo consiste adesso in un valore in virgola mobile (la versione `float` temporanea di `total`) diviso per il valore `unsigned int` memorizzato in `counter`. Il C calcola solo le espressioni aritmetiche in cui i tipi di dati degli operandi sono *identici*. Per assicurarsi che gli operandi siano dello *stesso* tipo, il compilatore esegue su alcuni di essi un'operazione chiamata **conversione implicita**. Ad esempio, in un'espressione contenente i tipi di dati `unsigned int` e `float`, vengono create copie degli operandi `unsigned int` e convertite in `float`. Nel nostro esempio, dopo che viene creata una copia di `counter` e convertita in `float`, si esegue il calcolo e il risultato della divisione in virgola mobile è assegnato ad `average`. Il C fornisce un insieme di regole per la conversione di operandi di tipi differenti. Esamineremo tutto questo più avanti nel Capitolo 5.

Gli operatori `cast` sono disponibili per *la maggior parte* dei tipi di dati; essi vengono formati ponendo tra parentesi il nome di un tipo. Ogni operatore `cast` è un **operatore unario**, cioè un operatore che si applica a un solo operando. Nel Capitolo 2 abbiamo studiato gli operatori aritmetici binari. Il C supporta pure versioni unarie degli operatori più (+) e meno (-), così potete scrivere espressioni come -7 o +5. Gli operatori `cast` sono associativi da destra a sinistra e hanno la stessa precedenza di altri operatori unari come + unario e - unario. Questa precedenza è di un livello più alto di quella degli operatori moltiplicativi \*, / e %.

### Formattare numeri in virgola mobile

La Figura 3.8 usa lo specificatore di conversione `%.2f` di `printf` (riga 41) per stampare il valore di `average`. La `f` specifica che sarà stampato un valore in virgola mobile. Il `.2` è la **precisione** con cui il valore sarà stampato: con 2 cifre alla destra del punto decimale. Se è usato lo specificatore di conversione `%f` (senza specificare la precisione), viene usata la **precisione predefinita** pari a 6, esattamente come se fosse stato usato lo specificatore di conversione `%.6f`. Quando i valori in virgola mobile sono stampati con una certa precisione, il valore stampato è arrotondato al numero indicato di cifre decimali. Il valore in memoria rimane inalterato. Quando si eseguono le istruzioni seguenti, vengono stampati i valori 3.45 e 3.4 (con il punto decimale al posto della virgola, secondo la notazione del C).

```
printf("%.2f\n", 3.446); // stampa 3.45
printf("%.1f\n", 3.446); // stampa 3.4
```



### Errore comune di programmazione 3.6

*È sbagliato usare la precisione in una specificazione di conversione nella stringa di controllo del formato di un'istruzione scanf. Le precisioni sono usate soltanto nelle specificazioni di conversione per printf.*

#### Note sui numeri in virgola mobile

Benché non siano sempre “precisi al 100%”, i numeri in virgola mobile hanno numerose applicazioni. Ad esempio, quando parliamo di una “normale” temperatura corporea di 98,6 gradi Fahrenheit, non abbiamo bisogno di essere precisi fino a un grande numero di cifre. Quando osserviamo la temperatura su un termometro e la leggiamo come 98,6, essa può in realtà essere 98,5999473210643. Il punto qui è che indicare questo numero semplicemente con 98,6 va benissimo per la maggior parte delle applicazioni. Diremo di più su questo argomento in seguito.

Un altro possibile caso di numeri in virgola mobile è quello che si può presentare con una divisione. Quando dividiamo 10 per 3, il risultato è 3,3333333... con la sequenza dei 3 che si ripete all’infinito. Il computer assegna solo una quantità fissata di spazio per contenere un tale valore, così il valore in virgola mobile memorizzato può essere soltanto un’*approssimazione*.



### Errore comune di programmazione 3.7

*Usare numeri in virgola mobile in un modo che presume che essi siano rappresentati precisamente può portare a risultati scorretti. I numeri in virgola mobile sono rappresentati solo approssimativamente dalla maggior parte dei computer.*



#### Prevenzione di errori 3.6

*Non confrontare i valori in virgola mobile per l’uguaglianza.*

## 3.10 Formulare algoritmi con affinamento graduale top-down, caso pratico 3: istruzioni di controllo annidate

Risolviamo un altro problema completo. Formuleremo ancora una volta l’algoritmo usando lo pseudocodice e l’affinamento graduale top-down, e scriveremo un corrispondente programma in C. Abbiamo visto che le istruzioni di controllo possono essere *accatastate* una dopo l’altra (in sequenza) proprio come fa un bambino con i blocchi di costruzioni. In questo caso pratico vedremo l’unico altro modo strutturato in cui le istruzioni di controllo possono essere connesse tra loro in C, ossia attraverso l’annidamento di un’istruzione di controllo *all’interno* di un’altra.

Considerate il seguente problema:

*Un college offre un corso che prepara gli studenti all’esame di stato di licenza per intermediari immobiliari. Lo scorso anno 10 degli studenti che hanno completato questo corso hanno fatto l’esame di licenza. Naturalmente il college vuole sapere come gli studenti si siano classificati all’esame. Vi si chiede di scrivere un programma per riassumere i risultati. Vi viene dato un elenco di questi 10 studenti. Accanto a ogni nome viene scritto un 1 se lo studente ha superato l’esame o un 2 se lo ha fallito.*

*Il vostro programma deve analizzare i risultati dell'esame come segue:*

1. Leggere ogni risultato dell'esame (cioè un 1 o un 2). Stampare il messaggio di prompt "Enter result" ogni volta che il programma richiede un altro risultato dell'esame.
2. Contare il numero dei risultati dell'esame di ogni tipo.
3. Mostrare un riepilogo dei risultati dell'esame indicando il numero degli studenti che lo hanno superato e il numero di quelli che sono stati respinti.
4. Se più di otto studenti hanno superato l'esame, stampare il messaggio "Bonus to instructor!"

Dopo aver letto attentamente il testo del problema, facciamo le seguenti osservazioni:

1. Il programma deve elaborare 10 risultati di un esame. Sarà usato un ciclo controllato da contatore.
2. Ogni risultato dell'esame è un numero, un 1 o un 2. Ogni volta che legge un risultato, il programma deve stabilire se il numero è un 1 o un 2. Nel nostro algoritmo controlliamo se si tratta di un 1. Se il numero non è un 1, presumiamo che sia un 2. (L'Esercizio 3.27 vi chiede di garantire che ogni risultato dell'esame sia un 1 o un 2.)
3. Sono usati due contatori, uno per contare il numero di studenti che hanno superato l'esame e uno per contare il numero di studenti che lo hanno fallito.
4. Dopo che il programma ha elaborato tutti i risultati, deve verificare se più di otto studenti hanno superato l'esame.

Procediamo con l'affinamento graduale top-down. Iniziamo con una rappresentazione al livello top in pseudocodice:

*Analizza i risultati dell'esame e decidi se l'istruttore deve ricevere un bonus*

Ancora una volta è importante mettere in rilievo che il livello top è una rappresentazione *completa* del programma, ma è probabile che siano necessari diversi affinamenti prima che lo pseudocodice possa essere naturalmente tradotto in un programma in C. Il nostro primo affinamento è

*Inizializza le variabili*

*Leggi i dieci voti dell'esame e conta le promozioni e le bocciature*

*Stampa un riepilogo dei risultati dell'esame e decidi se l'istruttore deve ricevere un bonus*

Anche qui, pur avendo una rappresentazione *completa* dell'intero programma, è necessario un ulteriore affinamento. Ora individuiamo le variabili specifiche. Sono necessari dei contatori per registrare le promozioni e le bocciature; inoltre un contatore sarà usato per controllare il processo di iterazione, ed è anche necessaria una variabile per memorizzare l'input dell'utente. L'istruzione in pseudocodice

*Inizializza le variabili*

si può affinare come segue:

*Inizializza il contatore delle promozioni a zero  
 Inizializza il contatore delle bocciature a zero  
 Inizializza il contatore del numero di studenti a uno*

Si noti che vengono inizializzati solo il contatore e i totali. L'istruzione in pseudocodice

*Leggi i dieci voti dell'esame e conta le promozioni e le bocciature*

richiede un ciclo che in successione legga ogni risultato dell'esame. Qui si sa *in anticipo* che vi sono precisamente dieci risultati dell'esame, così l'iterazione controllata da contatore è quella appropriata. Dentro il ciclo (ossia annidata all'interno del ciclo) un'istruzione di selezione doppia determinerà se il risultato di ogni esame è una promozione o una bocciatura e incrementerà di conseguenza i contatori corrispondenti. L'affinamento della precedente istruzione in pseudocodice è allora

*Finché il contatore del numero di studenti è minore o uguale a dieci  
 Leggi il risultato successivo dell'esame*

*Se lo studente ha superato l'esame  
 Aggiungi uno al contatore delle promozioni  
 altrimenti  
 Aggiungi uno al contatore delle bocciature*

*Aggiungi uno al contatore del numero di studenti*

Si noti l'uso di righe vuote per evidenziare l'istruzione *If...else (Se...altrimenti)* al fine di migliorare la leggibilità del programma.

L'istruzione in pseudocodice

*Stampa un riepilogo dei risultati dell'esame e decidi se l'istruttore deve ricevere un bonus*

può essere affinata come segue:

*Stampa il numero di promozioni  
 Stampa il numero di bocciature  
 Se più di otto studenti sono stati promossi  
 Stampa "Bonus to instructor!"*

Il secondo affinamento completo compare nella Figura 3.9. Usiamo le righe vuote per evidenziare l'istruzione *while* per migliorare la leggibilità del programma.

Questo pseudocodice è ora sufficientemente affinato per la conversione in C. Nella Figura 3.10 sono mostrati il programma in C e due esempi di esecuzione. Abbiamo tratto vantaggio da una caratteristica del C che permette che l'inizializzazione venga incorporata nelle definizioni (righe 9–11). Tale inizializzazione avviene al momento della compilazione. Notate anche che quando si invia in uscita un *unsigned int* si usa lo specificatore di conversione *%u* (righe 33–34).

- 1 *Inizializza il contatore delle promozioni a zero*
- 2 *Inizializza il contatore delle bocciature a zero*
- 3 *Inizializza il contatore del numero di studenti a uno*

```

4
5 Finché il contatore del numero di studenti è minore o uguale a dieci
6 Leggi il risultato successivo dell'esame
7
8 Se lo studente ha superato l'esame
9 Aggiungi uno al contatore delle promozioni
10 altrimenti
11 Aggiungi uno al contatore delle bocciature
12
13 Aggiungi uno al contatore del numero di studenti
14
15 Stampa il numero di promozioni
16 Stampa il numero di bocciature
17 Se più di otto studenti sono stati promossi
18 Stampa "Bonus to instructor!"

```

**Figura 3.9** Pseudocodice per il problema dei risultati dell'esame.



### Osservazione di ingegneria del software 3.5

L'esperienza dimostra che la parte più difficile del risolvere un problema su un computer è quella che riguarda lo sviluppo di algoritmi per la soluzione. Una volta che è stato specificato un algoritmo corretto, il processo di produzione di un programma funzionante in C è di norma semplice.



### Osservazione di ingegneria del software 3.6

Molti programmatori scrivono programmi senza mai usare strumenti di sviluppo dei programmi come lo pseudocodice. Essi pensano che il loro obiettivo finale sia quello di risolvere il problema su un computer e che scrivere lo pseudocodice ritardi semplicemente la realizzazione del prodotto finale.

```

1 // Fig. 3.10: fig03_10.c
2 // Analisi dei risultati dell'esame.
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main(void)
7 {
8 // inizializza le variabili nelle definizioni
9 unsigned int passes = 0; // numero di promozioni
10 unsigned int failures = 0; // numero di bocciature
11 unsigned int student = 1; // contatore del numero di studenti
12 int result; // un risultato dell'esame
13
14 // processa 10 studenti usando un ciclo controllato da contatore
15 while (student <= 10) {
16
17 // richiedi all'utente un valore in ingresso
18 printf("%s", "Enter result (1=pass,2=fail): ");

```

```
19 scanf("%d", &result);
20
21 // se il risultato e' 1, incrementa il numero di promozioni
22 if (result == 1) {
23 passes = passes + 1;
24 } // fine di if
25 else { // altrimenti, incrementa il numero di bocciature
26 failures = failures + 1;
27 } // fine di else
28
29 student = student + 1; // incrementa il contatore degli studenti
30 } // fine di while
31
32 // fase di terminazione; stampa i risultati
33 printf("Passed %u\n", passes);
34 printf("Failed %u\n", failures);
35
36 // decidi se stampare "Bonus to instructor!"
37 if (passes > 8) {
38 puts("Bonus to instructor!");
39 } // fine di if
40 } // fine della funzione main
```

```
Enter Result (1=pass,2=fail): 1
Enter Result (1=pass,2=fail): 2
Enter Result (1=pass,2=fail): 2
Enter Result (1=pass,2=fail): 1
Enter Result (1=pass,2=fail): 1
Enter Result (1=pass,2=fail): 1
Enter Result (1=pass,2=fail): 2
Enter Result (1=pass,2=fail): 1
Enter Result (1=pass,2=fail): 1
Enter Result (1=pass,2=fail): 2
Passed 6
Failed 4
```

```
Enter Result (1=pass,2=fail): 1
Enter Result (1=pass,2=fail): 1
Enter Result (1=pass,2=fail): 1
Enter Result (1=pass,2=fail): 2
Enter Result (1=pass,2=fail): 1
Passed 9
Failed 1
Bonus to instructor!
```

Figura 3.10 Analisi dei risultati dell'esame.

### 3.11 Operatori di assegnazione

Il C fornisce diversi operatori di assegnazione per abbreviare le espressioni di assegnazione. Ad esempio, l'istruzione

```
c = c + 3;
```

può essere abbreviata con l'operatore di assegnazione per l'addizione `+=` come in

```
c += 3;
```

L'operatore `+=` aggiunge il valore dell'espressione sulla *destra* dell'operatore al valore della variabile sulla *sinistra* dell'operatore e memorizza il risultato in tale variabile. Qualunque istruzione della forma

*variabile = espressione operatore variabile;*

dove l'operatore è uno degli operatori binari `+`, `-`, `*`, `/` oppure `%` (o altri che esamineremo nel Capitolo 10), può essere scritta nella forma

*variabile operatore= espressione;*

Così l'assegnazione `c += 3` aggiunge 3 a `c`. La Figura 3.11 mostra gli operatori di assegnazione per l'aritmetica, alcune espressioni di esempio che usano questi operatori e la loro spiegazione.

| Operatore di assegnazione                       | Esempio di espressione | Spiegazione            | Assegna             |
|-------------------------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| Ponete: int c = 3, d = 5, e = 4, f = 6, g = 12; |                        |                        |                     |
| <code>+=</code>                                 | <code>c += 7</code>    | <code>c = c + 7</code> | 10 a <code>c</code> |
| <code>-=</code>                                 | <code>d -= 4</code>    | <code>d = d - 4</code> | 1 a <code>d</code>  |
| <code>*=</code>                                 | <code>e *= 5</code>    | <code>e = e * 5</code> | 20 a <code>e</code> |
| <code>/=</code>                                 | <code>f /= 3</code>    | <code>f = f / 3</code> | 2 a <code>f</code>  |
| <code>%=</code>                                 | <code>g %= 9</code>    | <code>g = g % 9</code> | 3 a <code>g</code>  |

Figura 3.11 Operatori di assegnazione per l'aritmetica.

### 3.12 Operatori di incremento e di decremento

Il C fornisce anche l'operatore di incremento unario, `++`, e l'operatore di decremento unario, `--`, che sono descritti nella Figura 3.12. Se una variabile va incrementata di 1, si può usare l'operatore di incremento `++` piuttosto che le espressioni `c = c + 1` o `c += 1`. Se gli operatori di incremento o di decremento sono posti *prima* di una variabile (cioè sono *prefissi*), sono definiti rispettivamente operatori di preincremento o di predecremento. Se gli operatori di incremento o di decremento sono posti *dopo* una variabile (sono cioè *postfissi*), sono definiti rispettivamente operatori di postincremento o di postdecremento. Preincrementare (o predecrementare) una variabile fa sì che essa venga prima incrementata (o decrementata) di 1 e che *dopo* il suo nuovo valore venga usato nell'espressione in cui appare. Postincrementare (o postdecrementare) la variabile fa sì che sia usato il valore corrente della variabile nell'espressione in cui appare e che solo *dopo* il suo valore venga incrementato (o decrementato) di 1.

| Operatore di assegnazione | Esempio di espressione | Spiegazione                                                                                                                       |
|---------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>++</code>           | <code>++a</code>       | Incrementa <code>a</code> di 1, quindi usa il nuovo valore di <code>a</code> nell'espressione in cui si trova <code>a</code> .    |
| <code>++</code>           | <code>a++</code>       | Usa il valore corrente di <code>a</code> nell'espressione in cui si trova <code>a</code> , quindi incrementa <code>a</code> di 1. |
| <code>--</code>           | <code>--b</code>       | Decrementa <code>b</code> di 1, quindi usa il nuovo valore di <code>b</code> nell'espressione in cui si trova <code>b</code> .    |
| <code>--</code>           | <code>b--</code>       | Usa il valore corrente di <code>b</code> nell'espressione in cui si trova <code>b</code> , quindi decrementa <code>b</code> di 1. |

**Figura 3.12** Operatori di incremento e di decremento.

La Figura 3.13 illustra la differenza tra le versioni di preincremento e di postincremento dell'operatore `++`. Postincrementare la variabile `c` fa sì che essa sia incrementata *dopo* essere stata usata nell'istruzione `printf`. Preincrementare la variabile `c` fa sì che essa sia incrementata *prima* di essere usata nell'istruzione `printf`.

```

1 // Fig. 3.13: fig03_13.c
2 // Preincremento e postincremento.
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main(void)
7 {
8 int c; // definizione della variabile
9
10 // illustrazione del postincremento
11 c = 5; // assegna 5 a c
12 printf("%d\n", c); // stampa 5
13 printf("%d\n", c++); // stampa 5 e poi postincrementa
14 printf("%d\n\n", c); // stampa 6
15
16 // illustrazione del preincremento
17 c = 5; // assegna 5 a c
18 printf("%d\n", c); // stampa 5
19 printf("%d\n", ++c); // preincrementa e poi stampa 6
20 printf("%d\n", c); // stampa 6
21 } // fine della funzione main

```

5  
5  
6  
  
5  
6  
6

**Figura 3.13** Preincremento e postincremento.

Il programma mostra il valore di `c` prima e dopo l'uso dell'operatore `++`. L'operatore di decremento (`--`) funziona in un modo simile.



### Buona pratica di programmazione 3.4

*Gli operatori unari devono essere posti direttamente vicino ai loro operandi senza spazi intermedi.*

Le tre istruzioni di assegnazione nella Figura 3.10

```
passes = passes + 1;
failures = failures + 1;
student = student + 1;
```

si possono scrivere più concisamente con gli *operatori di assegnazione* come

```
passes += 1;
failures += 1;
student += 1;
```

con *operatori di preincremento* come

```
++passes;
++failures;
++student;
```

o con *operatori di postincremento* come

```
passes++;
failures++;
student++;
```

È importante notare qui che quando si incrementa o si decrementa una variabile in un'istruzione in cui compare solo la *stessa* variabile, le forme di preincremento e postincremento hanno lo *stesso* effetto. È solo quando una variabile appare nel contesto di un'espressione più ampia che il preincremento e il postincremento hanno effetti *differenti* (e lo stesso vale per il predecremento e il postdecremento). Riguardo alle espressioni che abbiamo studiato finora, soltanto il semplice nome di una variabile può essere usato come operando di un operatore di incremento o di decremento.



### Errore comune di programmazione 3.8

*Tentare di usare l'operatore di incremento o di decremento con un'espressione diversa dal semplice nome di una variabile è un errore di sintassi: ad esempio, scrivere `++(x + 1)`.*



### Prevenzione di errori 3.7

*Il C generalmente non specifica l'ordine in cui saranno calcolati gli operandi di un operatore (anche se vedremo qualche eccezione a ciò per alcuni operatori nel Capitolo 4). Quindi dovete usare gli operatori di incremento o di decremento solamente in istruzioni nelle quali viene incrementata o decrementata una sola variabile.*

La Figura 3.14 elenca la precedenza e l'associatività degli operatori introdotti fino a questo punto. Gli operatori sono mostrati dall'alto in basso in ordine decrescente di precedenza. La seconda

colonna indica l'associatività degli operatori a ogni livello di precedenza. Notate che l'operatore condizionale (`? :`), gli operatori unari di incremento (`++`) e di decremento (`--`), gli operatori unari più (`+`), meno (`-`), cast e gli operatori di assegnazione `=`, `+=`, `-=`, `*=`, `/=` e `%=` sono associativi da destra a sinistra. La terza colonna denomina i vari gruppi di operatori. Tutti gli altri operatori nella Figura 3.14 sono associativi da sinistra a destra.

| Operatori                          | Associatività        | Tipo            |
|------------------------------------|----------------------|-----------------|
| <code>++ (postfisso)</code>        | da destra a sinistra | postfisso       |
| <code>+ - (tipo)</code>            | da destra a sinistra | unario          |
| <code>* / %</code>                 | da sinistra a destra | moltiplicativo  |
| <code>+</code>                     | da sinistra a destra | additivo        |
| <code>&lt; &lt;= &gt; &gt;=</code> | da sinistra a destra | relazionale     |
| <code>== !=</code>                 | da sinistra a destra | di uguaglianza  |
| <code>? :</code>                   | da destra a sinistra | condizionale    |
| <code>= += -= *= /= %=</code>      | da destra a sinistra | di assegnazione |

Figura 3.14 Precedenza e associatività degli operatori incontrati finora nel testo.

## 3.13 Programmazione sicura in C

### Overflow aritmetico

La Figura 2.5 presentava un programma di addizione che calcolava la somma di due valori `int` (riga 18) con l'istruzione

```
sum = integer1 + integer2; // assegna il totale a sum
```

Persino questa semplice istruzione ha un problema potenziale: addizionare numeri interi potrebbe produrre un valore *tropppo grande* da memorizzare in una variabile `int`. Ciò è noto come **overflow aritmetico** e può causare un comportamento indefinito, con la possibilità che il sistema venga esposto ad attacchi.

I valori massimi e minimi specifici della piattaforma che si possono memorizzare in una variabile `int` sono rappresentati rispettivamente dalle costanti `INT_MAX` e `INT_MIN`, che sono definite nel file di intestazione `<limits.h>`. Vi sono costanti simili per gli altri tipi interi che introdurremo nel Capitolo 4. Potete vedere i valori relativi alla vostra piattaforma per queste costanti aprendo il file di intestazione `<limits.h>` in un editor di testo.

Viene considerata una buona pratica assicurarsi che, prima di eseguire calcoli aritmetici come quello nella riga 18 della Figura 2.5, questi *non* daranno luogo a overflow. Il codice per fare questa verifica è mostrato sul sito web del CERT [www.securecoding.cert.org](http://www.securecoding.cert.org). Cercate proprio la linea guida “INT32-C”. Il codice utilizza gli operatori `&&` (AND logico) e `||` (OR logico), che saranno introdotti nel Capitolo 4. Nel codice sviluppato a livello industriale dovreste eseguire dei controlli come questi per *tutti* i calcoli. Nei capitoli successivi mostreremo altre tecniche di programmazione per trattare questi errori.

### Numeri interi senza segno

Nella Figura 3.6, la riga 8 dichiarava come `unsigned int` la variabile `counter`, perché usata per contare *solo valori non-negativi*. In generale, i contatori che memorizzano soltanto valori non-negativi devono essere dichiarati con `unsigned` prima del tipo intero. Variabili di tipo `unsigned` possono

rappresentare valori da 0 ad approssimativamente due volte l’intervallo positivo dei corrispondenti numeri di tipo intero con un segno. Potete determinare il massimo valore `unsigned int` per la vostra piattaforma attraverso la costante `UINT_MAX` definita in `<limits.h>`.

Il programma della media di una classe nella Figura 3.6 avrebbe potuto dichiarare come `unsigned int` le variabili `grade`, `total` e `average`. I voti sono normalmente valori da 0 a 100, così `total` e `average` devono essere tutti e due maggiori o uguali a 0. Abbiamo dichiarato quelle variabili come `int` perché non possiamo controllare che cosa in realtà inserisce l’utente, il quale potrebbe inserire valori *negativi*. Peggio ancora, l’utente potrebbe inserire un valore che non è neppure un numero. Mostreremo come affrontare tali input in seguito nel libro.

Talvolta i cicli controllati da sentinella utilizzano valori non validi per terminare un ciclo. Ad esempio, il programma della media della classe della Figura 3.8 termina il ciclo quando l’utente inserisce la sentinella `-1` (un voto non valido), così sarebbe improprio dichiarare la variabile `grade` come un `unsigned int`. Come vedrete, l’indicatore della fine del file (EOF) – che sarà introdotto nel prossimo capitolo e che è spesso usato per terminare i cicli controllati da sentinella – è anche un numero negativo. Per maggiori informazioni, consultate il Capitolo 5, “Integer Security”, del libro di Robert Seacord *Secure Coding in C and C++*, 2/e.

### `scanf_s` e `printf_s`

L’Annex K dello standard C11 introduce versioni più sicure di `printf` e `scanf` chiamate `printf_s` e `scanf_s` (analizzeremo queste funzioni e le questioni di sicurezza corrispondenti nei Paragrafi 6.13 e 7.13). L’Annex K è designato come *opzionale*, per cui non sarà implementato da tutti i fornitori del linguaggio C. Microsoft ha implementato le sue versioni di `printf_s` e `scanf_s` prima della pubblicazione dello standard C11, e il suo compilatore ha cominciato immediatamente a far emettere dei warning (avvertimenti) per ogni chiamata di `scanf`. I warning dicono che `scanf` è *deprecata* – non deve essere più utilizzata – e che voi dovreste prendere in considerazione invece l’uso di `scanf_s`.

Molte organizzazioni hanno standard di codifica che richiedono che il codice venga compilato *senza messaggi di warning*. Vi sono due modi per eliminare i warning per `scanf` in Visual C++: potete usare `scanf_s` invece di `scanf`, oppure potete disattivare questi warning. Riguardo alle istruzioni di input che abbiamo usato finora, gli utenti di Visual C++ possono semplicemente sostituire `scanf` con `scanf_s`. Potete disattivare i messaggi di warning in Visual C++ come segue:

1. Digitate `Alt F7` per far apparire la finestra `Property Pages` per il vostro progetto.
2. Nella colonna sinistra, espandete `Configuration Properties>C/C++` e selezionate `Preprocessor`.
3. Nella colonna destra, alla fine del valore per `Preprocessor Definitions`, inserite  
`;_CRT_SECURE_NO_WARNINGS`
4. Cliccate `OK` per salvare le modifiche.

Non riceverete più warning per `scanf` (o per qualunque altra funzione che Microsoft ha deprecato per ragioni simili). Per codice a livello industriale è sconsigliato disattivare i warning. Diremo di più su come usare `scanf_s` e `printf_s` in un successivo paragrafo sulle linee guida per il codice C sicuro.

## Riepilogo

### Paragrafo 3.1 Introduzione

- Prima di scrivere un programma per risolvere un problema particolare, dovete avere una comprensione completa del problema e un approccio pianificato con cura per risolverlo.

### Paragrafo 3.2 Algoritmi

- La soluzione per qualsiasi problema di calcolo implica l'esecuzione di una serie di azioni in un ordine specifico.
- Una procedura per risolvere un problema che consta in un insieme di azioni da eseguire e in un dato ordine in cui esse vanno eseguite è chiamata algoritmo.
- È importante l'ordine in cui le azioni vanno eseguite.

### Paragrafo 3.3 Pseudocodice

- Lo pseudocodice è un linguaggio artificiale e informale che vi aiuta a sviluppare algoritmi.
- Lo pseudocodice è simile al linguaggio di ogni giorno; non è un vero e proprio linguaggio di programmazione per computer.
- I programmi in pseudocodice vi aiutano a "riflettere bene" su un programma.
- Lo pseudocodice consiste puramente di caratteri; potete scriverlo usando un editor di testo.
- I programmi in pseudocodice preparati con cura si possono convertire facilmente nei corrispondenti programmi in C.
- Lo pseudocodice è costituito solamente da istruzioni di azione.

### Paragrafo 3.4 Strutture di controllo

- Normalmente, le istruzioni in un programma vengono eseguite una dopo l'altra nell'ordine in cui vengono scritte. Questa è chiamata esecuzione sequenziale.
- Varie istruzioni in C permettono di specificare che l'istruzione successiva da eseguire può essere diversa dalla successiva in sequenza. Ciò è chiamato trasferimento del controllo.
- La programmazione strutturata è diventata quasi sinonimo di "eliminazione del goto".
- I programmi strutturati sono più chiari e più facili da correggere e da modificare, oltre ad avere più probabilità di essere esenti da errori.
- Tutti i programmi possono essere scritti in termini di strutture di controllo sequenziale, di selezione e di iterazione.
- A meno che non sia istruito per agire diversamente, il computer esegue automaticamente le istruzioni in C in sequenza.
- Un diagramma di flusso è la rappresentazione grafica di un algoritmo. I diagrammi di flusso sono disegnati usando rettangoli, rombi, rettangoli arrotondati e cerchietti, collegati da frecce chiamate linee di flusso.
- Il simbolo rettangolo (azione) indica qualsiasi tipo di azione, come un calcolo o un'operazione di input/output.
- Le linee di flusso indicano l'ordine in cui sono eseguite le azioni.

- Quando si disegna un diagramma di flusso che rappresenta un algoritmo completo, il primo simbolo usato è un rettangolo arrotondato contenente la parola “Inizio”; il simbolo rettangolo arrotondato contenente la parola “Fine” è l’ultimo simbolo usato. Quando si disegna soltanto una porzione di algoritmo, omettiamo i simboli rettangolo arrotondato e al loro posto usiamo dei simboli cerchietto, chiamati anche simboli connettori.
- Il simbolo rombo (decisione) indica che va presa una decisione.
- L’istruzione di selezione singola **if** seleziona o ignora una singola azione.
- L’istruzione di selezione doppia **if...else** seleziona tra due azioni differenti.
- L’istruzione di selezione multipla **switch** seleziona tra più azioni differenti in base al valore di un’espressione.
- Il C fornisce tre tipi di istruzioni di iterazione (chiamate anche istruzioni di ripetizione), ossia **while**, **do...while** e **for**.
- I segmenti di diagramma di flusso relativi alle istruzioni di controllo possono essere accatastati, ovvero attaccati l’uno all’altro collegando il punto di uscita di un’istruzione di controllo al punto di entrata della successiva.
- C’è solo un altro modo in cui si possono collegare le istruzioni di controllo: l’annidamento.

#### *Paragrafo 3.5 Istruzione di selezione if*

- Le strutture di selezione sono usate per scegliere fra linee alternative di azioni.
- Il simbolo di decisione contiene un’espressione, come una condizione, che può essere vera o falsa. Il simbolo di decisione ha due linee di flusso che emergono da esso. Una indica la direzione da prendere quando l’espressione è vera, l’altra la direzione quando l’espressione è falsa.
- Una decisione può basarsi su qualsiasi espressione: se l’espressione assume il valore zero è trattata come falsa e se assume un valore diverso da zero è trattata come vera.
- L’istruzione **if** è una struttura con un solo ingresso e una sola uscita.

#### *Paragrafo 3.6 Istruzione di selezione if...else*

- Il C fornisce l’operatore condizionale (**?:**) il quale è strettamente correlato all’istruzione **if...else**.
- L’operatore condizionale è il solo operatore ternario del C: esso si applica a tre operandi. Il primo operando è una condizione. Il secondo operando è il valore dell’espressione condizionale se la condizione è vera e il terzo operando è il valore dell’espressione condizionale se la condizione è falsa.
- Le istruzioni annidate **if...else** effettuano test per più casi ponendo istruzioni **if...else** dentro altre istruzioni **if...else**.
- L’istruzione di selezione **if** si aspetta soltanto una sola istruzione nel suo corpo. Per includere diverse istruzioni nel corpo di un **if**, dovete racchiudere l’insieme delle istruzioni tra parentesi graffe (**{** e **}**).
- Un insieme di istruzioni contenute entro una coppia di parentesi graffe è chiamato istruzione composta o blocco.
- Un errore di sintassi viene individuato dal compilatore. Un errore logico ha il suo effetto al momento dell’esecuzione. Un errore logico irreversibile fa sì che il programma fallisca e ter-

mini prematuramente. Un errore logico non irreversibile permette a un programma di continuare l'esecuzione ma con la produzione di risultati scorretti.

### **Paragrafo 3.7 Istruzione di iterazione while**

- L'istruzione di iterazione `while` specifica che un'azione va ripetuta finché una condizione è vera. Alla fine la condizione diventerà falsa. A questo punto l'iterazione termina e viene eseguita la prima istruzione dopo l'istruzione di iterazione.

### **Paragrafo 3.8 Formulare algoritmi, caso pratico 1: iterazione controllata da contatore**

- L'iterazione controllata da contatore utilizza una variabile chiamata contatore per specificare il numero di volte in cui deve essere eseguito un insieme di istruzioni.
- L'iterazione controllata da contatore è spesso chiamata iterazione definita perché il numero di iterazioni è noto prima che il ciclo inizi l'esecuzione.
- Un totale è una variabile usata per accumulare la somma di una serie di valori. Le variabili usate per memorizzare i totali devono normalmente essere inizializzate a zero prima di essere usate in un programma; altrimenti, la somma includerebbe il precedente valore memorizzato nella locazione di memoria del totale.
- Un contatore è una variabile usata per contare. Le variabili contatore sono normalmente inizializzate a zero o a uno, a seconda del loro uso.
- Una variabile non inizializzata contiene un valore "spazzatura", l'ultimo valore memorizzato nella locazione di memoria riservata per quella variabile.

### **Paragrafo 3.9 Formulare algoritmi con affinamento graduale top-down, caso pratico 2: iterazione controllata da sentinella**

- Un valore sentinella (chiamato anche valore di segnale, valore fittizio o valore flag) è usato in un ciclo controllato da sentinella per indicare il "termine dell'ingresso dei dati".
- L'iterazione controllata da sentinella è spesso chiamata iterazione indefinita perché il numero di iterazioni non è noto prima che il ciclo inizi l'esecuzione.
- Il valore sentinella deve essere scelto in modo tale che non possa essere confuso con un valore di input accettabile.
- Nell'affinamento top-down graduale, il livello top è un'istruzione che indica la funzione complessiva realizzata dal programma. È una rappresentazione completa di un programma. In un processo di affinamento suddividiamo il livello top in compiti più piccoli e li elenchiamo in ordine di esecuzione.
- Il tipo `float` rappresenta numeri con punto decimale (chiamati numeri in virgola mobile).
- Quando si dividono due numeri interi, la parte frazionale del risultato viene troncata.
- Per compiere un calcolo in virgola mobile con valori interi, dovete trasformare i numeri interi in numeri in virgola mobile. Il C fornisce l'operatore cast unario (`float`) per effettuare questa azione.
- Gli operatori cast eseguono conversioni esplicite.
- La maggior parte dei computer può calcolare solo espressioni aritmetiche in cui i tipi di dati degli operandi sono identici. Per assicurare ciò, il compilatore esegue su alcuni operandi un'operazione chiamata conversione implicita.
- Un operatore cast è formato mettendo delle parentesi attorno al nome di un tipo. L'operatore cast è un operatore unario: ha soltanto un operando.

- Gli operatori cast sono associativi da destra a sinistra e hanno la stessa precedenza di altri operatori unari come + unario e - unario. Questa precedenza è di un livello più alta di quella di \*, / e %.
- Lo specificatore di conversione %.2f di `printf` specifica che il valore in virgola mobile sarà stampato con due cifre alla destra del numero decimale. Se si usa lo specificatore di conversione %f (senza specificare la precisione) viene usata la precisione predefinita pari a 6.
- Quando i valori in virgola mobile sono stampati con una data precisione, il valore viene arrotondato, per esigenze di stampa, al numero indicato di cifre decimali.

### **Paragrafo 3.11 Operatori di assegnazione**

- Il C fornisce diversi operatori di assegnazione per abbreviare le espressioni di assegnazione.
- L'operatore += aggiunge il valore dell'espressione sulla destra dell'operatore al valore della variabile sulla sinistra dell'operatore e memorizza il risultato nella variabile stessa.
- Qualsiasi istruzione della forma

*variabile = variabile operatore espressione;*

dove *operatore* è uno degli operatori binari +, -, \*, / o % (o altri che esamineremo nel Capitolo 10), può essere scritta nella forma

*variabile operatore= espressione;*

### **Paragrafo 3.12 Operatori di incremento e di decremento**

- Il C fornisce l'operatore di incremento unario, ++, e l'operatore di decremento unario, --, da usare con tipi interi.
- Se gli operatori di incremento o di decremento sono posti prima di una variabile, sono detti rispettivamente operatori di preincremento o di predecremento. Se gli operatori di incremento o di decremento sono posti dopo una variabile, sono detti rispettivamente operatori di postincremento o di postdecremento.
- Preincrementare (predecrementare) una variabile fa sì che essa venga incrementata (decrementata) di 1, dopodiché il nuovo valore della variabile viene usato nell'espressione in cui compare.
- Postincrementare (postdecrementare) una variabile fa sì che venga utilizzato il valore corrente della variabile nell'espressione in cui compare, dopodiché il valore della variabile viene incrementato (decrementato) di 1.
- Quando si incrementa o si decrementa una variabile in un'istruzione in cui compare la singola variabile, le forme di preincremento e postincremento hanno lo stesso effetto. Quando compare una variabile nel contesto di un'espressione più ampia, il preincremento e il postincremento hanno effetti differenti (e lo stesso avviene per il predecremento e il postdecremento).

### **Paragrafo 3.13 Programmazione sicura in C**

- L'addizione di numeri interi può produrre un valore troppo grande da memorizzare in una variabile `int`. Ciò è noto come overflow aritmetico e può provocare un comportamento imprevedibile al momento dell'esecuzione, rendendo possibile l'esposizione del sistema ad attacchi.
- I valori massimi e minimi che si possono memorizzare in una variabile `int` sono rappresentati rispettivamente con le costanti `INT_MAX` e `INT_MIN` definiti nel file di intestazione `<limits.h>`.
- Viene considerata una buona pratica assicurarsi che i calcoli aritmetici non daranno luogo a overflow prima che si esegua il calcolo. Nel codice a livello industriale si devono eseguire controlli per tutti i calcoli che possono provocare un overflow o un underflow.

- In generale, qualsiasi variabile intera che deve memorizzare soltanto valori non-negativi deve essere dichiarata con `unsigned` prima del tipo intero. Variabili di tipo `unsigned` possono rappresentare valori da 0 ad approssimativamente il doppio dell'intervallo positivo del tipo intero con segno corrispondente.
- Potete determinare il massimo valore `unsigned int` per la vostra piattaforma in base alla costante `UINT_MAX` in `<limits.h>`.
- L'Annex K dello standard C11 introduce versioni più sicure di `printf` e `scanf` chiamate `printf_s` e `scanf_s`. L'Annex K è designato come opzionale, quindi non tutti i fornitori di compilatori C lo implementeranno.
- Microsoft ha implementato le proprie versioni di `printf_s` e `scanf_s` prima della pubblicazione dello standard C11 e immediatamente ha cominciato a far generare dei warning per ogni chiamata di `scanf`. I warning dicono che `scanf` è deprecata (non deve più essere utilizzata) e che invece dovreste prendere in considerazione l'uso di `scanf_s`.
- Molte organizzazioni hanno standard di codifica che richiedono che il codice sia compilato senza messaggi di warning. Vi sono due modi per eliminare i warning per `scanf` in Visual C++. Potete cominciare a usare immediatamente `scanf_s` o disattivare questi messaggi di warning.

## Esercizi di autovalutazione

3.1 Riempite gli spazi vuoti in ognuna delle seguenti frasi.

- Una procedura per risolvere un problema in termini di azioni da eseguire e dell'ordine in cui tali azioni vanno eseguite è chiamata \_\_\_\_\_.
- Specificare l'ordine di esecuzione delle istruzioni da parte del computer è chiamato \_\_\_\_\_.
- Tutti i programmi si possono scrivere in termini dei tre tipi di istruzioni di controllo: \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_.
- L'istruzione di selezione \_\_\_\_\_ è usata per eseguire un'azione quando una condizione è vera e un'altra azione quando la condizione è falsa.
- Varie istruzioni raggruppate insieme tra parentesi graffe (`{` e `}`) sono chiamate \_\_\_\_\_.
- L'istruzione di iterazione \_\_\_\_\_ specifica che un'istruzione o un gruppo di istruzioni vanno eseguiti ripetutamente finché una qualche condizione rimane vera.
- L'iterazione di un insieme di istruzioni un numero specifico di volte è chiamata iterazione \_\_\_\_\_.
- Quando non si sa in anticipo quante volte sarà ripetuto un insieme di istruzioni si può usare un valore \_\_\_\_\_ per terminare l'iterazione.

3.2 Scrivete quattro differenti istruzioni in C che sommino 1 alla variabile intera `x`.

3.3 Scrivete singole istruzioni in C per effettuare ciascuna delle seguenti azioni:

- Moltiplicate la variabile `product` per 2 usando l'operatore `*=`.
- Moltiplicate la variabile `product` per 2 usando gli operatori `=` e `*`.
- Verificate se il valore della variabile `count` è maggiore di 10. Se lo è, stampate "Count is greater than 10."
- Calcolate il resto della divisione di `q` per `divisore` e assegnate il risultato a `q`. Scrivete questa istruzione in due modi differenti.
- Stampate il valore 123.4567 con due cifre di precisione. Quale valore viene stampato?
- Stampate il valore del numero in virgola mobile 3.14159 con tre cifre alla destra del numero decimale. Quale valore viene stampato?

- 3.4** Scrivete un'istruzione in C per eseguire ognuno dei seguenti compiti.
- Definite le variabili `sum` e `x` come tipo `int`.
  - Ponete la variabile `x` a 1.
  - Ponete la variabile `sum` a 0.
  - Sommate la variabile `x` alla variabile `sum` e assegnate il risultato alla variabile `sum`.
  - Stampate "The sum is: " seguito dal valore della variabile `sum`.
- 3.5** Mettete insieme le istruzioni che avete scritto nell'Esercizio 3.4 in un programma che calcoli la somma dei numeri interi da 1 a 10. Usate l'istruzione `while` per iterare i calcoli e le istruzioni di incremento. Il ciclo deve terminare quando il valore di `x` diventa 11.
- 3.6** Scrivete singole istruzioni in C per:
- Leggere il valore della variabile intera senza segno `x` con `scanf`. Usate lo specificatore di conversione `%u`.
  - Leggere il valore della variabile intera senza segno `y` con `scanf`. Usate lo specificatore di conversione `%u`.
  - Impostare la variabile intera senza segno `i` a 1.
  - Impostare la variabile intera senza segno `power` a 1.
  - Moltiplicare la variabile intera senza segno `power` per `x` e assegnare il risultato a `power`.
  - Incrementare la variabile `i` di 1.
  - Testare `i` per vedere se è minore o uguale a `y` nella condizione di un'istruzione `while`.
  - Stampare la variabile intera senza segno `power` con `printf`. Usate lo specificatore di conversione `%u`.
- 3.7** Scrivete un programma in C che usi le istruzioni nell'Esercizio 3.6 per calcolare `x` elevato alla potenza `y`. Il programma dovrà avere un'istruzione di controllo dell'iterazione `while`.
- 3.8** Identificate e correggete gli errori in ognuna delle seguenti istruzioni:
- `while (c <= 5) {  
 product *= c;  
 ++c;`
  - `scanf( "%.4f", &value );`
  - `if ( gender == 1 )  
 puts( "Woman");  
else;  
 puts( "Man" );`
- 3.9** Cos'è sbagliato nella seguente istruzione di iterazione `while` (supponete che `z` abbia il valore 100) che deve calcolare la somma dei numeri interi da 100 in giù fino a 1?
- ```
while ( z >= 0 )  
    sum += z;
```

Risposte agli esercizi di autovalutazione

- 3.1** a) Algoritmo. b) Controllo del programma. c) Sequenza, selezione, iterazione. d) `if... else`. e) Istruzione composta o blocco. f) `while`. g) Controllata da contatore o definita. h) Sentinella.

- 3.2 x = x + 1;
 x += 1;
 ++x;
 x++;
- 3.3 a) product *= 2;
 b) product = product * 2;
 c) if (count > 10)
 puts("Count is greater than 10.");
 d) q %= divisor;
 q = q % divisor;
 e) printf("%.2f", 123.4567);
 viene stampato 123.46.
 f) printf("%.3f\n", 3.14159);
 viene stampato 3.142.
- 3.4 a) int sum, x;
 b) x = 1;
 c) sum = 0;
 d) sum += x; oppure sum = sum + x;
 e) printf("The sum is: %d\n", sum);

3.5 Si veda sotto.

```
1 // Calcola la somma dei numeri interi da 1 a 10
2 #include <stdio.h>
3
4 int main( void )
5 {
6     unsigned int x = 1; // imposta x
7     unsigned int sum = 0; // imposta la somma
8
9     while ( x <= 10 ) { // itera finche' x e' minore o uguale a 10
10         sum += x; // aggiungi x a sum
11         ++x; // incrementa x
12     } // fine di while
13
14     printf( "The sum is: %u\n", sum ); // stampa la somma
15 } // fine della funzione main
```

- 3.6 a) scanf("%u", &x);
 b) scanf("%u", &y);
 c) i = 1;
 d) power = 1;
 e) power *= x;
 f) ++i;
 g) while (i <= y)
 h) printf("%u", power);

3.7 Si veda sotto.

```

1 // eleva x alla potenza y
2 #include <stdio.h>
3
4 int main( void )
5 {
6     printf( "%s", "Enter first integer: " );
7     unsigned int x;
8     scanf( "%u", &x ); // leggi il valore di x
9     printf( "%s", "Enter second integer: " );
10    unsigned int y;
11    scanf( "%u", &y ); // leggi il valore di y
12
13    unsigned int i = 1;
14    unsigned int power = 1; imposta power
15
16    while ( i <= y ) { // ripeti finche' i e' minore o uguale a y
17        power *= x; // moltiplica power per x
18        ++i; // incrementa i
19    } // fine di while
20
21    printf( "%u\n", power ); // stampa power
22 } // fine della funzione main

```

- 3.8 a) Errore: mancanza della parentesi graffa destra di chiusura nel corpo del while.
Correzione: aggiungete la parentesi graffa destra di chiusura dopo l'istruzione `++c;`.
b) Errore: la precisione usata nello specificatore di conversione in `scanf`.
Correzione: rimuovete `.4` dallo specificatore di conversione.
c) Errore: il punto e virgola dopo l'`else` dell'istruzione `if...else` causa un errore logico;
il secondo `puts` sarà sempre eseguito.
Correzione: rimuovete il punto e virgola dopo `else`.
- 3.9 Il valore della variabile `z` non viene mai cambiato nell'istruzione `while`. Pertanto si genera un ciclo infinito. Per evitare il ciclo infinito si deve decrementare `z` in modo che alla fine essa diventi uguale a `0`.

Esercizi

3.10 Identificate e correggete gli errori [Nota: potrebbe esserci più di un errore in ogni porzione di codice.]

```

a) if ( age >= 65 );
    puts( "Age is greater than or equal to 65" );
    else
        puts( "Age is less than 65" );
b) int x = 1, total;

    while ( x <= 10 ) {
        total += x;
        ++x;
    }

```

```

c) While ( x <= 100 )
    total += x;
    ++x;
d) while ( y > 0 ) {
    printf( "%d\n", y );
    ++y;
}

```

3.11 Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti frasi:

- La soluzione a qualsiasi problema implica l'esecuzione di una serie di azioni in un specifico.
- Un sinonimo di procedura è .
- Una variabile che accumula la somma di diversi numeri è un .
- Un valore speciale usato per indicare "fine dell'inserimento dei dati" è chiamato valore , , o .
- Un è la rappresentazione grafica di un algoritmo.
- In un diagramma di flusso l'ordine in cui si devono eseguire i passi è indicato da simboli .
- I simboli rettangolo corrispondono ai calcoli che sono normalmente eseguiti dalle di e dalle operazioni di input/output eseguite normalmente per mezzo di chiamate alle funzioni della Libreria Standard e .
- L'espressione scritta dentro il simbolo di decisione è chiamata .

3.12 Che cosa stampa il seguente programma?

```

1 #include <stdio.h>
2
3 int main( void )
4 {
5     unsigned int x = 1;
6     unsigned int total = 0;
7     unsigned int y;
8
9     while ( x <= 10 ) {
10         y = x * x;
11         printf( "%d\n", y );
12         total += y;
13         ++x;
14     } // fine di while
15
16     printf( "Total is %d\n", total );
17 } // fine della funzione main

```

3.13 Scrivete singole istruzioni in pseudocodice che indichino ognuna delle seguenti azioni:

- Stampa il messaggio "Inserire due numeri".
- Assegna la somma delle variabili x, y e z alla variabile p.
- La seguente condizione va verificata in un'istruzione di selezione if...else: il valore corrente della variabile m è più di due volte maggiore del valore corrente della variabile v.
- Leggi i valori delle variabili s, r e t dalla tastiera.

3.14 Formulate un algoritmo in pseudocodice per ognuna delle seguenti azioni:

- Leggi due numeri dalla tastiera, calcola la loro somma e stampa il risultato.

- b) Leggi due numeri dalla tastiera e determina e stampa qual è il maggiore dei due (se uno dei due lo è).
- c) Leggi una serie di numeri positivi dalla tastiera e determina e stampa la loro somma. Supponi che l'utente scriva il valore sentinella -1 per indicare "Fine dell'ingresso dei dati."
- 3.15 Stabilite quali delle seguenti affermazioni sono *vere* e quali *false*. Se un'affermazione è falsa, spiegate perché.
- L'esperienza ha dimostrato che la parte più difficile della risoluzione di un problema su un computer è quella di produrre un programma in C funzionante.
 - Un valore sentinella deve essere un valore che non può venire confuso con un valore legittimo dei dati.
 - Le linee di flusso indicano le azioni da eseguire.
 - Le condizioni scritte dentro i simboli di decisione contengono sempre operatori aritmetici (ossia, +, -, *, / e %).
 - Nell'affinamento graduale top-down ogni affinamento è una rappresentazione completa dell'algoritmo.

Per gli Esercizi 3.16–3.20 eseguite ognuno di questi passi:

- Leggere la descrizione del problema.
- Formulare l'algoritmo usando l'affinamento graduale top-down in pseudocodice.
- Scrivere un programma in C.
- Verificare, correggere ed eseguire il programma in C.

- 3.16 (*Consumo di carburante*) I guidatori sono interessati al consumo effettuato dalle loro automobili. Un guidatore ha tenuto traccia dei vari pieni di carburante, registrando le miglia percorse e i galloni consumati a ogni pieno. Realizzate un programma che richieda di inserire le miglia percorse e i galloni consumati a ogni pieno. Il programma deve calcolare e stampare le miglia per gallone percorse per ogni pieno. Dopo aver processato tutte le informazioni di input, il programma deve calcolare e stampare le miglia complessive per gallone percorse per tutti i pieni. Ecco un dialogo di input/output di esempio:

```
Enter the gallons used (-1 to end): 12.8
Enter the miles driven: 287
The miles/gallon for this tank was 22.421875
```

```
Enter the gallons used (-1 to end): 10.3
Enter the miles driven: 200
The miles/gallon for this tank was 19.417475
```

```
Enter the gallons used (-1 to end): 5
Enter the miles driven: 120
The miles/gallon for this tank was 24.000000
```

```
Enter the gallons used (-1 to end): -1
The overall average miles/gallon was 21.601423
```

- 3.17 (*Verifica del limite di credito*) Sviluppate un programma in C per determinare se un cliente di un grande magazzino ha superato il limite di credito sul suo conto di addebito. Per ogni cliente sono a disposizione i seguenti dati:

- a) Numero del conto
- b) Saldo all'inizio del mese
- c) Totale delle voci addebitate sul conto del cliente nel mese
- d) Totale dei crediti applicati nel mese al conto del cliente
- e) Limite di credito concesso

Il programma deve leggere tali dati, calcolare il nuovo saldo (= *saldo iniziale + addebiti - crediti*) e determinare se il nuovo saldo supera il limite di credito del cliente. Per quei clienti il cui limite di credito è stato superato, il programma deve stampare il numero del conto del cliente, il limite di credito, il nuovo saldo e il messaggio "Limite di credito superato.". Ecco un esempio di dialogo di input/output:

```
Enter account number (-1 to end): 100
Enter beginning balance: 5394.78
Enter total charges: 1000.00
Enter total credits: 500.00
Enter credit limit: 5500.00
Account:      100
Credit limit: 5500.00
Balance:      5894.78
Credit Limit Exceeded.
```

```
Enter account number (-1 to end): 200
Enter beginning balance: 1000.00
Enter total charges: 123.45
Enter total credits: 321.00
Enter credit limit: 1500.00
```

```
Enter account number (-1 to end): 300
Enter beginning balance: 500.00
Enter total charges: 274.73
Enter total credits: 100.00
Enter credit limit: 800.00
```

```
Enter account number (-1 to end): -1
```

3.18 (Calcolo delle commissioni sulle vendite) Una grande compagnia chimica paga il suo personale addetto alle vendite su commissione. Il personale addetto alle vendite riceve 200 dollari alla settimana più il 9% delle vendite lorde per quella settimana. Ad esempio, un addetto alle vendite che vende 5000 dollari di prodotti chimici in una settimana riceve 200 dollari più il 9% di 5000, cioè un totale di 650 dollari. Sviluppate un programma che legga le vendite lorde di ogni addetto alle vendite nell'ultima settimana e calcoli e stampi i guadagni di quell'addetto. Elaborate i dati di ogni addetto alla volta. Ecco un esempio di dialogo di input/output:

```
Enter sales in dollars (-1 to end): 5000.00
Salary is: $650.00
```

```
Enter sales in dollars (-1 to end): 1234.56
Salary is: $311.11
```

```
Enter sales in dollars (-1 to end): -1
```

3.19 (Calcolo degli interessi) L'interesse semplice su un prestito è calcolato con la formula

$$\text{interest} = \text{principal} * \text{rate} * \text{days} / 365;$$

La precedente formula presume che `rate` sia il tasso di interesse annuale, e quindi effettua la divisione per 365 (giorni). Sviluppate un programma che legga i valori per le variabili `principal`, `rate` e `days` per diversi prestiti e calcoli e stampi l'interesse semplice per ogni prestito, usando la formula precedente. Ecco un esempio di dialogo di input/output:

```
Enter loan principal (-1 to end): 1000.00
Enter interest rate: .1
Enter term of the loan in days: 365
The interest charge is $100.00

Enter loan principal (-1 to end): 1000.00
Enter interest rate: .08375
Enter term of the loan in days: 224
The interest charge is $51.40

Enter loan principal (-1 to end): -1
```

3.20 (Calcolo del salario) Sviluppate un programma per calcolare lo stipendio lordo di ciascuno dei diversi impiegati. L'azienda paga quanto previsto all'ora per "l'orario lavorativo normale" per le prime 40 ore di lavoro e paga "una volta e mezza" per tutte le ore di lavoro oltre le 40 ore. Vi vengono dati una lista degli impiegati dell'azienda, il numero di ore in cui l'impiegato ha lavorato l'ultima settimana e la paga oraria di ogni impiegato. Il vostro programma deve leggere queste informazioni per ogni impiegato e determinare e stampare lo stipendio lordo. Ecco un esempio di dialogo di input/output:

```
Enter # of hours worked (-1 to end): 39
Enter hourly rate of the worker ($00.00): 10.00
Salary is $390.00

Enter # of hours worked (-1 to end): 40
Enter hourly rate of the worker ($00.00): 10.00
Salary is $400.00

Enter # of hours worked (-1 to end): 41
Enter hourly rate of the worker ($00.00): 10.00
Salary is $415.00

Enter # of hours worked (-1 to end): -1
```

3.21 (Predecrementare e postdecrementare) Scrivete un programma che dimostri la differenza tra predecrementare e postdecrementare usando l'operatore di decremento `--`.

3.22 (Stampare numeri con un ciclo) Scrivete un programma che utilizzi l'iterazione per stampare i numeri da 1 a 10 l'uno accanto all'altro sulla stessa riga con tre spazi tra di loro.

- 3.23 (Trovare il numero più grande)** Il processo di elaborazione che consiste nel trovare il numero più grande (cioè il massimo di un insieme di numeri) si usa frequentemente nelle applicazioni informatiche. Ad esempio, un programma che determina il vincitore di una gara di vendite riceve in ingresso il numero di unità vendute per ogni persona addetta alle vendite. La persona che vende più unità vince la gara. Scrivete un programma in pseudocodice e poi un programma in C che legga una serie di 10 numeri non-negativi e determini e stampi il maggiore dei numeri. *Suggerimento:* il vostro programma deve utilizzare tre variabili, come segue:

counter: un contatore per contare fino a 10 (cioè per tenere il conto di quanti numeri siano stati inseriti e per determinare quando tutti e dieci i numeri sono stati elaborati)

number: il numero corrente inserito nel programma

largest: il numero maggiore trovato fino a quel punto

- 3.24 (Tabella di output)** Scrivete un programma che usi l'iterazione per stampare la seguente tabella di valori. Usate la sequenza di escape tab, \t, nell'istruzione printf per separare le colonne con tabulazioni.

N	10*N	100*N	1000*N
1	10	100	1000
2	20	200	2000
3	30	300	3000
4	40	400	4000
5	50	500	5000
6	60	600	6000
7	70	700	7000
8	80	800	8000
9	90	900	9000
10	100	1000	10000

- 3.25 (Tabella di output)** Scrivete un programma che utilizzi l'iterazione per produrre la seguente tabella di valori:

A	A+2	A+4	A+6
3	5	7	9
6	8	10	12
9	11	13	15
12	14	16	18
15	17	19	21

- 3.26 (Trovare i due numeri più grandi)** Usando un approccio simile a quello dell'Esercizio 3.23, trovate i due valori più grandi tra 10 numeri. [Nota: potete inserire ogni numero solo una volta.]

- 3.27 (Convalidare l'input dell'utente)** Modificate il programma nella Figura 3.10 per convalidare i suoi input. Per qualunque input, se il valore inserito è diverso da 1 o da 2, continuate l'iterazione finché l'utente non inserisce un valore corretto.

3.28 Che cosa stampa il seguente programma?

```

1 #include <stdio.h>
2
3 int main( void )
4 {
5     unsigned int count = 1; // inizializza count
6
7     while ( count <= 10 ) { // ripeti 10 volte
8
9         // output della riga di testo
10        puts( count % 2 ? "*****" : "+++++++" );
11        ++count; // incrementa count
12    } // fine di while
13 } // fine della funzione main

```

3.29 Che cosa stampa il seguente programma?

```

1 #include <stdio.h>
2
3 int main( void )
4 {
5     unsigned int row = 10; // inizializza row
6
7     while ( row >= 1 ) { // ripeti finche' row < 1
8         unsigned int column = 1; // poni column a 1 all'inizio dell'iterazione
9
10        while ( column <= 10 ) { // ripeti 10 volte
11            printf( "%s", row % 2 ? "<": ">" ); // output
12            ++column; // incrementa column
13        } // fine del while interno
14
15        --row; // decrementa row
16        puts( "" ); // inizia una nuova riga di output
17    } // fine del while esterno
18 } // fine della funzione main

```

3.30 (*Problema dell'else sospeso*) Determinate l'output per ognuna delle seguenti istruzioni quando x è 9 e y è 11, e quando x è 11 e y è 9. Il compilatore ignora l'indentazione in un programma in C. Inoltre, il compilatore associa sempre un *else* al precedente *if*, a meno che non gli venga detto di fare diversamente con l'uso di parentesi graffe {}. Dal momento che, a una prima occhiata, non potete essere sicuri di quale *if* si accoppi con un *else*, questo si definisce “problema dell'else sospeso”. Abbiamo eliminato l'indentazione dal seguente codice per rendere il problema più impegnativo. [Suggerimento: applicate le convenzioni sull'indentazione che avete imparato.]

a) *if* ($x < 10$)
if ($y > 10$)
`puts("*****");`
else
`puts("#####");`
`puts("$$$$$");`

```
b) if ( x < 10 ) {  
    if ( y > 10 )  
        puts( "*****" );  
    }  
    else {  
        puts( "#####" );  
        puts( "$$$$$" );  
    }
```

- 3.31 (*Un altro problema di else sospeso*) Modificate il seguente codice per produrre l'output mostrato. Usate le tecniche di indentazione. Non potete fare cambiamenti diversi dall'inserimento di parentesi graffe. Il compilatore ignora l'indentazione in un programma. Abbiamo eliminato l'indentazione dal seguente codice al fine di rendere il problema più impegnativo.
[Nota: è possibile che non sia necessaria alcuna modifica.]

```
if ( y == 8 )  
if ( x == 5 )  
puts( "@@@@@" );  
else  
puts( "#####" );  
puts( "$$$$$" );  
puts( "&&&&&" );
```

- a) Supponendo $x = 5$ e $y = 8$, viene prodotto il seguente output.

```
@@@@@  
$$$$$  
&&&&&&
```

- b) Supponendo $x = 5$ e $y = 8$, viene prodotto il seguente output.

```
@@@@@
```

- c) Supponendo $x = 5$ e $y = 8$, viene prodotto il seguente output.

```
@@@@@  
&&&&&&
```

- d) Supponendo $x = 5$ e $y = 7$, viene prodotto il seguente output.

```
#####  
$$$$$  
&&&&&&
```

- 3.32 (*Quadrato di asterischi*) Scrivete un programma che legga il lato di un quadrato e poi stampi quel quadrato con asterischi. Il programma deve operare con quadrati dalle dimensioni dei lati tra 1 e 20. Ad esempio, se il programma legge una dimensione pari a 4, deve stampare

```
****  
***  
***  
***
```

- 3.33 (*Quadrato di asterischi vuoto*)** Modificate il programma che avete scritto per l'Esercizio 3.32 in modo che stampi un quadrato vuoto. Ad esempio, se il programma legge una dimensione pari a 5, deve stampare

```
*****
*   *
*   *
*   *
*****
```

- 3.34 (*Tester di palindromi*)** Un palindromo è un numero o una frase di un testo che si legge all'indietro e in avanti. Ad esempio, ognuno dei seguenti numeri interi a cinque cifre è un palindromo: 12321, 55555, 45554 e 11611. Scrivete un programma che legga un numero intero di cinque cifre e determini se sia o meno un palindromo. [Suggerimento: usate gli operatori di divisione e resto per separare il numero nelle sue cifre individuali.]
- 3.35 (*Stampare l'equivalente decimale di un numero binario*)** Inserite un numero intero (di 5 cifre o meno) contenente soltanto zeri e uni (cioè un numero intero "binario") e stampate il suo equivalente decimale. [Suggerimento: usate gli operatori di divisione e resto per ottenere le cifre del numero "binario" una alla volta da destra a sinistra. Proprio come nel sistema numerico decimale, nel quale la cifra più a destra ha un valore posizionale di 1 e la successiva cifra a sinistra ha un valore posizionale di 10, poi di 100, poi di 1000 e così via, nel sistema numerico binario la cifra più a destra ha un valore posizionale di 1, la cifra successiva a sinistra di 2, poi di 4, poi di 8 e così via. Allora il numero decimale 234 si può interpretare come $4 * 1 + 3 * 10 + 2 * 100$. L'equivalente decimale del binario 1101 è $1 * 1 + 0 * 2 + 1 * 4 + 1 * 8$ ovvero $1 + 0 + 4 + 8$ ovvero 13.]
- 3.36 (*Quanto è veloce il vostro computer?*)** Come potete davvero stabilire con quale velocità operi il vostro computer? Scrivete un programma con un ciclo `while` che conti da 1 a 1.000.000.000 per incrementi di uno. Ogni volta che il conto raggiunge un multiplo di 100.000.000, stampate quel numero sullo schermo. Usate il vostro orologio per cronometrare quanto tempo impiega ogni ciclo di 100 milioni di iterazioni.
- 3.37 (*Trovare multipli di 10*)** Scrivete un programma che stampi 100 asterischi uno alla volta. Dopo ogni decimo asterisco, il programma deve stampare un carattere newline. [Suggerimento: contate da 1 a 100. Usate l'operatore di resto per riconoscere quando il contatore raggiunge un multiplo di 10.]
- 3.38 (*Contare i 7*)** Scrivete un programma che legga un numero intero (di 5 cifre o meno) e determini e stampi quante cifre uguali a 7 ci sono nel numero.
- 3.39 (*Modello di scacchiera di asterischi*)** Scrivete un programma che stampi la seguente configurazione a scacchiera:

```
***** * * * * *
* * * * * * * *
* * * * * * * *
* * * * * * * *
* * * * * * * *
* * * * * * * *
* * * * * * * *
```

Il vostro programma deve usare solamente tre istruzioni di output, ciascuna rispettivamente della forma seguente:

```
printf( "%s", "*" );
printf( "%s", " " );
puts( "" ); // stampa un newline
```

- 3.40 (*Multipli di 2 con un ciclo infinito*) Scrivete un programma che continui a stampare i multipli del numero intero 2, e cioè 2, 4, 8, 16, 32, 64 e così via. Il vostro ciclo non deve terminare (ossia, dovete creare un ciclo infinito). Cosa succede quando fate eseguire questo programma?
- 3.41 (*Diametro, circonferenza e area di un cerchio*) Scrivete un programma che legga il raggio di un cerchio (come valore float) e calcoli e stampi il diametro, la circonferenza e l'area. Usate il valore 3,14159 per π .
- 3.42 Cosa c'è di sbagliato nella seguente istruzione? Riscrivetela per compiere ciò che il programmatore stava probabilmente cercando di fare.

```
printf( "%d", ++( x + y ) );
```

- 3.43 (*Lati di un triangolo*) Scrivete un programma che legga tre valori interi diversi da zero e determini e stampi se essi possono rappresentare i lati di un triangolo.
- 3.44 (*Lati di un triangolo rettangolo*) Scrivete un programma che legga tre numeri interi diversi da zero e determini e stampi se possono essere i lati di un triangolo rettangolo.
- 3.45 (*Fattoriale*) Il fattoriale di un numero intero non negativo n si scrive $n!$ (pronunciato “ n fattoriale”) ed è definito come segue:

$n! = n \cdot (n - 1) \cdot (n - 2) \cdot \dots \cdot 1$ (per valori di n maggiori o uguali a 1)

e

$n! = 1$ (per $n = 0$).

Ad esempio, $5! = 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1$, che è 120.

- a) Scrivete un programma che legga un numero intero non negativo e calcoli e stampi il suo fattoriale.
- b) Scrivete un programma che valuti il valore della costante matematica e usando la formula:

$$e = 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \dots$$

- c) Scrivete un programma che calcoli il valore di e^x usando la formula

$$e = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$

Prove sul campo

- 3.46 (*Calcolare la crescita della popolazione mondiale*) Usate il web per conoscere l'attuale popolazione mondiale e la stima della sua crescita annuale. Scrivete un'applicazione che legga questi valori, poi stampi la popolazione mondiale stimata dopo uno, due, tre, quattro e cinque anni.
- 3.47 (*Calcolare la frequenza cardiaca normale*) Mentre fate esercizi fisici, potete usare un monitor della frequenza cardiaca, per vedere se la vostra frequenza cardiaca stia entro un intervallo di sicurezza indicato dai vostri istruttori e medici. Secondo l'American Heart Association

(AHA), la formula per calcolare la *vostra massima frequenza cardiaca* in battiti al minuto è 220 meno la vostra età. La vostra *frequenza cardiaca normale* è un intervallo che è il 50–80% della vostra massima frequenza cardiaca. [Nota: queste formule sono stime fornite dall'AHA. La massima e la normale frequenza cardiaca possono variare a seconda della salute, del benessere e del sesso dell'individuo. Consultate sempre un medico o un professionista qualificato per l'assistenza sanitaria prima di cominciare o modificare il programma di un esercizio.] Create un programma che legga la data di nascita dell'utente e il giorno corrente (mese, giorno e anno). Il vostro programma deve calcolare e mostrare l'età della persona, la sua massima frequenza cardiaca e il suo intervallo di frequenza cardiaca normale.

- 3.48 (*Garantire la privacy con la crittografia*) La crescita esplosiva delle comunicazioni via Internet e la memorizzazione di dati sui computer connessi a Internet hanno aumentato di molto i timori riguardo alla privacy. Il campo della crittografia si interessa alla codifica dei dati per rendere difficile (e speriamo – con gli schemi più avanzati – impossibile) la loro lettura da parte di utenti non autorizzati. In questo esercizio vi occuperete di uno schema semplice per *criptare* e *decriptare* dati. Un'azienda che vuole inviare dati su Internet vi ha chiesto di scrivere un programma per criptarli, così da poterli trasmettere con maggiore sicurezza. Tutti i dati sono trasmessi come numeri interi di quattro cifre. La vostra applicazione deve leggere un numero intero di quattro cifre inserito dall'utente e *criptarlo* come segue: sostituire ogni cifra con il risultato ottenuto aggiungendo 7 alla cifra e calcolando il resto dopo aver diviso il nuovo valore per 10. Poi scambiate la prima cifra con la terza e quindi la seconda con la quarta, per poi stampare il numero intero criptato. Scrivete un'applicazione separata che inserisca un numero intero criptato di quattro cifre e lo *decripti* (invertendo lo schema di criptazione) per ricostruire il numero originario. [*Progetto di approfondimento opzionale*: Nelle applicazioni a livello industriale, vorrete usare tecniche di crittografia più sofisticate rispetto a quelle presentate in questo esercizio. Fate una ricerca bibliografica sulla “crittografia a chiave pubblica” in generale e sullo schema specifico a chiave pubblica PGP (*Pretty Good Privacy*). Potreste anche effettuare una ricerca sullo schema RSA, che è ampiamente usato nelle applicazioni a livello industriale.]



OBIETTIVI

- Conoscere gli aspetti essenziali dell'iterazione controllata da contatore.
- Usare le istruzioni di iterazione `for` e `do...while` per eseguire ripetutamente delle istruzioni.
- Comprendere la selezione multipla con l'istruzione di selezione `switch`.
- Usare le istruzioni `break` e `continue` per alterare il flusso di controllo.
- Usare gli operatori logici per formare espressioni condizionali complesse nelle istruzioni di controllo.
- Evitare le conseguenze derivanti dalla confusione degli operatori di uguaglianza e di assegnazione.

4.1 Introduzione

Adesso dovreste essere a vostro agio nello scrivere programmi in C semplici e completi. In questo capitolo considereremo con maggiore dettaglio l'iterazione e presenteremo le ulteriori istruzioni di controllo dell'iterazione, ossia `for` e `do...while`. Introdurremo l'istruzione di selezione multipla `switch`. Esamineremo l'istruzione `break` per uscire immediatamente da certe istruzioni di controllo e l'istruzione `continue` per saltare il resto del corpo di un'istruzione di iterazione e procedere con la successiva iterazione del ciclo. Il capitolo esaminerà gli operatori logici usati per combinare delle condizioni e riepilogherà i principi della programmazione strutturata presentati nel corso di questo capitolo e nel capitolo precedente.

4.2 Aspetti essenziali dell'iterazione

La maggior parte dei programmi si basa sull'iterazione, ovvero su cicli. Un ciclo è un gruppo di istruzioni che il computer esegue ripetutamente finché una qualche condizione di continuazione del ciclo rimane vera. Abbiamo esaminato due modalità di iterazione:

1. Iterazione controllata da contatore
2. Iterazione controllata da sentinella

L'iterazione controllata da contatore è talvolta chiamata *iterazione definita*, perché sappiamo *in anticipo* esattamente quante volte il ciclo sarà eseguito. L'iterazione controllata da sentinella è talvolta chiamata *iterazione indefinita* perché non si sa in anticipo quante volte sarà eseguito il ciclo.

Nell'iterazione controllata da contatore viene usata una **variabile di controllo** per contare il numero delle iterazioni. La variabile di controllo è incrementata (di solito di 1) ogni volta che viene eseguito il gruppo delle istruzioni. Quando il valore della variabile di controllo indica che è stato eseguito il numero corretto di iterazioni, il ciclo termina e l'esecuzione continua con l'istruzione dopo l'istruzione di iterazione.

I valori sentinella sono usati per controllare l'iterazione quando:

1. non si sa in anticipo il numero preciso di iterazioni e
2. il ciclo comprende istruzioni che leggono dati ogni volta che è eseguito il ciclo.

Il valore sentinella indica la “fine dei dati”. La sentinella è inserita dopo che tutti i dati regolari sono stati forniti al programma. Le sentinelle devono essere distinte dai dati regolari.

4.3 Iterazione controllata da contatore

L'iterazione controllata da contatore richiede:

1. Il nome di una variabile di controllo (o contatore del ciclo).
2. Il **valore iniziale** della variabile di controllo.
3. L'**incremento** (o il **decremento**) con cui la variabile di controllo è modificata ogni volta nel corso del ciclo.
4. La condizione che verifica il **valore finale** della variabile di controllo (cioè se il ciclo deve continuare).

Si consideri il semplice programma mostrato nella Figura 4.1, che stampa i numeri da 1 a 10. La definizione

```
unsigned int counter = 1; // inizializzazione
```

dà il nome alla variabile di controllo (contatore), la definisce come un numero intero, le riserva spazio nella memoria e imposta il suo valore iniziale a 1.

```

1 // Fig. 4.1: fig04_01.c
2 // Iterazione controllata da contatore.
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     unsigned int counter = 1; // inizializzazione
8
9     while ( counter <= 10 ) { // condizione di iterazione
10         printf ( "%u\n", counter );
11         ++counter; // incremento
12     }
13 }
```

```
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10
```

Figura 4.1 Iterazione controllata da contatore.

La definizione e l'inizializzazione del contatore si possono scrivere anche come

```
unsigned int counter;  
counter = 1;
```

La definizione *non* è un'istruzione eseguibile, mentre lo è l'assegnazione. Useremo entrambi i metodi di impostazione dei valori delle variabili.

L'istruzione

```
++counter; // incremento
```

incrementa di 1 il contatore del ciclo ogni volta che il ciclo è eseguito. La condizione di continuazione del ciclo nell'istruzione `while` verifica se il valore della variabile di controllo è minore o uguale a 10 (l'ultimo valore per il quale la condizione è vera). Il corpo di questo `while` è eseguito anche quando la variabile di controllo ha valore 10. Il ciclo termina quando la variabile di controllo *superà* il valore 10 (cioè il contatore diventa 11).

Potete rendere il programma nella Figura 4.1 più conciso inizializzando `counter` a 0 e sostituendo l'istruzione `while` con

```
while (++counter <= 10) {  
    printf("%u\n", counter);  
}
```

Questo codice risparmia un'istruzione, perché l'incremento è fatto direttamente nella condizione `while` prima che la condizione sia verificata. Codificare in un modo così conciso richiede molta pratica. Alcuni programmati pensano che questo renda il codice troppo criptico e soggetto a errori.



Errore comune di programmazione 4.1

I valori in virgola mobile possono essere approssimati, così il controllo con contatore dei cicli con variabili in virgola mobile può portare a valori del contatore e a test di chiusura imprecisi.



Prevenzione di errori 4.1

Controllate i cicli con contatore con valori interi.



Buona pratica di programmazione 4.1

Troppi livelli di annidamento possono rendere un programma difficile da comprendere. Di regola, cercate di evitare l'uso di più di tre livelli di annidamento.



Buona pratica di programmazione 4.2

La spaziatura verticale prima e dopo le istruzioni di controllo e l'indentazione dei corpi delle istruzioni di controllo rispetto alle intestazioni di queste ultime conferiscono ai programmi un'apparenza bidimensionale che ne migliora moltissimo la leggibilità.

4.4 Istruzione di iterazione for

L'istruzione di iterazione for gestisce tutti i dettagli dell'iterazione controllata da contatore. Per illustrare le sue potenzialità, riscriviamo il programma della Figura 4.1. Il risultato è mostrato nella Figura 4.2. Il programma opera come segue. Quando l'istruzione for inizia l'esecuzione, la variabile di controllo counter è inizializzata a 1. Quindi viene controllata la condizione di continuazione del ciclo `counter <= 10`. Poiché il valore iniziale di counter è 1, la condizione è soddisfatta, così l'istruzione `printf` (riga 10) stampa il valore di counter, ossia 1. La variabile di controllo counter è poi incrementata con l'espressione `++counter` e il ciclo ricomincia con il test di continuazione del ciclo. Poiché la variabile di controllo è ora uguale a 2, il valore finale non viene superato, così il programma esegue di nuovo l'istruzione `printf`. Questo processo continua finché la variabile di controllo counter non è incrementata al suo valore finale di 11. Ciò fa sì che il test di continuazione del ciclo fallisca e l'iterazione termini. Il programma continua eseguendo la prima istruzione dopo l'istruzione for (in questo caso, il programma semplicemente finisce).

```

1 // Fig. 4.2: fig04_02.c
2 // Iterazione controllata da contatore con l'istruzione for.
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     // inizializzazione, condizione dell'iterazione e incremento
8     // sono tutti inclusi nell'intestazione dell'istruzione for.
9     for (unsigned int counter = 1; counter <= 10; ++counter) {
10         printf("%u\n", counter);
11     }
12 }
```

Figura 4.2 Iterazione controllata da contatore con l'istruzione for.

Componenti dell'intestazione dell'istruzione for

La Figura 4.3 esamina in maggiore dettaglio l'istruzione for della Figura 4.2. Si noti che l'istruzione for “fa tutto”: specifica ognuno degli elementi necessari per l'iterazione controllata da contatore con una variabile di controllo. Se vi è più di un'istruzione nel corpo del for, sono necessarie le parentesi graffe per definire il corpo del ciclo (come abbiamo discusso nel Paragrafo 3.6, dovreste sempre inserire il corpo di un'istruzione di controllo tra parentesi graffe, anche se contiene un'unica istruzione).



Figura 4.3 Componenti dell'intestazione dell'istruzione for.

Le variabili di controllo definite in un'intestazione del for esistono solo fino al termine del ciclo
Quando definite la variabile di controllo nell'intestazione del for prima del primo punto e virgola (;), come nella riga 9 della Figura 4.2:

```
for (unsigned int counter = 1; counter <= 10; ++counter) {
```

la variabile di controllo esiste solo fino al termine del ciclo.



Errore comune di programmazione 4.2

Per una variabile di controllo definita nell'intestazione di un'istruzione for, il tentativo di accesso alla variabile di controllo dopo la parentesi graffa destra di chiusura () dell'istruzione for è un errore di compilazione.

Errori di tipo off-by-one

Notate che la Figura 4.2 usa la condizione di continuazione del ciclo `counter <= 10`. Se per sbaglio scriveste `counter < 10`, il ciclo sarebbe eseguito solo 9 volte. Questo è un comune errore logico chiamato **errore di tipo off-by-one** (letteralmente “sfasamento di uno”).



Prevenzione di errori 4.2

L'uso del valore finale nella condizione di un'istruzione while o di un'istruzione for assieme all'operatore relazionale `<=` può contribuire a evitare gli errori di tipo off-by-one. Per un ciclo usato per stampare i valori da 1 a 10, ad esempio, la condizione di continuazione del ciclo deve essere `counter <= 10` invece che `counter < 11` o `counter < 10`.

Formato generale di un'istruzione for

Il formato generale dell'istruzione for è

```
for (inizializzazione; condizione; incremento) {
    istruzione
}
```

dove l'espressione *inizializzazione* inizializza la variabile di controllo del ciclo (e potrebbe definirla, come abbiamo fatto nella Figura 4.2), l'espressione *condizione* è la condizione di continuazione del ciclo e l'espressione *incremento* incrementa la variabile di controllo.

Sequenze di espressioni separate da virgole

Spesso, l'espressione *inizializzazione* e l'espressione *incremento* sono sequenze di espressioni separate da virgole. Le virgole, come sono usate qui, sono in realtà operatori virgola che garantiscono che le sequenze di espressioni vengano calcolate da sinistra a destra. Il valore e il tipo di una sequenza di espressioni separate da virgole sono il valore e il tipo dell'espressione più a destra nella sequenza. L'operatore virgola è molto spesso usato nell'istruzione **for**, principalmente per permettere l'uso dell'inizializzazione multipla e/o delle espressioni di incremento multiplo. Ad esempio, in una singola istruzione **for** ci possono essere due variabili di controllo da inizializzare e incrementare.

Osservazione di ingegneria del software 4.1

Nelle sezioni di inizializzazione e di incremento di un'istruzione for mettete soltanto espressioni che riguardano le variabili di controllo. Le manipolazioni di altre variabili devono comparire o prima del ciclo (se vengono eseguite soltanto una volta, come le istruzioni di inizializzazione) o nel corpo del ciclo (se vengono eseguite una volta per iterazione, come le istruzioni di incremento o di decremento).

Le espressioni nell'intestazione dell'istruzione **for** sono opzionali

Le tre espressioni nell'istruzione **for** sono *opzionali*. Se viene omessa l'espressione *condizione*, il C considera che la condizione di continuazione del ciclo sia *vera*, generando così un *ciclo infinito*. Potete omettere l'espressione *inizializzazione* se la variabile di controllo è inizializzata prima dell'istruzione **for**. L'espressione *incremento* può essere omessa se l'incremento è calcolato da istruzioni nel corpo dell'istruzione **for** o se non è necessario alcun incremento.

L'espressione di incremento agisce come un'istruzione separata

L'espressione *incremento* nell'istruzione **for** agisce come un'istruzione separata in C alla fine del corpo del **for**. Quindi, le espressioni

```
counter = counter + 1
counter += 1
++counter
counter++
```

sono tutte equivalenti quando sono poste nella sezione di incremento dell'istruzione **for**. Alcuni programmati in C preferiscono la forma **counter++** perché l'incremento avviene *dopo* che il corpo del ciclo è eseguito e la forma di postincremento sembra più naturale. Poiché la variabile da preincrementare o postincrementare qui *non* compare in un'espressione più ampia, entrambe le forme di incremento hanno lo *stesso* effetto. Nell'istruzione **for** ci vuole due volte il punto e virgola.

Prevenzione di errori 4.3

*I cicli infiniti si verificano quando la condizione di continuazione del ciclo in un'istruzione di iterazione non diventa mai falsa. Per evitare cicli infiniti bisogna accertarsi che non ci sia un punto e virgola immediatamente dopo l'intestazione di un'istruzione **while**. In un ciclo controllato da contatore bisogna accertarsi che la variabile di controllo sia incrementata (o decrementata) nel ciclo. In un ciclo controllato da sentinella bisogna accertarsi che il valore sentinella alla fine sia inserito.*



Errore comune di programmazione 4.3

Usare virgole invece di punti e virgola in un'intestazione for è un errore di sintassi.

4.5 Istruzione for: note e osservazioni

1. L'inizializzazione, la condizione di continuazione del ciclo e l'incremento possono contenere espressioni aritmetiche. Ad esempio, se $x = 2$ e $y = 10$, l'istruzione

```
for (j = x; j <= 4 * x * y; j += y / x)
```

è equivalente all'istruzione

```
for (j = 2; j <= 80; j += 5)
```

2. L'incremento può essere negativo (nel qual caso, è in realtà un *decremento* e il ciclo conta in effetti *all'indietro*).
3. Se la condizione di continuazione del ciclo è inizialmente *falsa*, il corpo del ciclo non viene eseguito. Invece, l'esecuzione procede con l'istruzione che segue l'istruzione for.
4. La variabile di controllo è frequentemente stampata o usata nei calcoli all'interno del corpo di un ciclo, ma questo non è necessario. È comune usare la variabile di controllo per controllare l'iterazione, senza menzionarla mai nel corpo di un ciclo.
5. L'istruzione for è rappresentata con un diagramma di flusso allo stesso modo di un'istruzione while. Ad esempio, la Figura 4.4 mostra il diagramma di flusso per l'istruzione for

```
for (unsigned int counter = 1; counter <= 10; ++counter) {
    printf("%u", counter);
}
```

Questo diagramma di flusso rende evidente che l'inizializzazione avviene solo una volta e che l'incremento è effettuato *dopo* ogni esecuzione dell'istruzione del corpo.

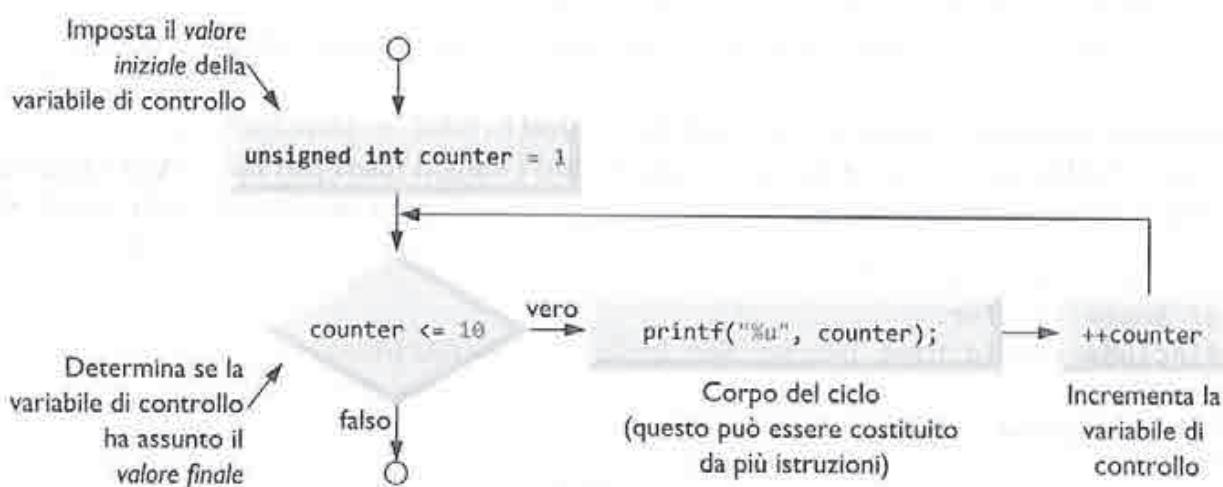


Figura 4.4 Diagramma di flusso di una tipica istruzione di iterazione for.



Prevenzione di errori 4.4

Sebbene il valore della variabile di controllo si possa modificare nel corpo di un ciclo `for`, questo può portare a errori subdoli. È meglio non modificarlo.

4.6 Esempi di uso dell'istruzione `for`

I seguenti esempi mostrano alcuni metodi con cui far variare la variabile di controllo in un'istruzione `for`.

1. Far variare la variabile di controllo da 1 a 100 per incrementi di 1.

```
for (unsigned int i = 1; i <= 100; ++i)
```

2. Far variare la variabile di controllo da 100 a 1 per incrementi di -1 (*decrementi* di 1).

```
for (unsigned int i = 100; i >= 1; --i)
```

3. Far variare la variabile di controllo da 7 a 77 per incrementi di 7.

```
for (unsigned int i = 7; i <= 77; i += 7)
```

4. Far variare la variabile di controllo da 20 a 2 per incrementi di -2.

```
for (unsigned int i = 20; i >= 2; i -= 2)
```

5. Far variare la variabile di controllo secondo la seguente sequenza di valori: 2, 5, 8, 11, 14, 17.

```
for (unsigned int j = 2; j <= 17; j += 3)
```

6. Far variare la variabile di controllo secondo la seguente sequenza di valori: 44, 33, 22, 11, 0.

```
for (unsigned int j = 44; j >= 0; j -= 11)
```



Buona pratica di programmazione 4.3

Se possibile, limitate le intestazioni delle istruzioni di controllo a una singola riga.

Applicazione: sommare i numeri interi pari da 2 a 100

La Figura 4.5 utilizza l'istruzione `for` per sommare tutti i numeri interi pari da 2 a 100. Ogni iterazione del ciclo (righe 9–11) aggiunge il valore della variabile di controllo `number` alla variabile `sum`.

```

1 // Fig. 4.5: fig04_05.c
2 // Somma con for.
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     unsigned int sum = 0; // inizializza sum
8 }
```

```

9  for (unsigned int number = 2; number <= 100; number += 2) {
10     sum += number; // aggiungi number a sum
11 }
12
13 printf("Sum is %u\n", sum);
14 }
```

Sum is 2550

Figura 4.5 Calcolo di una somma con for.

Applicazione: calcolo dell'interesse composto

Il prossimo esempio calcola l'interesse composto con l'uso dell'istruzione for. Si consideri la seguente enunciazione del problema:

Una persona investe \$ 1000,00 in un conto corrente che frutta il 5% di interesse. Supponendo che l'intero interesse resti depositato nel conto, calcolate e stampate la quantità di denaro nel conto alla fine di ogni anno per 10 anni. Usate la seguente formula per determinare queste quantità:

$$a = p(I + r)^n$$

dove

p è la quantità iniziale di denaro investita (cioè il capitale)

r è il tasso annuale di interesse (ad esempio, .05 per 5%)

n è il numero degli anni

a è la quantità di denaro in deposito alla fine dell'anno n.

Questo problema richiede un ciclo che esegua il calcolo indicato per ognuno dei 10 anni in cui il denaro rimane in deposito. La soluzione è mostrata nella Figura 4.6.

```

1 // Fig. 4.6: fig04_06.c
2 // Calcolo dell'interesse composto.
3 #include <stdio.h>
4 #include <math.h>
5
6 int main(void)
7 {
8     double principal = 1000.0; // capitale iniziale
9     double rate = .05; // tasso di interesse annuale
10
11    // stampa le intestazioni delle colonne della tabella
12    printf("%4s%21s\n", "Year", "Amount on deposit");
13
14    // calcola la quantità in deposito per ognuno dei dieci anni
15    for (unsigned int year = 1; year <= 10; ++year) {
16
17        // calcola la nuova quantità per un anno specifico
18        double amount = principal * pow(1.0 + rate, year);
19    }
```

```

20     // stampa una riga della tabella
21     printf("%4u%21.2f\n", year, amount);
22 }
23 }
```

Year	Amount on deposit
1	1050.00
2	1102.50
3	1157.63
4	1215.51
5	1276.28
6	1340.10
7	1407.10
8	1477.46
9	1551.33
10	1628.89

Figura 4.6 Calcolo dell'interesse composto.

L'istruzione `for` esegue il corpo del ciclo 10 volte, facendo variare la variabile di controllo da 1 a 10 per incrementi di 1. Benché il C *non* includa un operatore esponenziale, possiamo usare a questo scopo la funzione `pow` (riga 18) della Libreria Standard. La funzione `pow(x, y)` calcola il valore di `x` elevato alla potenza `y`. Essa prende due argomenti di tipo `double` e restituisce un valore `double`.

Osservazione di Ingegneria del software 4.2



Il tipo `double` è un numero in virgola mobile come `float`, ma normalmente una variabile di tipo `double` può memorizzare un valore più elevato con una precisione maggiore di `float`. Le variabili di tipo `double` occupano più memoria di quelle di tipo `float`. Per tutte le applicazioni eccetto quelle con uso intensivo di memoria, i programmatori professionisti generalmente preferiscono `double` a `float`.

L'intestazione `<math.h>` (riga 4) va inclusa ogni volta che si usa una funzione della libreria `math` come `pow`. Questo programma funzionerebbe male senza l'inclusione di `math.h`, poiché il linker non sarebbe in grado di trovare la funzione `pow`.¹ La funzione `pow` richiede due argomenti `double`, ma la variabile `year` è un intero. Il file di intestazione `math.h` contiene informazioni che dicono al compilatore di convertire il valore di `year` in una rappresentazione temporanea `double` prima di chiamare la funzione. Queste informazioni sono contenute nel prototipo della funzione `pow`. I prototipi di funzione sono spiegati nel Capitolo 5, dove viene fornita anche una descrizione della funzione `pow` e di altre funzioni della libreria `math`.

Una precauzione riguardo all'uso dei tipi `float` e `double` per quantità monetarie

Si noti che abbiamo definito di tipo `double` le variabili `amount`, `principal` e `rate`. L'abbiamo fatto per una ragione di semplicità, poiché stiamo trattando parti frazionarie di dollari.

¹ Con diversi compilatori Linux/UNIX C dovete includere l'opzione `-lm` (es. `gcc -lm fig04_06.c`) quando compilate il programma della Figura 4.6. Questa opzione collega la libreria `math` al programma.



Prevenzione di errori 4.5

Non usate variabili di tipo float o double per eseguire calcoli monetari. L'imprecisione dei numeri in virgola mobile può causare errori che producono valori monetari scorretti. [Nell'Esercizio 4.23 esploreremo l'uso di numeri interi di centesimi di dollaro per eseguire calcoli monetari precisi.]

Ecco una spiegazione semplice di cosa può andare storto quando si usano i tipi `float` o `double` per rappresentare quantità monetarie. Due quantità di dollari di tipo `float` memorizzati nella macchina potrebbero essere 14.234 (che con `%.2f` viene stampato come 14.23) e 18.673 (che con `%.2f` viene stampato come 18.67). Quando queste quantità vengono addizionate, producono la somma 32.907, che con `%.2f` viene stampata come 32.91. La vostra stampa potrebbe così presentarsi come

$$\begin{array}{r} 14.23 \\ + 18.67 \\ \hline 32.91 \end{array}$$

Chiaramente la somma dei singoli numeri così come stampati deve essere 32.90! Siete stati avvisati!

Formattare output numerici

Nel programma è usato lo specificatore di conversione `%21.2f` per stampare il valore della variabile `amount`. Il 21 nello specificatore di conversione indica la *larghezza del campo* con cui il valore sarà stampato. Una larghezza di campo di 21 specifica che il valore stampato apparirà in 21 posizioni di stampa. Il 2 specifica la *precisione* (cioè il numero di posizioni decimali). Se il numero di caratteri stampati è minore della larghezza del campo, il valore sarà automaticamente *allineato a destra* con spazi iniziali nel campo. Questo è particolarmente utile per allineare con la stessa precisione i valori in virgola mobile (in modo che i loro punti decimali si allineino verticalmente). Per *allineare a sinistra* un valore in un campo, mettete un `-` (segno meno) tra il `%` e la larghezza del campo. Il segno meno si può anche usare per allineare a sinistra numeri interi (come in `%-6d`) e stringhe di caratteri (come in `%-8s`). Esamineremo in dettaglio le potenti capacità di formattazione di `printf` e `scanf` nel Capitolo 9.

4.7 Istruzione di selezione multipla switch

Nel Capitolo 3 abbiamo esaminato l'istruzione di selezione singola `if` e l'istruzione di selezione doppia `if...else`. A volte, un algoritmo conterrà una *serie di decisioni* in cui una variabile o un'espressione viene testata separatamente per ognuno dei valori interi costanti che può assumere e per i quali vengono intraprese azioni differenti. Tale situazione è chiamata *selezione multipla*. Per trattare questo processo decisionale, il C fornisce l'istruzione di selezione multipla `switch`, che consiste in una serie di etichette `case`, un cosiddetto caso `default` opzionale e istruzioni da eseguire per ognuno dei `case`. La Figura 4.7 usa l'istruzione `switch` per contare il numero di volte che ogni singolo voto a lettera² è stato ottenuto dagli studenti in un esame.

² I voti a lettera, tipici delle scuole statunitensi, sono espressi con le lettere dell'alfabeto "a", "b", "c", "d" e "f". (N. d. T.)

```
1 // Fig. 4.7: fig04_07.c
2 // Conteggio dei voti a lettera con switch.
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     unsigned int aCount = 0;
8     unsigned int bCount = 0;
9     unsigned int cCount = 0;
10    unsigned int dCount = 0;
11    unsigned int fCount = 0;
12
13    puts("Enter the letter grades.");
14    puts("Enter the EOF character to end input.");
15    int grade; // un voto
16
17    // ripeti finché l'utente non immette la sequenza di end-of-file
18    while ((grade = getchar()) != EOF) {
19
20        // determina quale voto e' stato inserito
21        switch (grade) { // switch annidato nel while
22
23            case 'A': // il voto e' la lettera maiuscola A
24            case 'a': // o la lettera minuscola a
25                ++aCount;
26                break; // necessario per uscire dallo switch
27
28            case 'B': // il voto e' la lettera maiuscola B
29            case 'b': // o la lettera minuscola b
30                ++bCount;
31                break;
32
33            case 'C': // il voto e' la lettera maiuscola C
34            case 'c': // o la lettera minuscola c
35                ++cCount;
36                break;
37
38            case 'D': // il voto e' la lettera maiuscola D
39            case 'd': // o la lettera minuscola d
40                ++dCount;
41                break;
42
43            case 'F': // il voto e' la lettera maiuscola F
44            case 'f': // o la lettera minuscola f
45                ++fCount;
46                break;
47
48            case '\n': // ignora i newline,
49            case '\t': // le tabulazioni
50            case ' ': // e gli spazi in input
51                break;
```

```

52     default: // cattura tutti gli altri caratteri
53         printf("%s", "Incorrect letter grade entered.");
54         puts(" Enter a new grade.");
55         break; // opzionale; uscirà comunque dallo switch
56     }
57 } // fine di while
58
59 // stampa il riepilogo dei risultati
60 puts("\nTotals for each letter grade are:");
61 printf("A: %u\n", aCount);
62 printf("B: %u\n", bCount);
63 printf("C: %u\n", cCount);
64 printf("D: %u\n", dCount);
65 printf("F: %u\n", fCount);
66
67 }

```

```

Enter the letter grades.
Enter the EOF character to end input.
a
b
c
C
A
d
f
C
E
Incorrect letter grade entered. Enter a new grade.
D
A
b
^Z ----- Non tutti i sistemi mostrano una rappresentazione del carattere EOF

Totals for each letter grade are:
A: 3
B: 2
C: 3
D: 2
F: 1

```

Figura 4.7 Conteggio di voti a lettera con switch.

Input di caratteri

Nel programma l'utente inserisce i voti a lettera per una classe. Nell'intestazione del `while` (riga 18),

```
while ((grade = getchar()) != EOF)
```

viene eseguita per prima l'assegnazione fra parentesi (`grade = getchar()`). La funzione `getchar` (da `<stdio.h>`) legge un carattere dalla tastiera e lo memorizza nella variabile intera `grade`. I caratteri sono normalmente memorizzati in variabili di tipo `char`. Tuttavia, una caratteri-

stica importante del C è che i caratteri possono essere memorizzati in qualsiasi tipo di dato intero, perché di solito sono rappresentati nel computer come interi di un solo byte. La funzione `getchar` restituisce come `int` il carattere immesso dall'utente. Possiamo trattare un carattere o come un intero o come un carattere, a seconda del suo uso. Ad esempio, l'istruzione

```
printf("The character (%c) has the value %d.\n", 'a', 'a');
```

usa gli specificatori di conversione `%c` e `%d` per stampare, rispettivamente, il carattere 'a' e il suo valore intero. Il risultato è

The character (a) has the value 97.

ASCII

Il numero intero 97 è la rappresentazione numerica del carattere nel computer. Molti computer oggi usano il set di caratteri ASCII (American Standard Code for Information Interchange) nel quale il numero 97 rappresenta la lettera minuscola 'a'. Una lista dei caratteri ASCII e dei loro valori decimali è presentata nell'Appendice B. I caratteri si possono leggere con `scanf` usando lo specificatore di conversione `%c`.

Le assegnazioni hanno valori

L'intera operazione di assegnazione ha in realtà un valore. Questo valore è assegnato alla variabile sul lato sinistro dell'operatore `=`. Il valore dell'espressione di assegnazione `grade = getchar()` è il carattere restituito da `getchar` e assegnato alla variabile `grade`.

Il fatto che le assegnazioni abbiano valori può essere utile per assegnare a diverse variabili lo stesso valore. Ad esempio,

```
a = b = c = 0;
```

esegue dapprima l'assegnazione `c = 0` (poiché l'operatore `=` è associativo da destra a sinistra). Alla variabile `b` è allora assegnato il valore dell'assegnazione `c = 0` (che è 0). Quindi, alla variabile `a` è assegnato il valore dell'assegnazione `b = (c = 0)` (che è pure 0). Nel programma il valore dell'assegnazione `grade = getchar()` viene confrontato con il valore di EOF (un simbolo che indica la fine di un file e il cui acronimo sta per "end of file"). Usiamo EOF (che normalmente ha il valore -1) come valore sentinella. L'utente digita una combinazione di tasti dipendente dal sistema per indicare "end of file", ossia "non ho più dati da inserire". EOF è una costante intera simbolica definita nell'intestazione `<stdio.h>` (vedremo nel Capitolo 6 come sono definite le costanti simboliche). Se il valore assegnato a `grade` è uguale a EOF, il programma termina. Abbiamo scelto di rappresentare in questo programma i caratteri con il tipo `int`, perché EOF ha un valore intero (come si è detto, normalmente -1).

Portabilità 4.1

 La combinazione di tasti per inserire un EOF (end of file) dipende dal sistema.

Portabilità 4.2

 Effettuare il test sulla costante simbolica EOF (anziché -1) rende i programmi più portabili. Il C standard stabilisce che EOF è un valore intero negativo (ma non necessariamente -1). Pertanto EOF potrebbe avere valori differenti su sistemi differenti.

Inserimento dell'indicatore EOF

Sui sistemi Linux/UNIX/Mac OS X, l'indicatore EOF è inserito scrivendo

<Ctrl> d

su un riga separata. Questa notazione <Ctrl> d significa premere simultaneamente il tasto *Ctrl* e il tasto *d*. Su altri sistemi, come Windows di Microsoft, l'indicatore EOF può essere inserito scrivendo

<Ctrl> z

Anche su Windows dovete premere *Invio*.

L'utente inserisce i voti attraverso la tastiera; quando preme il tasto *Invio*, i caratteri sono letti dalla funzione `getchar` un carattere alla volta. Se il carattere inserito non è uguale a EOF, si entra nel corpo dell'istruzione `switch` (riga 21-57).

Dettagli dell'istruzione switch

La parola chiave `switch` è seguita dal nome della variabile `grade` tra parentesi. Questa è chiamata **espressione di controllo**. Il valore di questa espressione è confrontato con ognuna delle etichette `case`. Supponete che l'utente abbia inserito la lettera `C` come valore per `grade`. Il carattere `C` è automaticamente confrontato con ogni `case` nello `switch`. Se il confronto ha successo (`case 'C':`), vengono eseguite le istruzioni per quel `case`. Nel caso della lettera `C`, `cCount` è incrementato di 1 (riga 35) e si esce immediatamente dall'istruzione `switch` con l'istruzione `break`.

L'istruzione `break` fa sì che il controllo del programma continui con la prima istruzione dopo l'istruzione `switch`. Viene usata l'istruzione `break` perché i vari `case` in un'istruzione `switch` verrebbero altrimenti eseguiti tutti insieme. Se non viene usato `break` da nessuna parte in un'istruzione `switch`, ogni volta che si verificherà un confronto positivo nell'istruzione verranno eseguite le istruzioni per *tutti* i `case` rimanenti. (Questa caratteristica è usata raramente, sebbene sia perfetta per l'Esercizio di programmazione 4.38, la canzone ripetitiva *The Twelve Days of Christmas!*) Se non si verificano confronti positivi, viene eseguito il caso `default` e viene stampato un messaggio di errore.

Diagramma di flusso dell'istruzione switch

Ogni `case` può avere una o più azioni. L'istruzione `switch` è differente da tutte le altre istruzioni di controllo per il fatto che *non* sono necessarie le parentesi graffe attorno alle sequenze di azioni in un `case`. L'istruzione di selezione multipla generale `switch` (che usa un `break` in ogni `case`) è rappresentata dal diagramma di flusso della Figura 4.8. Il diagramma di flusso rende chiaro che ogni istruzione `break` alla fine di un `case` causa l'uscita immediata dall'istruzione `switch`.



Errore comune di programmazione 4.4

Dimenticare un'istruzione `break` quando è necessaria in un'istruzione `switch` è un errore logico.



Prevenzione di errori 4.6

Inserite un caso `default` nelle istruzioni `switch`. I valori non esplicitamente testati in uno `switch` sarebbero normalmente ignorati. Il caso `default` vi aiuta a evitare che ciò accada facendo focalizzare la vostra attenzione sulla necessità di processare condizioni eccezionali. Talvolta le elaborazioni di `default` non sono necessarie.



Buona pratica di programmazione 4.4

Benché le clausole `case` e la clausola del caso `default` in un'istruzione `switch` possano presentarsi in un ordine qualsiasi, è uso comune porre la clausola di `default` per ultima.



Buona pratica di programmazione 4.5

In un'istruzione `switch` nella quale la clausola di `default` è ultima, l'istruzione `break` finale non è necessaria. Potreste voler includere questo `break` per chiarezza e simmetria con gli altri `case`.

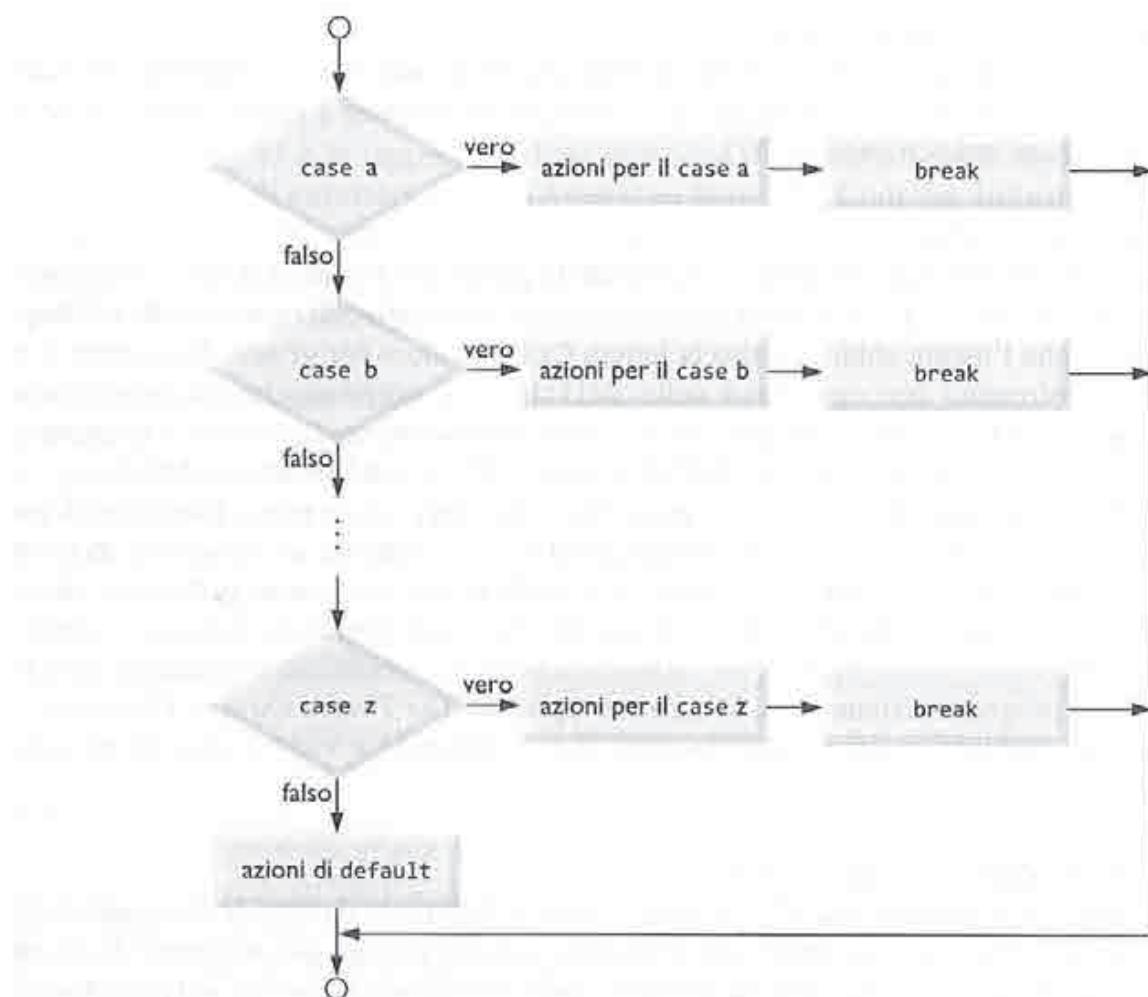


Figura 4.8 Istruzione di selezione multipla `switch` con i `break`.

Ignorare i caratteri di newline, tabulazione e spaziatura nell'input
Nell'istruzione `switch` della Figura 4.7 le righe

```

case '\n': // ignora i newline,
case '\t': // le tabulazioni
case ' ': // e gli spazi in input
break;
  
```

fanno sì che il programma salti i caratteri di newline, tabulazione e spazio. La lettura dei caratteri uno alla volta può causare alcuni problemi. Per far sì che un programma legga i caratteri dovrete inviarli al computer premendo *Invio*. Questo fa sì che venga inserito nell'input il carattere newline

dopo il carattere che desideriamo processare. Spesso, questo carattere newline deve essere opportunamente ignorato per far funzionare il programma in modo corretto. I case precedenti nella nostra istruzione switch impediscono che il messaggio di errore nel caso default sia stampato ogni volta che nell'input si incontra un newline, una tabulazione o uno spazio. Pertanto ciascun input causa due iterazioni del ciclo: la prima per il voto a lettera e la seconda per '\n'. Scrivere diverse etichette case insieme (come case 'D': case 'd': nella Figura 4.7) significa semplicemente che lo stesso insieme di azioni viene eseguito per l'uno o l'altro di questi case.



Prevenzione di errori 4.7

Ricordatevi di prevedere un'elaborazione specifica per il carattere newline (o altri caratteri di spaziatura) nell'input quando processate i caratteri uno alla volta.

Espressioni costanti intere

Quando usate l'istruzione switch, ricordate che ogni singolo case può testare solamente un'espressione costante intera, cioè qualsiasi combinazione di costanti di tipo carattere e di costanti intere il cui valore è un valore costante intero. Una costante di tipo carattere può essere rappresentata come un carattere specifico tra virgolette singole, come ad esempio 'A'. I caratteri devono essere racchiusi entro virgolette singole per essere riconosciuti come costanti di tipo carattere (i caratteri tra virgolette doppie sono riconosciuti come stringhe). Le costanti intere sono semplicemente valori interi. Nel nostro esempio abbiamo usato costanti di tipo carattere. Ricordate che i caratteri sono rappresentati come valori interi piccoli.

Note sui tipi interi

I linguaggi portabili come il C devono prevedere dimensioni flessibili per i tipi di dati. Applicazioni differenti possono necessitare di interi di dimensioni differenti. Il C fornisce diversi tipi di dati per rappresentare interi. Oltre a int e a char, il C fornisce i tipi short int (che si può abbreviare in short) e long int (che si può abbreviare in long), così come variazioni unsigned di tutti i tipi interi. Nel Paragrafo 5.14 vedremo che il C fornisce anche il tipo long long int. Il C standard specifica l'intervallo minimo di valori per ogni tipo di intero, ma l'intervallo reale può essere maggiore e dipende dall'implementazione. Per gli short int l'intervallo minimo va da -32767 a +32767. Per la maggior parte dei calcoli con interi, i long int sono sufficienti. L'intervallo minimo di valori per i long int va da -2147483647 a +2147483647. L'intervallo di valori per un int è maggiore o uguale a quello di uno short int e minore o uguale a quello di un long int. Su molte delle piattaforme odiene gli int e i long int rappresentano lo stesso intervallo di valori. Il tipo di dati signed char può essere utilizzato per rappresentare interi nell'intervallo da -127 a +127 o uno qualunque dei caratteri nell'insieme dei caratteri del computer. Si veda la sezione 5.2.4.2. del documento del C standard per l'elenco completo degli intervalli per i tipi interi signed e unsigned.

4.8 Istruzione di iterazione do...while

L'istruzione di iterazione do...while è simile all'istruzione while. Nell'istruzione while la condizione di continuazione del ciclo è verificata *all'inizio* del ciclo *prima* dell'esecuzione del corpo del ciclo. L'istruzione do...while verifica la condizione di continuazione del ciclo *dopo* l'esecuzione del corpo del ciclo. Pertanto, il corpo del ciclo sarà sempre eseguito *almeno una volta*. Quando un do...while termina, l'esecuzione prosegue con l'istruzione dopo la clausola while. L'istruzione do...while è scritta come segue:

```

do {
    istruzioni
} while (condizione); //qui e' richiesto il punto e virgola

```

La Figura 4.9 usa l'istruzione `do...while` per stampare i numeri da 1 a 10. Abbiamo deciso di preincrementare la variabile di controllo `counter` nel test di continuazione del ciclo (riga 11).

```

1 // Fig. 4.9: fig04_09.c
2 // Uso dell'istruzione di iterazione do...while.
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     unsigned int counter = 1; // inizializza il contatore
8
9     do {
10         printf("%u ", counter);
11     } while (++counter <= 10);
12 }

```

```

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

```

Figura 4.9 Uso dell'istruzione di iterazione `do...while`.

Diagramma di flusso dell'istruzione `do...while`

La Figura 4.10 mostra il diagramma di flusso dell'istruzione `do...while`, in cui risulta chiaro che la condizione di continuazione del ciclo non viene testata finché l'azione non è eseguita *almeno una volta*.

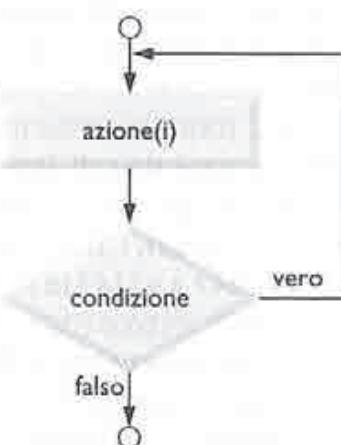


Figura 4.10 Diagramma di flusso dell'istruzione di iterazione `do...while`.

4.9 Istruzioni `break` e `continue`

Le istruzioni `break` e `continue` si usano per alterare il flusso di controllo. Il Paragrafo 4.7 ha mostrato come utilizzare l'istruzione `break` per terminare l'esecuzione di un'istruzione `switch`. Questo paragrafo esamina come usare `break` in un'istruzione di iterazione.

Istruzione `break`

L'istruzione `break`, quando è eseguita in un'istruzione `while`, `for`, `do...while` o `switch`, provoca un'*uscita immediata* da quell'istruzione. L'esecuzione del programma continua con l'istruzione

successiva dopo quel `while`, `for`, `do...while` o `switch`. L'uso di `break` serve normalmente per uscire subito da un ciclo o per saltare il resto di un'istruzione `switch` (come nella Figura 4.7). La Figura 4.11 mostra l'istruzione `break` (riga 14) in un'istruzione di iterazione `for`. Quando l'istruzione `if` scopre che `x` vale 5, viene eseguito il `break`. Questo termina l'istruzione `for` e il programma continua con il `printf` dopo il `for`. Il ciclo viene eseguito completamente solo quattro volte. Abbiamo dichiarato `x` prima del ciclo in questo esempio, cosicché potremmo usare il suo valore finale dopo la fine del ciclo. Ricordatevi che quando dichiarate la variabile di controllo in un'espressione di *inizializzazione* di un ciclo `for`, la variabile non esiste più dopo la fine del ciclo.

```

1 // Fig. 4.11: fig04_11.c
2 // Uso dell'istruzione break in un'istruzione for.
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     unsigned int x; // dichiarato qui per un utilizzo dopo il ciclo
8
9     // ripeti 10 volte
10    for (x = 1; x <= 10; ++x) {
11
12        // se x e' 5, termina il ciclo
13        if (x == 5) {
14            break; // interrompi il ciclo solo se x e' 5
15        }
16
17        printf("%u ", x);
18    }
19
20    printf("\nBroke out of loop at x == %u\n", x);
21 }
```

```

1 2 3 4
Broke out of loop at x == 5

```

Figura 4.11 Uso dell'istruzione `break` in un'istruzione `for`.

Istruzione `continue`

L'istruzione `continue`, quando è eseguita in un'istruzione `while`, `for` o `do...while`, salta le istruzioni rimanenti nel corpo di quell'istruzione di controllo e fa eseguire la successiva iterazione del ciclo. Nelle istruzioni `while` e `do...while` il test di continuazione del ciclo è valutato immediatamente *dopo* l'esecuzione dell'istruzione `continue`. Nell'istruzione `for` viene eseguita l'espressione di incremento, quindi viene valutato il test di continuazione del ciclo. La Figura 4.12 usa `continue` (riga 12) nell'istruzione `for` per saltare l'istruzione `printf` e iniziare l'iterazione successiva del ciclo.

```

1 // Fig. 4.12: fig04_12.c
2 // Uso dell'istruzione continue in un'istruzione for.
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
```

```

7   // ripeti 10 volte
8   for (unsigned int x = 1; x <= 10; ++x) {
9
10    // se x e' 5, continua con la successiva iterazione del ciclo
11    if (x == 5) {
12      continue; // salta il restante codice nel corpo del ciclo
13    }
14
15    printf("%u ", x );
16  }
17
18  puts("\nUsed continue to skip printing the value 5");
19 }
```

1 2 3 4 6 7 8 9 10

Used continue to skip printing the value 5

Figura 4.12 Uso dell'istruzione `continue` in un'istruzione `for`.



Osservazione di ingegneria del software 4.3

Alcuni programmatore*i* pensano che `break` e `continue` violino le norme di programmazione strutturata. Gli effetti di queste istruzioni si possono ottenere per mezzo delle tecniche di programmazione strutturata che presto apprenderemo. Questi programmatore*i*, pertanto, non usano `break` e `continue`.



Prestazioni 4.1

Le istruzioni `break` e `continue`, quando usate correttamente, sono eseguite più velocemente delle corrispondenti tecniche strutturate che presto apprenderemo.



Osservazione di ingegneria del software 4.4

Vi è un contrasto tra l'obiettivo di realizzare un'ingegneria del software di qualità e quello di realizzare un software con le migliori prestazioni. Spesso uno di questi obiettivi viene raggiunto a spese dell'altro. In tutte le situazioni che non richiedono prestazioni spinte, osservate le seguenti linee guida: primo, rendete il vostro codice semplice e corretto; poi rendetelo veloce e compatto, ma solo se necessario.

4.10 Operatori logici

Finora abbiamo studiato soltanto condizioni semplici, come `counter <= 10`, `total > 1000`, e `number != sentinelValue`. Abbiamo espresso queste condizioni in termini di *operatori relazionali* `>`, `<`, `>=` e `<=` e di *operatori di uguaglianza* `==` e `!=`. Ogni decisione verificava precisamente una sola condizione. Per verificare varie condizioni nel processo decisionale, dovevamo eseguire questi test in istruzioni separate o in istruzioni annidate `if` o `if...else`. Il C fornisce *operatori logici* che si possono usare per formare condizioni più complesse combinando condizioni semplici. Gli operatori logici sono `&&` (AND logico), `||` (OR logico) e `!` (NOT logico, chiamato anche negazione logica). Considereremo esempi di ognuno di questi operatori.

Operatore logico AND (&&)

Supponiamo di volerci assicurare che due condizioni siano *entrambe* vere prima di scegliere un certo percorso di esecuzione. In questo caso, possiamo usare l'operatore logico `&&` come segue:

```
if (gender == 1 && age >= 65) {
    ++seniorFemales;
}
```

Questa istruzione `if` contiene due condizioni *semplici*. La condizione `gender == 1` potrebbe essere valutata, ad esempio, per determinare se una persona è di sesso femminile. La condizione `age >= 65` è valutata per determinare se una persona è un cittadino anziano. Le due condizioni semplici sono valutate prima, perché `==` e `>=` hanno una precedenza più alta di `&&`. L'istruzione `if` quindi considera la condizione combinata `gender == 1 && age >= 65`, che è *vera* se e solo se *entrambe* le condizioni semplici sono *vere*. Infine, se questa condizione combinata è vera, allora il contatore `seniorFemales` è incrementato di 1. Se *una delle due o entrambe* le condizioni semplici sono *false*, allora il programma salta l'incremento e procede all'istruzione che segue l'`if`.

La Figura 4.13 riepiloga l'operatore `&&`. La tabella mostra tutte e quattro le possibili combinazioni dei valori zero (falso) e non zero (vero) per le espressioni costituenti `espressione1` ed `espressione2`. Tali tabelle sono spesso chiamate **tabelle di verità**. Il C assegna a tutte le espressioni che includono operatori relazionali, operatori di uguaglianza e/o operatori logici il valore 0 o 1. Benché il C assegna 1 a un valore vero, esso accetta come vero qualsiasi valore diverso da zero.

<code>espressione1</code>	<code>espressione2</code>	<code>espressione1 && espressione2</code>
0	0	0
0	nonzero	0
nonzero	0	0
nonzero	nonzero	1

Figura 4.13 Tabella di verità per l'operatore logico AND (`&&`).

Operatore logico OR (||)

Consideriamo adesso l'operatore logico `||` (OR logico). Supponiamo di volerci assicurare, a un certo punto di un programma, che di due condizioni *una o entrambe* siano *vere* prima di scegliere un certo percorso di esecuzione. In questo caso, usiamo l'operatore `||`, come nel seguente segmento di programma:

```
if (semesterAverage >= 90 || finalExam >= 90) {
    puts("Student grade is A");
}
```

Anche questa istruzione contiene due condizioni semplici. La condizione `semesterAverage >= 90` è calcolata per determinare se lo studente merita una "A" come voto del corso per un rendimento eccezionale in tutto il semestre. La condizione `finalExam >= 90` è calcolata per determinare se lo studente merita una "A" come voto del corso per un'eccezionale prestazione all'esame finale. L'istruzione `if` considera quindi la condizione combinata

```
semesterAverage >= 90 || finalExam >= 90
```

e assegna allo studente una “A” se *una o entrambe* le condizioni semplici sono *vere*. Il messaggio “*Student grade is A*” non è stampato solo quando *entrambe* le condizioni semplici sono *false* (zero). La Figura 4.14 è una tabella di verità per l’operatore logico OR (||).

espressione1	espressione2	espressione1 espressione2
0	0	0
0	nonzero	1
nonzero	0	1
nonzero	nonzero	1

Figura 4.14 Tabella di verità per l’operatore logico OR (||).

Valutazione cortocircuitata

L’operatore **&&** ha una precedenza *più alta* di **||**. Entrambi gli operatori sono associativi da sinistra a destra. Un’espressione contenente gli operatori **&&** o **||** è calcolata *soltanto* finché non sia nota la verità o la falsità. Così la valutazione della condizione

```
gender == 1 && age >= 65
```

si arresterà se gender non è uguale a 1 (cioè se l’intera espressione è falsa) e continuerà se gender è uguale a 1 (poiché l’intera espressione potrebbe ancora essere vera se `age >= 65`). Questa caratteristica riguardante le prestazioni per la valutazione delle espressioni logiche AND e OR è chiamata *valutazione cortocircuitata*.

Prestazioni 4.2

 Nelle espressioni che usano l’operatore **&&**, fate in modo che la condizione con maggiori probabilità di essere falsa sia quella più a sinistra. Nelle espressioni che usano l’operatore **||** fate in modo che la condizione con maggiori probabilità di essere vera sia quella più a sinistra. Questo può ridurre il tempo di esecuzione di un programma.

Operatore logico di negazione (!)

Il C fornisce l’operatore **!** (negazione logica) per permettervi di “invertire” il significato di una condizione. Diversamente dagli operatori **&&** e **||**, che combinano *due* condizioni (e sono quindi operatori *binari*), l’operatore logico di negazione ha soltanto una condizione *singola* come operando (ed è pertanto un operatore *unario*). L’operatore logico di negazione è posto prima di una condizione, quando siamo interessati a scegliere un percorso di esecuzione se la condizione originaria (senza l’operatore logico di negazione) è *falsa*, come nel seguente segmento di programma:

```
if (!(grade == sentinelValue)) {
    printf("The next grade is %f\n", grade);
}
```

Le parentesi attorno alla condizione `grade == sentinelValue` sono necessarie perché l’operatore logico di negazione ha una precedenza più alta dell’operatore di uguaglianza. La Figura 4.15 è una tabella di verità per l’operatore logico di negazione.

espressione	! espressione
0	1
nonzero	0

Figura 4.15 Tabella di verità per l'operatore logico NOT (!).

Nella maggior parte dei casi potete evitare di usare la negazione logica, esprimendo la condizione in modo diverso con un appropriato operatore relazionale. Ad esempio, l'istruzione precedente si può anche scrivere come segue:

```
if (grade != sentinelValue) {
    printf("The next grade is %f\n", grade);
}
```

Riepilogo della precedenza e dell'associatività degli operatori

La Figura 4.16 mostra la precedenza e l'associatività degli operatori introdotti fino a questo punto. Gli operatori sono mostrati dall'alto in basso in ordine decrescente di precedenza.

Operatori	Associatività	Tipo
<code>++ (postfisso)</code> <code>-- (postfisso)</code>	da destra a sinistra	postfisso
<code>+ - !</code> <code>++ (prefisso)</code> <code>-- (prefisso)</code> <code>(tipo)</code>	da destra a sinistra	unario
<code>*</code> <code>/</code> <code>%</code>	da sinistra a destra	moltiplicativo
<code>+</code> <code>-</code>	da sinistra a destra	additivo
<code><</code> <code><=</code> <code>></code> <code>>=</code>	da sinistra a destra	relazionale
<code>==</code> <code>!=</code>	da sinistra a destra	di uguaglianza
<code>&&</code>	da sinistra a destra	AND logico
<code> </code>	da sinistra a destra	OR logico
<code>? :</code>	da destra a sinistra	condizionale
<code>=</code> <code>+=</code> <code>-=</code> <code>*=</code> <code>/=</code> <code>%=</code>	da destra a sinistra	di assegnazione
<code>,</code>	da sinistra a destra	virgola

Figura 4.16 Precedenza e associatività degli operatori.

Il tipo di dati `_Bool`

Il C standard comprende un tipo booleano – rappresentato dalla parola chiave `_Bool` – che può assumere solo i valori 0 o 1. Ricordate la convenzione del C di usare valori zero e diversi da zero per rappresentare falso e vero: il valore zero in una condizione viene valutato come falso, mentre un valore diverso da zero viene valutato come vero. Assegnando un valore diverso da zero a un `_Bool`, questo viene impostato a 1. Lo standard include anche l'intestazione `<stdbool.h>`, che definisce `bool` come un'abbreviazione per il tipo `_Bool`, e `true` e `false` come nomi simbolici, rispettivamente per 1 e 0. Al momento della preelaborazione, `bool`, `true` e `false` sono sostituiti con `_Bool`, 1 e 0. Il Paragrafo E.4 dell'Appendice E (on-line) presenta un esempio che usa `bool`, `true` e `false`. L'esempio usa una funzione definita dal programmatore, concetto che introdurremo nel Capitolo 5. Potete studiare l'esempio adesso, ma potrete volerlo rivisitare dopo aver letto il Capitolo 5.

4.11 Confondere gli operatori di uguaglianza (==) e di assegnazione (=)

C'è un tipo di errore che i programmatori in C, qualunque sia il loro livello di esperienza, tendono a commettere così frequentemente che abbiamo pensato meritasse un paragrafo a parte. Questo errore consiste nello scambiare accidentalmente tra loro gli operatori == (uguaglianza) e = (assegnazione). Ciò che rende questi scambi così dannosi è il fatto che essi, normalmente, non provocano *errori di compilazione*. Anzi, le istruzioni con questi errori vengono compilate in generale in modo corretto, permettendo ai programmi di essere eseguiti fino al completamento, mentre probabilmente generano risultati scorretti dovuti a *errori logici al momento dell'esecuzione*.

A causare questi problemi sono due aspetti del C. Uno consiste nel fatto che qualsiasi espressione in C che produce un valore può essere usata nella sezione di decisione di qualsiasi istruzione di controllo. Se il valore è 0 è trattata come falsa e se il valore è diverso da zero è trattata come vera. Il secondo consiste nel fatto che le assegnazioni in C producono un valore, ossia il valore assegnato alla variabile che compare sul lato sinistro dell'operatore di assegnazione.

Ad esempio, supponiamo di voler scrivere

```
if (payCode == 4) {
    printf("%s", "You get a bonus!");
}
```

ma accidentalmente scriviamo

```
if (payCode = 4) {
    printf("%s", "You get a bonus!");
}
```

La prima istruzione if in modo appropriato assegna un bonus alla persona il cui paycode (codice di pagamento) è uguale a 4. La seconda istruzione if (quella con l'errore) calcola l'espressione di assegnazione nella condizione if. Questa espressione è una semplice assegnazione il cui valore è la costante 4. Dal momento che un qualunque valore diverso zero è interpretato come “vero”, la condizione in questa istruzione if è sempre vera, e non solo il valore di payCode è inavvertitamente impostato a 4, ma la persona riceve sempre un bonus a prescindere da quale sia il valore del suo paycode!



Errore comune di programmazione 4.5

Usare l'operatore == per l'assegnazione o usare l'operatore = per l'uguaglianza è un errore logico.

Ivalue e rvalue

Probabilmente sarete propensi a scrivere condizioni come `x == 7` con il nome della variabile a sinistra e la costante a destra. Invertendo questi termini mettendo la costante a sinistra e il nome della variabile a destra, come in `7 == x`, allora, se accidentalmente sostituite l'operatore == con = sarete protetti dal compilatore. Il compilatore tratterà questo come un *errore di sintassi*, poiché soltanto il nome di una variabile può essere posto alla sinistra di un'espressione di assegnazione. Questo eviterà l'effetto devastante di un errore logico al momento dell'esecuzione.

I nomi delle variabili sono detti *Ivalue* (“left value” ovvero “valore sinistro”) perché si possono usare alla *sinistra* di un operatore di assegnazione. Le costanti sono dette *rvalue* (“right value”

ovvero "valore destro") perché si possono usare solo alla *destra* di un operatore di assegnazione. Gli *lvalue* possono essere usati anche come *rvalue*, ma non viceversa.



Prevenzione di errori 4.8

Quando un'espressione di uguaglianza ha una variabile e una costante, come in `x == 1`, è preferibile scriverla con la costante a sinistra e il nome della variabile a destra (cioè, `1 == x`) come protezione nei confronti dell'errore logico che si verifica quando sostituite accidentalmente l'operatore `==` con `=`.

Confondere `==` e `=` in istruzioni semplici

L'altra faccia della medaglia può essere ugualmente spiacevole. Supponete di voler assegnare un valore a una variabile con un'istruzione semplice come

```
x = 1;
```

ma invece scrivete

```
x == 1;
```

Anche qui non si tratta di un errore di sintassi. Piuttosto, il compilatore calcola semplicemente l'espressione condizionale. Se `x` è uguale a 1, la condizione è vera e l'espressione restituisce il valore 1. Se `x` non è uguale a 1, la condizione è falsa e l'espressione restituisce il valore 0. A prescindere da quale valore venga restituito, non vi è alcun operatore di assegnazione, così il valore viene semplicemente *perduto*, e il valore di `x` rimane *inalterato*, provocando probabilmente un errore logico al momento dell'esecuzione. Purtroppo non disponiamo di un trucco facile per aiutarvi in merito a questo problema! Molti compilatori, comunque, generano un *avvertimento* riguardo a una tale istruzione.



Prevenzione di errori 4.9

Dopo aver scritto un programma, verificate il testo per ciascun `= e` controllate che sia usato correttamente. Questo può aiutarvi a prevenire particolari errori.

4.12 Riepilogo della programmazione strutturata

Proprio come gli architetti progettano costruzioni impiegando la sapienza collettiva della loro professione, nello stesso modo i programmati dovrebbero progettare i programmi. Il nostro campo è più giovane dell'architettura e la nostra sapienza collettiva è considerevolmente più scarsa. Abbiamo imparato moltissimo in appena ottant'anni. Ma la cosa più importante, forse, è che abbiamo imparato che la programmazione strutturata produce programmi più facili da capire (rispetto ai programmi non strutturati) e quindi più facili da verificare, correggere, modificare e persino dimostrare in senso matematico come corretti.

I Capitoli 3 e 4 sono stati incentrati sulle istruzioni di controllo del C. Ogni istruzione è stata presentata, rappresentata con diagrammi di flusso ed esaminata separatamente con esempi. Ora riepiloghiamo i risultati dei Capitoli 3 e 4 e introduciamo un insieme semplice di regole per la costruzione e la verifica di proprietà dei programmi strutturati.

La Figura 4.17 riepiloga le istruzioni di controllo esaminate nei Capitoli 3 e 4. I cerchietti sono usati nella figura per indicare l'*unico punto di entrata* e l'*unico punto di uscita* di ciascuna istruzione. Collegare arbitrariamente simboli individuali dei diagrammi di flusso può portare a programmi non strutturati. Pertanto, la professione della programmazione ha scelto di combinare i simboli dei diagrammi di flusso in un insieme limitato di istruzioni di controllo e di costruire soltanto programmi strutturati opportunamente combinando correttamente le istruzioni di controllo in due semplici modi. Per semplicità sono usate solo istruzioni di controllo con *un solo ingresso e a una sola uscita*: c'è solo un modo per entrare e solo un modo per uscire da ogni istruzione di controllo. Collegare istruzioni di controllo in sequenza per formare programmi strutturati è semplice (il punto di uscita di un'istruzione di controllo è collegato al punto di entrata della successiva); le istruzioni di controllo sono, cioè, semplicemente poste una dopo l'altra in un programma. Abbiamo chiamato ciò "accatastamento delle istruzioni di controllo". Le istruzioni di controllo possono anche essere annidate.

La Figura 4.18 mostra le regole per formare programmi strutturati. Le regole presuppongono che il simbolo rettangolo dei diagrammi di flusso possa essere usato per indicare *qualsiasi* azione, incluso l'input/output. La Figura 4.19 mostra il *diagramma di flusso più semplice*.

Applicando le regole della Figura 4.18 si produce sempre un diagramma di flusso strutturato che si presenta in modo chiaro come un blocco costituente. Applicando ripetutamente la Regola 2 al diagramma di flusso più semplice (Figura 4.19) si produce un diagramma di flusso strutturato contenente molti rettangoli *in sequenza* (Figura 4.20). La Regola 2 genera una pila di istruzioni di controllo, e pertanto la chiamiamo **regola di accatastamento**.

La Regola 3 è chiamata **regola di annidamento**. Applicando ripetutamente la Regola 3 al diagramma più semplice, si produce un diagramma di flusso con le istruzioni di controllo annidate in maniera evidente. Ad esempio, nella Figura 4.21 il rettangolo nel diagramma di flusso più semplice è dapprima sostituito con un'istruzione di selezione doppia (*if...else*). Dopodiché, si applica di nuovo la Regola 3 a tutti e due i rettangoli nell'istruzione di selezione doppia, sostituendo ognuno di essi con istruzioni di selezione doppia. La scatola tratteggiata attorno a ognuna delle istruzioni di selezione doppia rappresenta il rettangolo che è stato sostituito nel diagramma di flusso originario.

La Regola 4 genera strutture più ampie, più complicate e annidate più in profondità. I diagrammi di flusso che risultano dall'applicazione delle regole della Figura 4.18 costituiscono l'insieme di tutti i possibili diagrammi di flusso strutturati e, di conseguenza, l'insieme di tutti i possibili programmi strutturati.

È a causa dell'eliminazione dell'istruzione *goto* che questi blocchi costituenti non si sovrappongono mai l'uno sull'altro. La bellezza dell'approccio strutturato è che noi usiamo soltanto un piccolo numero di pezzi semplici a *un solo ingresso e a una sola uscita* e possiamo assemblarli in *due* soli semplici modi. La Figura 4.22 mostra i tipi di blocchi costituenti accatastati che risultano dall'applicazione della Regola 2 e i tipi di blocchi annidati che risultano dall'applicazione della Regola 3. La figura mostra anche il tipo di blocchi costituenti sovrapposti che non possono comparire in diagrammi di flusso strutturati (a causa dell'eliminazione dell'istruzione *goto*).

Se si seguono le regole della Figura 4.18, *non si può* creare un diagramma di flusso non strutturato (come quello nella Figura 4.23). Se non siete certi che un particolare diagramma di flusso sia strutturato, applicate inversamente le regole della Figura 4.18 per cercare di *ridurre* il diagramma di flusso al diagramma di flusso più semplice. Se ci riuscite, il diagramma originario è strutturato, altrimenti non lo è.

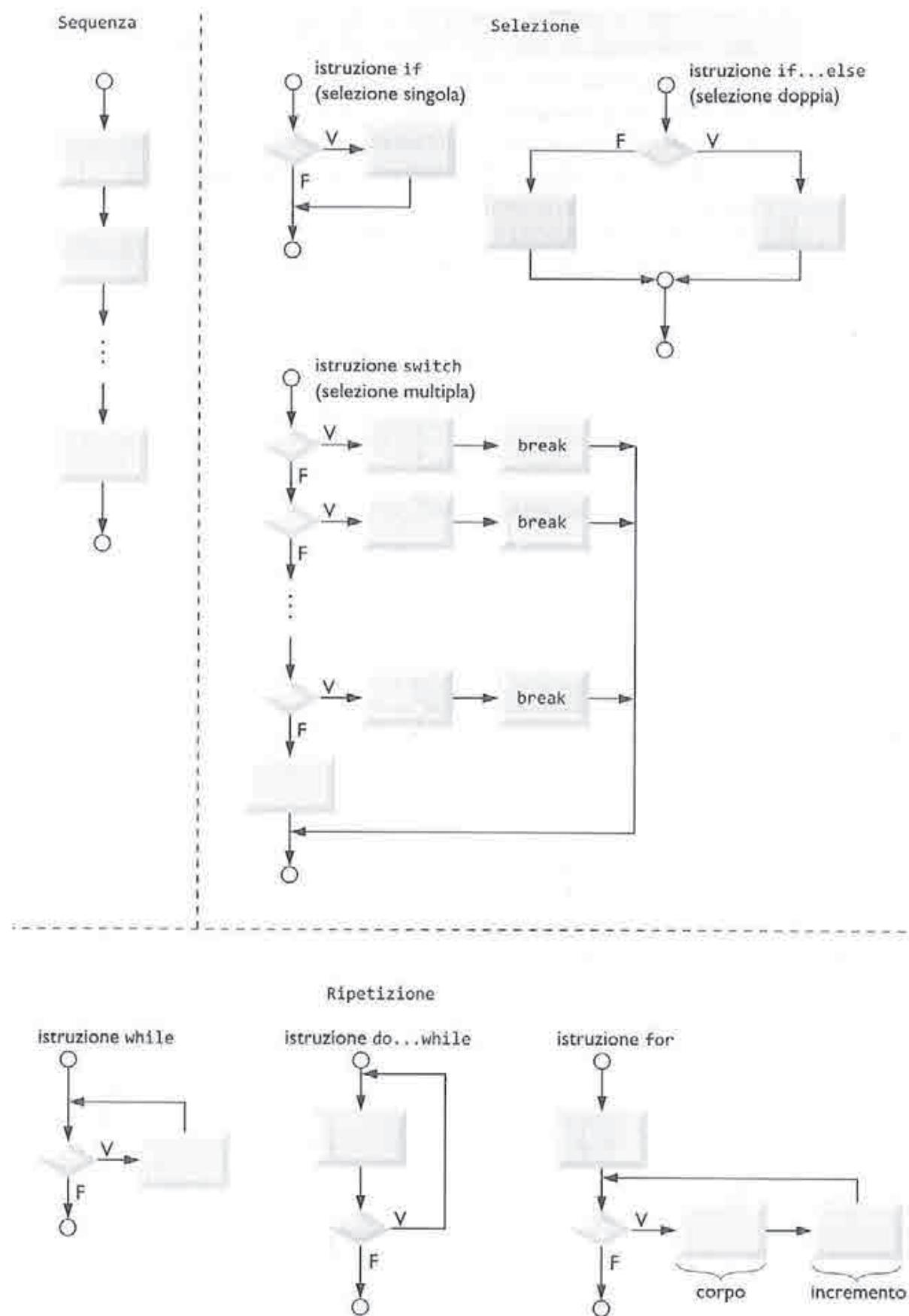


Figura 4.17 Istruzioni in C a un solo ingresso e a una sola uscita per sequenza, selezione e iterazione.

Regole per costruire programmi strutturati

- 1) Iniziare con il “diagramma di flusso più semplice” (Figura 4.19).
- 2) (Regola di “accatastamento”) Qualsiasi rettangolo (azione) può essere sostituito con *due* rettangoli (azioni) in sequenza.
- 3) (Regola di “annidamento”) Qualsiasi rettangolo (azione) può essere sostituito con *qualunque* istruzione di controllo (sequenza, if, if...else, switch, while, do...while o for).
- 4) Le regole 2 e 3 possono essere applicate quante volte si vuole e in qualsiasi ordine.

Figura 4.18 Regole per costruire programmi strutturati.

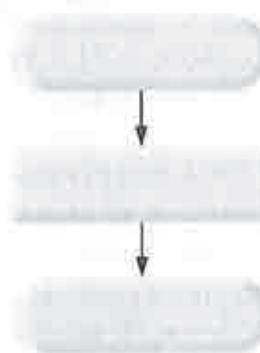


Figura 4.19 Diagramma di flusso più semplice.

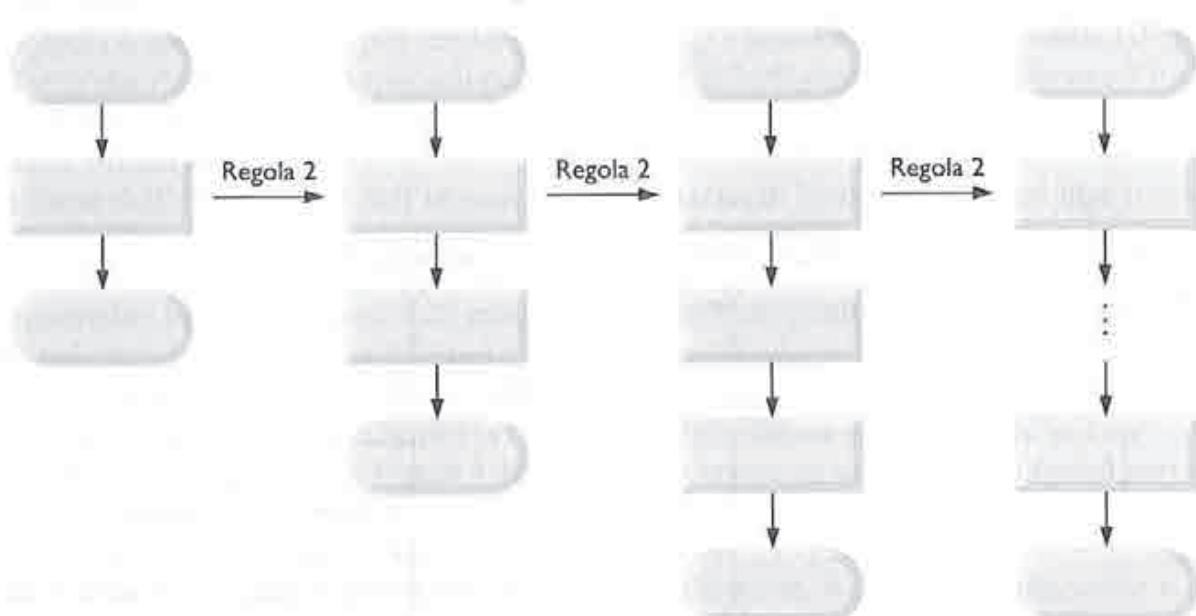


Figura 4.20 Applicazione ripetuta della Regola 2 della Figura 4.18 al diagramma di flusso più semplice.

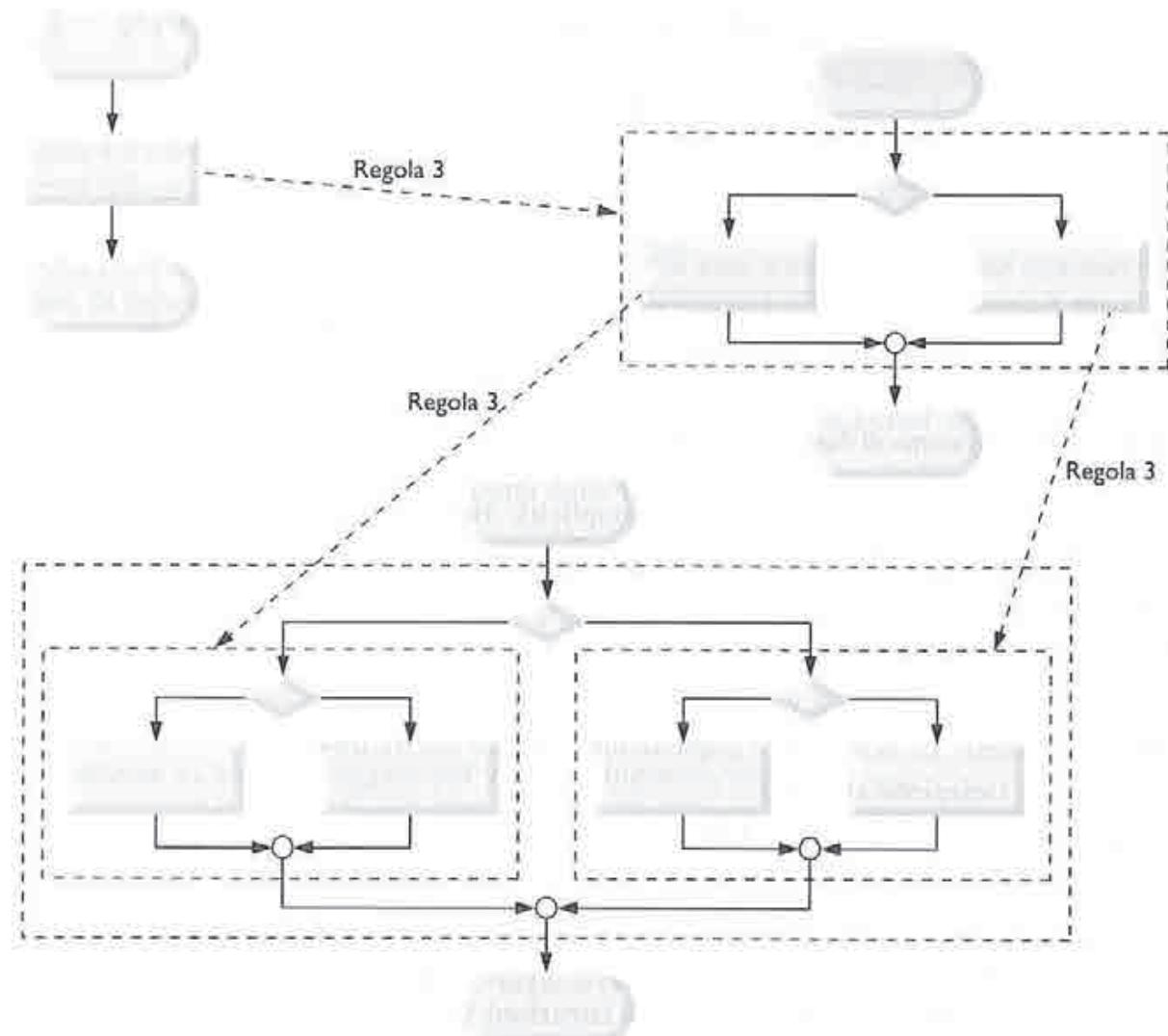
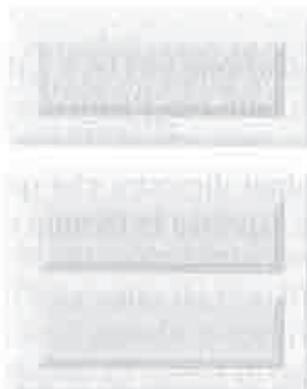


Figura 4.21 Applicazione della Regola 3 della Figura 4.18 al diagramma di flusso più semplice.

Blocchi costituenti accatastati



Blocchi costituenti annidati



Sovrapposizione di blocchi costituenti
(Non permessa nella programmazione strutturata)



Figura 4.22 Blocchi costituenti accatastati, annidati e sovrapposti.

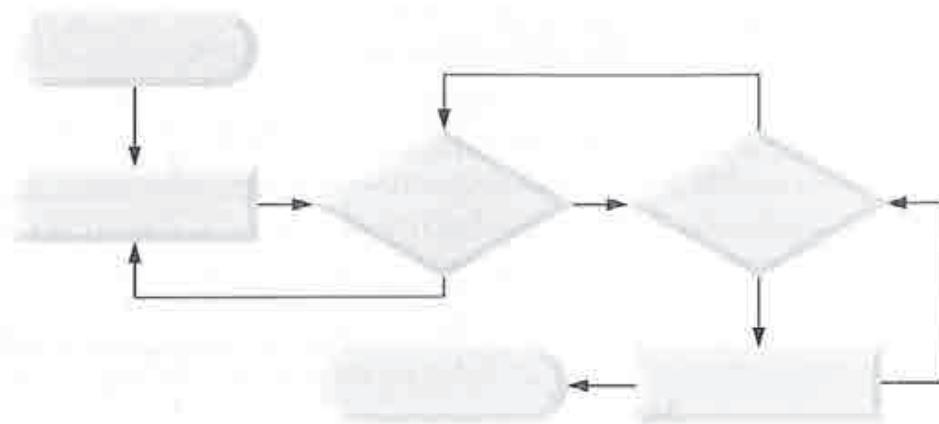


Figura 4.23 Un diagramma di flusso non strutturato.

La programmazione strutturata favorisce la semplicità. Bohm e Jacopini hanno dimostrato che sono necessarie solo tre forme di controllo:

- Sequenza
- Selezione
- Iterazione

La sequenza è lineare. La selezione è implementata in uno dei tre modi:

- istruzione `if` (selezione singola)
- istruzione `if...else` (selezione doppia)
- istruzione `switch` (selezione multipla)

È facile dimostrare che la semplice istruzione `if` è sufficiente a realizzare *qualunque* forma di selezione, ossia tutto quello che si può fare con l'istruzione `if...else`. Inoltre, l'istruzione `switch` può essere implementata con una o più istruzioni `if`.

L'iterazione è implementata in uno dei tre modi:

- istruzione `while`
- istruzione `do...while`
- istruzione `for`

È inoltre facile dimostrare che l'istruzione `while` è sufficiente per ottenere qualunque forma di iterazione. Tutto ciò che può essere fatto con l'istruzione `do...while` e con l'istruzione `for` può essere fatto con l'istruzione `while`.

La combinazione di questi risultati dimostra che qualsiasi forma di controllo che possa mai risultare necessaria in C può essere espressa in termini di solo *tre* forme di controllo:

- sequenza
- istruzione `if` (selezione)
- istruzione `while` (iterazione)

E queste istruzioni di controllo possono essere combinate in *due* soli modi: *accatastamento* e *annidamento*. La programmazione strutturata favorisce davvero la semplicità.

Nei Capitoli 3 e 4 abbiamo esaminato come comporre programmi partendo da istruzioni di controllo contenenti solo azioni e decisioni. Nel Capitolo 5 introdurremo un'altra unità strutturale dei programmi, chiamata funzione. Impareremo a comporre programmi di grandi dimensioni combinando funzioni che, a loro volta, possono essere composte da istruzioni di controllo. Esamineremo anche come l'uso di funzioni favorisca la riutilizzabilità del software.

4.13 Programmazione sicura in C

Controllare il valore di ritorno della funzione scanf

La Figura 4.6 usava la funzione pow della libreria math, che calcola il valore del suo primo argomento elevato alla potenza del suo secondo argomento e restituisce il risultato come valore double. Il risultato del calcolo era quindi usato nell'istruzione che chiamava la funzione pow.

Molte funzioni restituiscono valori che indicano se esse sono state eseguite con successo. Ad esempio, la funzione scanf restituisce un int che indica se l'operazione di input è riuscita. Se si verifica un fallimento dell'input, scanf restituisce il valore EOF (definito in <stdio.h>), altrimenti, restituisce il numero di elementi che sono stati letti. Se questo valore non corrisponde al numero degli elementi che intendevate far leggere, allora vuol dire che scanf non è stata in grado di completare l'operazione di input.

Considerate la seguente istruzione tratta dalla Figura 3.6

```
scanf("%d", &grade); // legge il voto dell'utente
```

che si aspetta di leggere un valore int. Se l'utente inserisce un numero intero, scanf restituisce 1, il quale indica che un valore è stato realmente letto. Se l'utente inserisce una stringa, come "hello", scanf restituisce 0, il quale indica che non è stata in grado di leggere l'input come un intero. In questo caso, la variabile grade non riceve alcun valore.

La funzione scanf può leggere più valori in ingresso, come in

```
scanf("%d%d", &number1, &number2); // legge due interi
```

Se l'input riesce, scanf restituirà 2, il quale indica che sono stati letti due valori. Se l'utente inserisce una stringa per il primo valore, scanf restituirà 0 e non riceveranno valori né number1 né number2. Se l'utente inserisce un intero seguito da una stringa, scanf restituirà 1 e solo number1 riceverà un valore.



Prevenzione di errori 4.10

Per rendere più robusto il trattamento dell'input controllate il valore di ritorno di scanf, per assicurarvi che il numero di valori letti corrisponda al numero di valori attesi. Altrimenti il vostro programma userà i valori delle variabili come se scanf avesse in ogni caso completato l'elaborazione con successo. Questo potrebbe portare a errori logici, o anche a un arresto del programma, o persino a vulnerabilità ad attacchi.

Controllo degli intervalli

Anche se scanf opera con successo, i valori letti potrebbero essere ancora non validi. Ad esempio, i voti sono tipicamente numeri interi nell'intervallo da 0 a 100. In un programma che riceve in ingresso tali voti, dovreste convalidare i voti usando il controllo dell'intervalle per assicurarvi che siano valori da 0 a 100. Potete poi chiedere all'utente di reinserire qualunque valore dato al di fuori dell'intervallo. Se un programma richiede che l'ingresso faccia parte di uno specifico insieme di valori (es. codici non sequenziali di prodotti), dovreste controllare che ogni valore in input corrisponda a un valore nell'insieme. Per altre informazioni, consultate il Capitolo 5, "Integer Security", del libro di Robert Seacord *Secure Coding in C and C++*, 2/e.

Riepilogo

Paragrafo 4.2 Aspetti essenziali dell'iterazione

- La maggior parte dei programmi ha al suo interno il costrutto di iterazione, ovvero un ciclo. Un ciclo è un gruppo di istruzioni che il computer esegue ripetutamente finché una qualche condizione di continuazione del ciclo rimane vera.
- L'iterazione controllata da contatore è talvolta chiamata iterazione definita, perché sappiamo in anticipo esattamente quante volte si eseguirà il ciclo.
- L'iterazione controllata da sentinella è talvolta chiamata iterazione indefinita, perché non si sa in anticipo quante volte si eseguirà il ciclo; il ciclo comprende istruzioni che ricevono dati ogni volta che il ciclo è eseguito.
- Nell'iterazione controllata da contatore si usa una variabile di controllo per contare il numero di iterazioni. La variabile di controllo è incrementata (o decrementata) ogni volta che il gruppo di istruzioni è eseguito. Quando è stato eseguito il numero corretto di iterazioni, il ciclo termina e il programma riprende l'esecuzione con l'istruzione dopo l'istruzione di iterazione.
- Il valore sentinella indica la “fine dei dati.” La sentinella è inserita dopo che tutti i dati regolari sono stati forniti al programma. Le sentinelle devono essere distinte dai dati regolari.

Paragrafo 4.3 Iterazione controllata da contatore

- L'iterazione controllata da contatore necessita del nome di una variabile di controllo (o contatore del ciclo), del suo valore iniziale, dell'incremento (o decremento) con il quale essa viene modificata ogni volta nel corso del ciclo e della condizione che verifica il suo valore finale (cioè se il ciclo deve continuare).

Paragrafo 4.4 Istruzione di iterazione *for*

- L'istruzione di iterazione *for* comprende tutti i dettagli dell'iterazione controllata da contatore.
- Quando l'istruzione *for* inizia l'esecuzione, la sua variabile di controllo viene inizializzata. Viene quindi controllata la condizione di continuazione del ciclo. Se la condizione è vera, viene eseguito il corpo del ciclo. La variabile di controllo è allora incrementata e il ciclo inizia di nuovo a partire dalla condizione di continuazione. Questo processo continua finché la condizione di continuazione del ciclo non diventa falsa.
- Il formato generale dell'istruzione *for* è

```
for (inizializzazione; condizione; incremento) {  
    istruzioni  
}
```

dove l'espressione *inizializzazione* inizializza (e forse definisce) la variabile di controllo, l'espressione *condizione* è la condizione di continuazione del ciclo e l'espressione *incremento* incrementa la variabile di controllo.

- L'operatore virgola garantisce che sequenze di espressioni vengano calcolate da sinistra a destra. Il valore dell'intera espressione è quello dell'espressione più a destra.
- Le tre espressioni nell'istruzione *for* sono opzionali. Se l'espressione *condizione* è omessa, il C suppone che la condizione sia vera, generando così un ciclo infinito. Si può omettere l'espressione *inizializzazione* se la variabile di controllo è inizializzata prima del ciclo. Si può omettere l'espressione *incremento* se l'incremento è calcolato da istruzioni nel corpo dell'istruzione *for* o se non è necessario alcun incremento.

- L'espressione *incremento* nell'istruzione **for** agisce come un'istruzione a sé stante alla fine del corpo del **for**.
- I due punti e virgola nell'istruzione **for** sono richiesti.

Paragrafo 4.5 Istruzione for: note e osservazioni

- L'inizializzazione, la condizione di continuazione del ciclo e l'incremento possono contenere espressioni aritmetiche.
- L'"incremento" può essere negativo (nel qual caso è in realtà un decremento e il ciclo conta in effetti verso il basso).
- Se la condizione di continuazione del ciclo è inizialmente falsa, il corpo del ciclo non viene eseguito. Invece, l'esecuzione procede con l'istruzione che segue l'istruzione **for**.

Paragrafo 4.6 Esempi di uso dell'istruzione for

- La funzione **pow** effettua l'esponenziazione. La funzione **pow(x, y)** calcola il valore di **x** elevato alla potenza **y**. Riceve due argomenti di tipo **double** e restituisce un valore **double**.
- Il tipo **double** è un tipo in virgola mobile molto simile a **float**, ma tipicamente una variabile di tipo **double** può memorizzare un valore molto più elevato e con maggiore precisione di **float**.
- L'intestazione **<math.h>** deve essere inclusa ogni volta che si usa una funzione matematica come **pow**.
- Lo specificatore di conversione **%21.2f** indica che un valore in virgola mobile sarà stampato allineato a destra in un campo di 21 caratteri con due cifre alla destra del punto decimale.
- Per allineare a sinistra un valore in un campo, mettete un **-** (segno meno) tra **%** e l'ampiezza del campo.

Paragrafo 4.7 Istruzione di selezione multipla switch

- Talvolta, un algoritmo conterrà una serie di decisioni in cui una variabile o un'espressione è verificata separatamente per ognuno dei valori interi costanti che può assumere, e per ognuno di loro sono intraprese azioni differenti. Questa è chiamata selezione multipla e per gestirla il C fornisce l'istruzione **switch**.
- L'istruzione **switch** consiste in una serie di etichette **case**, un opzionale caso **default** e le istruzioni da eseguire per ogni **case**.
- La funzione **getchar** (dalla libreria di input/output standard) legge e restituisce un carattere digitato sulla tastiera.
- I caratteri sono normalmente memorizzati in variabili di tipo **char**. I caratteri possono essere memorizzati in qualsiasi tipo di dati interi, perché nel computer sono solitamente rappresentati come interi di un byte. In questo modo, possiamo trattare un carattere o come un intero o come un carattere, a seconda del suo uso.
- Molti computer usano oggi l'insieme di caratteri ASCII (American Standard Code for Information Interchange), nel quale il numero intero 97 rappresenta la lettera minuscola 'a'.
- I caratteri possono essere letti con **scanf** usando lo specificatore di conversione **%c**.
- Le espressioni di assegnazione hanno esse stesse un valore, che è assegnato alla variabile alla sinistra dell'operatore **=**.
- Il fatto che le istruzioni di assegnazione abbiano valori può essere utile per impostare diverse variabili allo stesso valore, come in **a = b = c = 0;**.

- EOF è spesso usato come valore sentinella. EOF è una costante intera simbolica definita in `<stdio.h>`.
- Sui sistemi Linux/UNIX e in molti altri, l'indicatore EOF viene inserito scrivendo `<Ctrl> d`. Su altri sistemi, come Windows di Microsoft, l'indicatore EOF si può inserire scrivendo `<Ctrl> z`.
- La parola chiave `switch` è seguita dall'espressione di controllo tra parentesi. Il valore di questa espressione è confrontato con ognuna delle etichette `case`. Se il confronto ha successo, vengono eseguite le istruzioni per quel `case`. Se il confronto non ha successo, vengono eseguite le istruzioni del caso `default`.
- L'istruzione `break` fa continuare l'esecuzione del programma dall'istruzione dopo lo `switch`. L'istruzione `break` impedisce che i `case` di un'istruzione `switch` siano eseguiti tutti insieme.
- Ogni `case` può avere una o più azioni. L'istruzione `switch` è differente da tutte le altre istruzioni di controllo, in quanto non ci vogliono parentesi graffe attorno alle sequenze di azioni in ogni `case`.
- Mettere assieme diverse etichette `case` significa semplicemente che per ognuno di questi `case` si deve eseguire lo stesso insieme di azioni.
- Ricordate che l'istruzione `switch` può essere usata soltanto per testare un'espressione costante intera, cioè una qualunque combinazione di costanti di caratteri e costanti intere il cui valore calcolato sia un valore costante intero. Una costante di tipo carattere si può rappresentare come il carattere tipografico tra virgolette singole, come '`A`'. I caratteri devono essere chiusi tra virgolette singole per essere riconosciuti come costanti di tipo carattere. Le costanti intere sono semplicemente valori interi.
- Oltre ai tipi interi `int` e `char`, il C fornisce i tipi `short int` (che si può abbreviare con `short`) e `long int` (che si può abbreviare con `long`), così come versioni `unsigned` di tutti i tipi interi. Il C standard specifica l'intervallo minimo di valori per ogni tipo, ma l'intervallo reale può essere molto più grande e dipende dall'implementazione. Per gli `short int` l'intervallo minimo è da `-32767` a `+32767`. L'intervallo minimo di valori per i `long int` è da `-2147483647` a `+2147483647`. L'intervallo di valori per un `int` è maggiore o uguale a quello di uno `short int` e minore o uguale a quello di un `long int`. Su molte delle odierne piattaforme gli `int` e i `long int` rappresentano lo stesso intervallo di valori. I tipi di dati `signed char` possono essere usati per rappresentare interi nell'intervallo da `-127` a `+127` o uno qualsiasi dell'insieme dei caratteri del computer. Si veda la sezione 5.2.4.2 del documento del C standard per l'elenco completo degli intervalli di tipo intero `signed` e `unsigned`.

Paragrafo 4.8 Istruzione di iterazione `do...while`

- L'istruzione `do...while` verifica la condizione di continuazione del ciclo *dopo* l'esecuzione del corpo del ciclo. Pertanto il corpo del ciclo viene eseguito almeno una volta. Quando un `do...while` termina, l'esecuzione continua con l'istruzione dopo la clausola `while`.

Paragrafo 4.9 Istruzioni `break` e `continue`

- L'istruzione `break`, quando è eseguita in un'istruzione `while`, `for`, `do...while` o `switch`, causa immediatamente l'uscita dall'istruzione. L'esecuzione del programma continua con l'istruzione successiva.
- L'istruzione `continue`, quando è eseguita in un'istruzione `while`, `for` o `do...while`, salta le restanti istruzioni nel corpo ed esegue l'iterazione successiva del ciclo. In `while` e `do...while`, il test di continuazione del ciclo è valutato immediatamente dopo l'esecuzione dell'i-

struzione continue. In un `for` viene eseguita l'espressione di incremento e dopo viene valutato il test di continuazione del ciclo.

Paragrafo 4.10 Operatori logici

- Gli operatori logici possono essere usati per formare condizioni complesse combinando condizioni semplici. Gli operatori logici sono `&&` (AND logico), `||` (OR logico) e `!` (NOT logico, o negazione logica).
- Una condizione contenente l'operatore `&&` (AND logico) è vera se e solo se ambedue le condizioni semplici sono vere.
- Il C assegna il valore 0 o 1 a tutte le espressioni che includono operatori relazionali, operatori di uguaglianza e operatori logici. Sebbene il C asseggi 1 a un valore vero, esso accetta come vero *qualunque* valore diverso da zero.
- Una condizione contenente l'operatore `||` (OR logico) è vera se una o ambedue le condizioni semplici sono vere.
- L'operatore `&&` ha una precedenza più alta di `||`. Entrambi gli operatori sono associativi da sinistra a destra.
- Un'espressione contenente gli operatori `&&` o `||` viene calcolata solo finché non sia nota la sua verità o falsità.
- Il C fornisce l'operatore `!` (negazione logica) per permettervi di "invertire" il significato di una condizione. Diversamente dagli operatori binari `&&` e `||`, che combinano due condizioni, l'operatore unario di negazione logica ha soltanto una singola condizione come operando.
- L'operatore di negazione logica è posto prima di una condizione quando siamo interessati a scegliere un percorso di esecuzione se la condizione originaria (senza l'operatore di negazione logica) è falsa.
- Nella maggior parte dei casi potete evitare di usare la negazione logica, esprimendo la condizione in modo diverso con un operatore relazionale appropriato.

Paragrafo 4.11 Confondere gli operatori di uguaglianza (`==`) e di assegnazione (`=`)

- I programmatore spesso scambiano accidentalmente tra loro gli operatori `==` (uguaglianza) e `=` (assegnazione). Quel che rende questi scambi così dannosi è il fatto che normalmente essi non causano errori di sintassi. Anzi, le istruzioni con questi errori di solito vengono compilate correttamente, permettendo ai programmi di essere eseguiti fino alla fine, mentre verosimilmente generano risultati scorretti a causa di errori logici al momento dell'esecuzione.
- Potete essere portati a scrivere condizioni come `x == 7` con il nome della variabile a sinistra e la costante a destra. Invertendo questi termini, così che la costante sia a sinistra e il nome della variabile a destra, come in `7 == x`, se sostituite accidentalmente l'operatore `==` con `=` sarete protetti dal compilatore. Il compilatore tratterà questo come un errore di sintassi, perché soltanto il nome di una variabile può essere posto alla sinistra di un'istruzione di assegnazione.
- I nomi di variabili si dicono *lvalue* ("left value" ovvero "valore sinistro"), perché si *possono* usare alla sinistra di un operatore di assegnazione.
- Le costanti sono dette *rvalue* ("right value" ovvero "valore destro"), perché possono essere usate *soltanto* alla destra dell'operatore di assegnazione. Gli *lvalue* possono anche essere usati come *rvalue*, ma non viceversa.

Esercizi di autovalutazione

- 4.1 Riempite gli spazi vuoti in ognuna delle seguenti affermazioni.
- L'iterazione controllata da contatore è nota anche come iterazione _____ perché si sa in anticipo quante volte il ciclo sarà eseguito.
 - L'iterazione controllata da sentinella è nota anche come iterazione _____ perché non si sa in anticipo quante volte sarà eseguito il ciclo.
 - Nell'iterazione controllata da contatore si usa una _____ per contare il numero di volte in cui si deve ripetere un gruppo di istruzioni.
 - L'istruzione _____, quando è eseguita in un'istruzione di iterazione, fa sì che sia eseguita immediatamente la successiva iterazione del ciclo.
 - L'istruzione _____, quando è eseguita in un'istruzione di iterazione o in uno switch, provoca un'uscita immediata dall'istruzione.
 - L'_____ è usata per testare una particolare variabile o espressione in relazione a ognuno dei valori costanti interi che può assumere.
- 4.2 Stabilite se le seguenti affermazioni sono *vere* o *false*: se la risposta è *falsa*, spiegate perché.
- Il caso default è necessario nell'istruzione di selezione switch.
 - L'istruzione break è necessaria nel caso default di un'istruzione di selezione switch.
 - L'espressione ($x > y \&& a < b$) è vera se $x > y$ è vera o se $a < b$ è vera.
 - Un'espressione contenente l'operatore || è vera se uno o ambedue gli operandi sono veri.
- 4.3 Scrivete un'istruzione o un insieme di istruzioni per eseguire ognuno dei seguenti compiti.
- Sommate i numeri interi dispari tra 1 e 99 usando un'istruzione for. Utilizzate variabili intere sum e count senza segno.
 - Stampate il valore 333.546372 con un'ampiezza di campo di 15 caratteri con precisioni di 1,2,3,4 e 5. Allineate a sinistra l'output. Quali sono i cinque valori che vengono stampati?
 - Calcolate il valore di 2.5 elevato alla potenza di 3 usando la funzione pow. Stampate il risultato con una precisione di 2 con una larghezza di campo di 10 posizioni. Qual è il valore che viene stampato?
 - Stampate gli interi da 1 a 20 usando un ciclo while e la variabile contatore x. Stampate soltanto cinque interi per riga. [Suggerimento: usate il calcolo $x \% 5$. Quando il valore di questo è 0, stampate un carattere newline, altrimenti stampate un carattere tab.]
 - Ripetete l'Esercizio 4.3(d) usando un'istruzione for.
- 4.4 Trovate l'errore in ognuno dei seguenti segmenti di codice e spiegate come correggerlo.
- ```
x = 1;
while (x <= 10);
 ++x;
}
```
  - ```
for (double y = .1; y != 1.0; y += .1) {
    printf("%f\n", y);
}
```
 - ```
switch (n) {
 case 1:
 puts("The number is 1");
 case 2:
 puts("The number is 2");
 break;
```

```

 default:
 puts("The number is not 1 or 2");
 break;
 }
d) Il seguente codice deve stampare i valori da 1 a 10.
n = 1;
while (n < 10) {
 printf("%d ", n++);
}

```

## Risposte agli esercizi di autovalutazione

- 4.1 a) definita. b) indefinita. c) variabile di controllo o contatore. d) `continue`. e) `break`. f) istruzione di selezione `switch`.
- 4.2 a) Falso. Il `default` è facoltativo. Se non è necessaria alcuna azione per difetto, allora non c'è necessità di un caso `default`.
- b) Falso. L'istruzione `break` si usa per uscire dall'istruzione `switch`. L'istruzione `break` non è necessaria in *nessun* caso.
- c) Falso. Entrambe le espressioni relazionali devono essere vere affinché l'intera espressione sia vera quando si usa l'operatore `&&`.
- d) Vero.
- 4.3 a)
`unsigned int sum = 0;`
`for (unsigned int count = 1; count <= 99; count += 2) {`
 `sum += count;`
`}`
- b)
`printf("%-15.1f\n", 333.546372); // stampa 333.5`
`printf("%-15.2f\n", 333.546372); // stampa 333.55`
`printf("%-15.3f\n", 333.546372); // stampa 333.546`
`printf("%-15.4f\n", 333.546372); // stampa 333.5464`
`printf("%-15.5f\n", 333.546372); // stampa 333.54637`
- c)
`printf("%10.2f\n", pow(2.5, 3)); // stampa 15.63`
- d)
`unsigned int x = 1;`
`while (x <= 20) {`
 `printf("%d", x);`
 `if (x % 5 == 0) {`
 `puts("");`
 `}`
 `else {`
 `printf("%s", "\t");`
 `}`
 `++x;`
`}`
  
oppure
`unsigned int x = 1;`
`while (x <= 20) {`
 `if (x % 5 == 0) {`
 `printf("%u\n", x++);`
 `}`

```

 else {
 printf("%u\t", x++);
 }
}
oppure
unsigned int x = 0;
while (++x <= 20) {
 if (x % 5 == 0) {
 printf("%u\n", x);
 }
 else {
 printf("%u\t", x);
 }
}
e) for (unsigned int x = 1; x <= 20; ++x) {
 printf("%u", x);
 if (x % 5 == 0) {
 puts("");
 }
 else {
 printf("%s", "\t");
 }
}
oppure
for (unsigned int x = 1; x <= 20; ++x) {
 if (x % 5 == 0) {
 printf("%u\n", x);
 }
 else {
 printf("%u\t", x);
 }
}

```

- 4.4 a) Errore: il punto e virgola dopo l'intestazione del `while` causa un ciclo infinito. Correzione: sostituite il punto e virgola con `{`, oppure rimuovete sia il `;` che la `}`.  
 b) Errore: viene usato un numero in virgola mobile per controllare un'istruzione di iterazione `for`.  
 Correzione: usare un intero ed eseguire le opportune operazioni per ottenere i valori desiderati.

```

for (int y = 1; y != 10; ++y) {
 printf("%f\n", (float) y / 10);
}

```

- c) Errore: manca l'istruzione `break` nelle istruzioni per il primo `case`.  
 Correzione: aggiungere un'istruzione `break` alla fine delle istruzioni per il primo `case`. Questo non è necessariamente un errore se volete che l'istruzione di `case 2:` venga eseguita ogni volta che viene eseguita l'istruzione di `case 1:`.  
 d) Errore: viene usato un operatore relazionale non appropriato nella condizione di continuazione del `while`. Correzione: usate `<=` invece che `<`.

## Esercizi

4.5 Trovate l'errore. (Nota: vi può essere più di un errore.)

a) `For (x = 100, x >= 1, ++x) {  
 printf("%d\n", x);  
}`

b) Il seguente codice deve stampare un messaggio che dice se un dato numero intero è dispari o pari:

```
switch (value % 2) {
 case 0:
 puts("Even integer");
 case 1:
 puts("Odd integer");
}
```

c) Il seguente codice deve ricevere in ingresso un intero e un carattere e stamparli. Supponete che l'utente scriva in input 100 A.

```
scanf("%d", &intval);
charval = getchar();
printf("Integer: %d\nCharacter: %c\n", intval, charval);
```

d) `for (x = .000001; x == .0001; x += .000001) {  
 printf("%.7f\n", x);  
}`

e) Il seguente codice deve stampare gli interi dispari da 999 a 1:

```
for (x = 999; x >= 1; x += 2) {
 printf("%d\n", x);
}
```

f) Il seguente codice deve stampare gli interi pari da 2 a 100:

```
counter = 2;
Do {
 if (counter % 2 == 0) {
 printf("%u\n", counter);
 }
 counter += 2;
} While (counter < 100);
```

g) Il seguente codice deve sommare gli interi da 100 a 150 (supponete che total sia inizializzato a 0):

```
for (x = 100; x <= 150; ++x) {
 total += x;
}
```

4.6 Stabilite quali valori della variabile di controllo x sono stampati da ognuna delle seguenti istruzioni:

a) `for (x = 2; x <= 13; x += 2) {  
 printf("%u\n", x);  
}`

b) `for (x = 5; x <= 22; x += 7) {  
 printf("%u\n", x);  
}`

- c) `for (x = 3; x <= 15; x += 3) {  
 printf("%u\n", x);  
}  
d) for (x = 1; x <= 5; x += 7) {  
 printf("%u\n", x);  
}  
e) for (x = 12; x >= 2; x -= 3) {  
 printf("%d\n", x);  
}`
- 4.7 Scrivete delle istruzioni `for` che stampino le seguenti sequenze di valori:
- a) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
  - b) 3, 8, 13, 18, 23
  - c) 20, 14, 8, 2, -4, -10
  - d) 19, 27, 35, 43, 51
- 4.8 Cosa fa il seguente programma?
- ```

1 #include <stdio.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     unsigned int x;
6     unsigned int y;
7
8     // stampa il prompt per l'input dell'utente
9     printf("%s", "Enter two unsigned integers in the range 1-20: ");
10    scanf("%u%u", &x, &y); // legge i valori per x e y
11
12    for (unsigned int i = 1; i <= y; ++i) { // conta da 1 a y
13
14        for (unsigned int j = 1; j <= x; ++j) { // conta da 1 a x
15            printf("%s", "@");
16        }
17
18        puts(""); // inizia una nuova riga
19    }
20 }
```
- 4.9 (*Somma di una sequenza di interi*) Scrivete un programma che sommi una sequenza di interi. Supponete che il primo intero letto con `scanf` specifichi il numero di valori che restano da inserire. Il vostro programma deve leggere solo un valore a ogni esecuzione di `scanf`. Una tipica sequenza di input potrebbe essere
- 5 100 200 300 400 500
- dove il 5 indica che i cinque valori successivi si devono sommare.
- 4.10 (*Calcolare la media di una sequenza di interi*) Scrivete un programma che calcoli e stampi la media di diversi numeri interi. Supponete che l'ultimo valore letto con `scanf` sia la sentinella 9999. Una tipica sequenza di input potrebbe essere
- 10 8 11 7 9 9999
- che indica che va calcolata la media di tutti i valori che precedono 9999.

- 4.11 (*Trovare il valore più piccolo*) Scrivete un programma che trovi il più piccolo di diversi numeri interi. Supponete che il primo valore letto specifichi il numero dei restanti valori.
- 4.12 (*Calcolare la somma di numeri interi pari*) Scrivete un programma che calcoli e stampi la somma degli interi pari da 2 a 30.
- 4.13 (*Calcolare il prodotto di numeri interi dispari*) Scrivete un programma che calcoli e stampi il prodotto degli interi dispari da 1 a 15.
- 4.14 (*Fattoriali*) La funzione *fattoriale* è usata frequentemente nei problemi che riguardano la probabilità. Il fattoriale di un intero positivo n (scritto $n!$ e pronunciato " n fattoriale") è uguale al prodotto degli interi positivi da 1 a n . Scrivete un programma che calcoli i fattoriali degli interi da 1 a 5 e stampate i risultati in forma di tabella. Cosa potrebbe impedirvi di calcolare il fattoriale di 20?
- 4.15 (*Programma modificato per l'interesse composto*) Modificate il programma per l'interesse composto del Paragrafo 4.6 in modo da ripetere i suoi passi per i tassi di interesse del 5%, 6%, 7%, 8%, 9% e 10%. Usate un ciclo *for* per variare il tasso di interesse.
- 4.16 (*Programma che stampa triangoli*) Scrivete un programma che stampi separatamente le seguenti figure, una sotto l'altra. Usate dei cicli *for* per generare le figure. Tutti gli asterischi (*) devono essere stampati da una singola istruzione *printf* della forma *printf("%s", "*");* (ciò fa sì che gli asterischi vengano stampati uno accanto all'altro). [Suggerimento: le ultime due figure richiedono che ogni riga cominci con un numero appropriato di spazi.]

(A)	(B)	(C)	(D)
*	*****	*****	*
**	*****	*****	**
***	*****	*****	***
****	*****	*****	****
*****	*****	*****	*****
*****	****	****	*****
*****	***	***	*****
*****	**	**	*****
*****	*	*	*****

- 4.17 (*Calcolare i limiti di credito*) Accumulare denaro diventa sempre più difficile in periodi di recessione, così le compagnie possono diminuire i loro limiti di credito per evitare che i loro conti creditori (il denaro loro dovuto) diventino troppo grandi. In risposta a una prolungata recessione, un'azienda ha dimezzato i limiti di credito dei suoi clienti. In questo modo, se un particolare cliente aveva un limite di credito di \$2000, questo adesso è di \$1000. Se un cliente aveva un limite di credito di \$5000, ora è di \$2500. Scrivete un programma che analizzi lo status di tre clienti di questa azienda. Per ogni cliente vi sono dati:

- Il numero di conto del cliente.
- Il limite di credito del cliente prima della recessione.
- Il saldo attuale di credito del cliente (cioè l'ammontare che il cliente deve all'azienda).

Il vostro programma deve calcolare e stampare il nuovo limite di credito per ciascun cliente e determinare (e stampare) quali clienti hanno il saldo attuale di credito che supera i loro nuovi limiti di credito.

- 4.18 (*Programma che stampa un grafico a barre*) Un'applicazione interessante dei computer è quella che disegna grafici e grafici a barre. Scrivete un programma che legga cinque numeri

(ognuno tra 1 e 30). Per ogni numero letto, il vostro programma deve stampare una riga contenente quel numero di asterischi contigui. Ad esempio, se il vostro programma legge il numero sette, deve stampare *****.

- 4.19 (*Calcolo delle vendite*) Un rivenditore on-line vende cinque differenti prodotti i cui prezzi al dettaglio sono mostrati nella seguente tabella:

Numero del prodotto	Prezzo al dettaglio
1	\$ 2,98
2	\$ 4,50
3	\$ 9,98
4	\$ 4,49
5	\$ 6,87

Scrivete un programma che legga una serie di coppie di numeri come segue:

- a) Numero del prodotto
- b) Quantità venduta in un giorno

Il vostro programma deve usare un'istruzione `switch` per permettervi di determinare il prezzo al dettaglio per ogni prodotto. Inoltre deve calcolare e stampare il valore al dettaglio totale di tutti i prodotti venduti nell'ultima settimana.

- 4.20 (*Tabella di verità*) Completate le seguenti tabelle di verità riempiendo ogni spazio vuoto con 0 o 1.

Condizione1	Condizione2	Condizione1 && Condizione2
0	0	0
0	nonzero	0
nonzero	0	—
nonzero	nonzero	—

Condizione1	Condizione2	Condizione1 Condizione2
0	0	0
0	nonzero	1
nonzero	0	—
nonzero	nonzero	—

Condizione1	!Condizione1
0	1
nonzero	—

- 4.21 Riscrivete il programma della Figura 4.2 in modo che la definizione e l'inizializzazione della variabile `counter` vengano fatte prima dell'istruzione `for`, per stampare il valore di `counter` dopo il termine del ciclo.

- 4.22 (*Calcolo della media dei voti*) Modificate il programma della Figura 4.7 in modo che esso calcoli la media dei voti per una classe.

- 4.23 (*Calcolo con interi dell'interesse composto*) Modificate il programma della Figura 4.6 in modo che esso usi soltanto numeri interi per calcolare l'interesse composto. [Suggerimento: trattate tutte le quantità monetarie come numeri interi di centesimi di dollaro. Poi "spezzate" il risultato nella sua porzione in dollari e nella sua porzione in centesimi usando, rispettivamente, gli operatori di divisione e di resto. Inserite poi un punto.]
- 4.24 Supponete che $i=1$, $j=2$, $k=3$ e $m=2$. Che cosa stampa ciascuna delle seguenti istruzioni?
- `printf("%d", i == 1);`
 - `printf("%d", j == 3);`
 - `printf("%d", i >= 1 && j < 4);`
 - `printf("%d", m <= 99 && k < m);`
 - `printf("%d", j >= i || k == m);`
 - `printf("%d", k + m < j || 3 - j >= k);`
 - `printf("%d", !m);`
 - `printf("%d", !(j - m));`
 - `printf("%d", !(k > m));`
 - `printf("%d", !(j > k));`
- 4.25 (*Tabella di equivalenze fra decimali, binari, ottali ed esadecimali*) Scrivete un programma che stampi una tabella dei valori equivalenti binari, ottali ed esadecimali dei numeri decimali nell'intervallo da 1 a 256. Se non avete familiarità con questi sistemi di numerazione, leggete l'Appendice C prima di cimentarvi con questo esercizio. [Nota: potete stampare un intero come un valore ottale o esadecimale rispettivamente con gli specificatori di conversione `%o` e `XX`.]
- 4.26 (*Calcolo del valore di π*) Calcolate il valore di π in base alla serie infinita

$$\pi = 4 - \frac{4}{3} + \frac{4}{5} - \frac{4}{7} + \frac{4}{9} - \frac{4}{11} + \dots$$

Stampate una tabella che mostri il valore di π approssimato da un termine di questa serie, da due termini, da tre termini, e così via. Quanti termini di questa serie dovete usare per ottenere i valori 3,14? 3,141? 3,1415? 3,14159?

- 4.27 (*Triple pitagoriche*) Un triangolo rettangolo può avere i lati tutti interi. L'insieme di tre valori interi per i lati di un triangolo rettangolo è chiamato tripla pitagorica. Questi tre lati devono soddisfare la relazione per cui la somma dei quadrati di due dei lati è uguale al quadrato dell'ipotenusa. Trovate tutte le triple pitagoriche per il lato 1 (`side1`), il lato 2 (`side2`) e l'ipotenusa, tutti non più grandi di 500. Usate un ciclo `for` annidato tre volte, che tenti semplicemente tutte le possibilità. Questo è un esempio di calcolo a "forza bruta". Per molte persone non è esteticamente attraente, ma vi sono molte ragioni per cui queste tecniche sono importanti. Innanzitutto, con la potenza di calcolo che aumenta a un tale ritmo fenomenale, soluzioni che avrebbero richiesto anni o perfino secoli per essere calcolate con la tecnologia di appena pochi anni fa si possono adesso calcolare in ore, minuti o persino secondi. I chip dei recenti microprocessori possono elaborare un miliardo di istruzioni al secondo! Poi, come apprenderete in corsi più avanzati di informatica, c'è un grande numero di problemi interessanti per i quali non vi è altro approccio algoritmico noto oltre a quello della pura e semplice forza bruta. In questo libro esamineremo molti tipi di metodologie per la risoluzione di problemi. Considereremo molti approcci a forza bruta per svariati e interessanti problemi.

- 4.28 (*Calcolo della paga settimanale*)** Un’azienda paga i suoi impiegati come manager (che ricevono una retribuzione fisso settimanale), come lavoratori a ore (che ricevono una paga fissa all’ora per le prime 40 ore e “una volta e mezza” – cioè 1,5 volte la loro paga all’ora – per lo straordinario), lavoratori con provvigione (che ricevono \$250 più il 5,7% delle loro vendite settimanali lorde) o lavoratori a cottimo (che ricevono una quantità fissa di denaro per ogni articolo che producono; ogni lavoratore a cottimo di questa azienda lavora esclusivamente su un solo tipo di articolo). Scrivete un programma per calcolare la paga settimanale di ogni impiegato. Non conoscete in anticipo il numero degli impiegati. Ogni tipo di impiegato ha il proprio codice paga: i manager hanno il codice paga 1, i lavoratori a ore il 2, i lavoratori a provvigione il 3 e i lavoratori a cottimo il 4. Usate uno *switch* per calcolare la paga di ogni impiegato in base al codice paga di quell’impiegato. All’interno dello *switch*, richiedete all’utente (ossia, all’impiegato che si occupa dei libri paga) di inserire i dati appropriati necessari al vostro programma per calcolare la paga di ogni impiegato in base al suo codice paga. [Nota: potete inserire valori di tipo *double* usando lo specificatore di conversione `%lf` con `scanf`.]
- 4.29 (*Leggi di De Morgan*)** In questo capitolo abbiamo esaminato gli operatori logici `&&`, `||` e `!`. Le Leggi di De Morgan possono talvolta renderci più conveniente esprimere un’espressione logica. Queste leggi stabiliscono che l’espressione `!(condizione1 && condizione2)` è logicamente equivalente all’espressione `(!condizione1 || !condizione2)`. Inoltre, l’espressione `!(condizione1 || condizione2)` è logicamente equivalente all’espressione `(!condizione1 && !condizione2)`. Usate le Leggi di De Morgan per scrivere espressioni equivalenti per ognuna delle seguenti espressioni, e poi scrivete un programma per mostrare che sia l’espressione originaria che l’espressione nuova sono equivalenti in ciascun caso.
- `!(x < 5) && !(y >= 7)`
 - `!(a == b) || !(g != 5)`
 - `!((x <= 8) && (y > 4))`
 - `!((i > 4) || (j <= 6))`
- 4.30 (*Sostituzione di switch con if...else*)** Riscrivete il programma della Figura 4.7 sostituendo l’istruzione *switch* con un’istruzione annidata *if...else*; fate attenzione a trattare adeguatamente il caso *default*. Quindi riscrivete questa nuova versione sostituendo l’istruzione annidata *if...else* con una serie di istruzioni *if*; qui fate anche attenzione a trattare adeguatamente il caso *default* (ciò è più difficile rispetto alla versione annidata *if...else*). Questo esercizio dimostra che lo *switch* è una comodità e che qualunque istruzione *switch* può essere scritta soltanto con istruzioni di selezione singola.
- 4.31 (*Programma che stampa un rombo*)** Scrivete un programma che stampi la seguente forma a rombo. Potete usare delle istruzioni `printf` che stampano un singolo asterisco (*) o un singolo spazio. Massimizzate l’uso dell’iterazione (con istruzioni annidate *for*) e minimizzate il numero di istruzioni `printf`.

```

*
***
*****
*****
*****
*****
*****
***
```

- 4.32 (Programma che stampa un rombo modificato)** Modificate il programma scritto nell'Esercizio 4.31 per leggere un numero dispari compreso nell'intervallo da 1 a 19 per specificare il numero di righe nel rombo. Il vostro programma dovrebbe poi visualizzare un rombo della dimensione appropriata.
- 4.33 (Numerali romani equivalenti di valori decimali)** Scrivete un programma che stampi una tabella dei numerali romani equivalenti dei numeri decimali nell'intervallo da 1 a 100.
- 4.34** Descrivete il processo che usereste per sostituire un ciclo `do...while` con un equivalente ciclo `while`. Quale problema si verifica quando cercate di sostituire un ciclo `while` con un equivalente ciclo `do...while`? Supponete che vi sia stato detto di rimuovere un ciclo `while` e di sostituirlo con un `do...while`. Quale ulteriore istruzione di controllo vi servirebbe e come la usereste per assicurarvi che il programma risultante si comporti esattamente come quello originario?
- 4.35** Un'obiezione all'istruzione `break` e all'istruzione `continue` riguarda il fatto che ciascuna di esse non è strutturata. In realtà, le istruzioni `break` e `continue` possono sempre essere sostituite da istruzioni strutturate, sebbene fare ciò possa creare problemi. Descrivete in generale come rimuovereste da un ciclo di un programma una qualunque istruzione `break` e come la sostituireste con una equivalente strutturata. [Suggerimento: l'istruzione `break` esce da un ciclo partendo dall'interno del corpo del ciclo. L'altro modo per uscire è quello di far fallire il test di continuazione del ciclo. Nel test di continuazione del ciclo, considerate l'uso di un secondo test che indica "uscire subito a causa di una condizione `break`".] Usate la tecnica che avete sviluppato qui per rimuovere l'istruzione `break` dal programma della Figura 4.11.
- 4.36** Che cosa fa il seguente segmento di programma?
- ```

1 for (unsigned int i = 1; i <= 5; ++i) {
2 for (unsigned int j = 1; j <= 3; ++j) {
3 for (unsigned int k = 1; k <= 4; ++k) {
4 printf("%s", "*");
5 }
6 puts("");
7 }
8 puts("");
9 }
```
- 4.37** Descrivete in generale come rimuovereste una qualsiasi istruzione `continue` da un ciclo in un programma e come sostituireste quell'istruzione con una equivalente strutturata. Usate la tecnica che avete sviluppato qui per rimuovere l'istruzione `continue` dal programma della Figura 4.12.
- 4.38 (La canzone “The Twelve Days of Christmas”)** Scrivete un programma che utilizzi le istruzioni di iterazione e l'istruzione `switch` per stampare la canzone “The Twelve Days of Christmas”. Va usata una sola istruzione `switch` per stampare il giorno (cioè, “first”, “second”, ecc.). Dovete poi usare un'istruzione `switch` separata per stampare il resto di ogni verso.
- 4.39 (Limitazioni di numeri in virgola mobile per quantità monetarie)** Il Paragrafo 4.6 ha messo in guardia sull'uso di valori in virgola mobile per calcoli monetari. Provate questo esperimento: Create una variabile `float` con il valore `1000000.00`. Poi aggiungete a tale variabile il valore letterale `float 0.12f`. Stampate il risultato usando `printf` e lo specificatore di conversione `%.2f`. Che cosa ottenete?

## Prove sul campo

**4.40 (Crescita della popolazione mondiale)** La popolazione mondiale è considerevolmente aumentata nel corso dei secoli. La crescita continua potrebbe alla fine sfidare i limiti di aria respirabile, di acqua potabile, di colture arabili e di altre risorse limitate. È evidente che negli ultimi anni la crescita è rallentata e che la popolazione mondiale potrebbe qualche volta raggiungere il picco massimo in questo secolo per poi iniziare a calare.

Per questo esercizio ricercate on-line articoli sull'aumento della popolazione mondiale. *Assicuratevi di prendere in esame vari punti di vista.* Ottenete stime per l'attuale popolazione mondiale e il suo tasso di crescita (la percentuale con cui è probabile che aumenti quest'anno). Scrivete un programma che calcoli la crescita della popolazione mondiale ogni anno per i prossimi 75 anni, *usando l'assunto che il tasso della crescita attuale resterà costante.* Stampate i risultati in una tabella. La prima colonna dovrebbe visualizzare l'anno (dall'anno 1 all'anno 75), la seconda la popolazione mondiale prevista per la fine di quell'anno, e la terza l'aumento numerico nella popolazione mondiale che si verificherebbe quell'anno. Usando i vostri risultati, determinate l'anno in cui la popolazione sarebbe il doppio di oggi, qualora continuasse il tasso di crescita di quest'anno.

**4.41 (Alternative al piano tasse; La “Tassa Equa”)** Vi sono molte proposte per rendere le tasse più eque. Per informazioni sull'iniziativa Tassa Equa negli Stati Uniti visitate il sito

[www.fairtax.org](http://www.fairtax.org)

Fate ricerche su come funziona la Tassa Equa. Un suggerimento è quello di eliminare le imposte sul reddito e la maggior parte delle altre tasse a favore di un 23% di imposta sui consumi su tutti i prodotti e servizi che acquistate. Alcuni oppositori alla Tassa Equa contestano la percentuale del 23% e dicono che, per via del modo in cui viene calcolata la tassa, sarebbe più esatto dire che la percentuale dovrebbe essere del 30%. Controllate ciò attentamente. Scrivete un programma che richieda all'utente di inserire le spese effettuate in varie categorie (es. alloggio, generi alimentari, abbigliamento, trasporti, educazione, assistenza sanitaria, vacanze), quindi stampate la Tassa Equa stimata che la persona pagherebbe.

**OBIETTIVI**

- Costruire programmi in maniera modulare partendo da piccoli elementi chiamati funzioni.
- Usare comuni funzioni matematiche della Libreria Standard del C.
- Creare nuove funzioni.
- Usare i meccanismi di passaggio delle informazioni tra le funzioni.
- Imparare come il meccanismo di chiamata/ritorno delle funzioni è supportato dalla pila delle chiamate delle funzioni e dai record di attivazione.
- Usare le tecniche di simulazione basate sulla generazione di numeri casuali.
- Scrivere e usare funzioni che chiamano se stesse.

## 5.1 Introduzione

La maggior parte dei programmi per computer che risolvono problemi reali ha dimensioni molto più grandi rispetto ai programmi presentati nei primi capitoli. L'esperienza ha dimostrato che il modo migliore per sviluppare e mantenere un programma di grandi dimensioni è quello di costruirlo partendo da elementi più piccoli, ognuno dei quali è più maneggevole del programma originario. Questa tecnica è chiamata **dividi e conquista**. Questo capitolo descrive alcune caratteristiche chiave del linguaggio C, che facilitano la progettazione, l'implementazione, l'utilizzo e la manutenzione di programmi di grandi dimensioni.

## 5.2 Modularizzazione dei programmi in C

In C si utilizzano le funzioni per la modularizzazione dei programmi. I programmi sono tipicamente scritti combinando la scrittura di nuove funzioni con l'utilizzazione di funzioni *preconfezionate* disponibili nella Libreria Standard del C. In questo capitolo prenderemo in esame tutte e due le tipologie di funzioni. La Libreria Standard del C fornisce una ricca collezione di funzioni per eseguire comuni *calcoli matematici*, *manipolazioni di stringhe*, *manipolazioni di caratteri*, *input/output* e molte altre operazioni utili. Ciò facilita il vostro lavoro, perché queste funzioni forniscono molte delle capacità che vi occorrono.



## Buona pratica di programmazione 5.1

*Acquisite familiarità con la ricca collezione di funzioni della Libreria Standard del C.*



## Osservazione di ingegneria del software 5.1

*Evitate di reinventare la ruota. Quando è possibile, usate le funzioni della Libreria Standard del C invece di scrivere nuove funzioni. Ciò permette di ridurre il tempo di sviluppo dei programmi. Queste funzioni sono scritte da esperti, ben testate ed efficienti.*



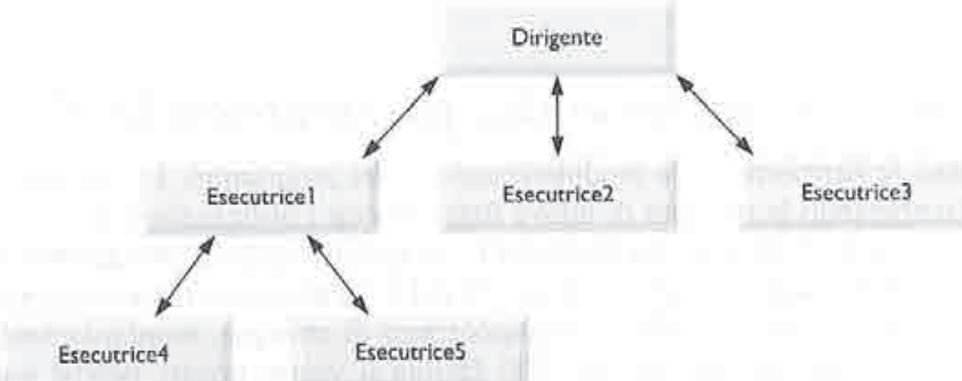
## Portabilità 5.1

*L'uso delle funzioni della Libreria Standard del C contribuisce a rendere i programmi più portabili.*

Il linguaggio C e la Libreria Standard sono *entrambi* specificati dal C standard, ed entrambi sono forniti dai sistemi conformi al C standard (con l'eccezione di alcune librerie che sono considerate opzionali). Le funzioni `printf`, `scanf` e `pow`, usate nei capitoli precedenti, sono funzioni della Libreria Standard.

Potete scrivere funzioni per definire compiti specifici, che possono essere usate in molti punti di un programma. Queste sono chiamate **funzioni definite dal programmatore**. Le particolari istruzioni che definiscono una funzione sono scritte una sola volta e sono nascoste alle altre funzioni.

Una funzione è invocata da una **chiamata di funzione**, che specifica il nome della funzione e fornisce le informazioni (come argomenti) di cui la funzione ha bisogno per eseguire il suo compito designato. Qualcosa di analogo a ciò è la forma gerarchica del management. Una dirigente (la **funzione che chiama o chiamante**) chiede a un'impiegata esecutrice (la **funzione chiamata**) di eseguire un compito e di fare rapporto quando il compito è eseguito (Figura 5.1). Ad esempio, una funzione che deve stampare informazioni sullo schermo chiama la funzione esecutrice `printf` per eseguire quel compito, quindi `printf` stampa le informazioni e, quando il suo compito è completato, riferisce (o torna) alla funzione chiamante. La funzione "dirigente" *non* sa come la funzione "esecutrice" esegue i suoi compiti. La funzione esecutrice può chiamare altre funzioni esecutrici e la dirigente può essere ignara di ciò. Vedremo presto come questo "nascondere" i dettagli di implementazione favorisca una buona ingegneria del software. La Figura 5.1 mostra come una funzione dirigente comunichi con diverse funzioni esecutrici in maniera gerarchica. Si noti che **Esecutrice1** agisce a sua volta come una funzione dirigente verso **Esecutrice4** ed **Esecutrice5**. Le relazioni tra le funzioni possono essere anche di natura diversa rispetto alla struttura gerarchica illustrata in questa figura.



**Figura 5.1** Rapporto gerarchico tra funzione dirigente e funzioni esecutrici.

## 5.3 Funzioni della libreria math

Le funzioni della libreria math permettono di eseguire certi comuni calcoli matematici. Ne useremo qui alcune al fine di introdurre il concetto di funzione. Nel seguito del libro esamineremo molte altre funzioni della Libreria Standard del C.

Le funzioni sono usate normalmente in un programma scrivendo il nome della funzione seguito da una parentesi sinistra, seguita poi dall'*argomento* (o da un elenco di argomenti separati da virgola) della funzione, seguito infine da una parentesi destra. Ad esempio, per calcolare e stampare la radice quadrata di 900.0 potete scrivere

```
printf("%.2f", sqrt(900.0));
```

Quando questa istruzione viene eseguita, la funzione della libreria math `sqrt` è *chiamata* a calcolare la radice quadrata del numero contenuto entro le parentesi (900.0). Il numero 900.0 è l'*argomento* della funzione `sqrt`. L'istruzione precedente stampa 30.00. La funzione `sqrt` riceve un argomento di tipo `double` e restituisce un risultato di tipo `double`. Tutte le funzioni nella libreria math che restituiscono valori in virgola mobile restituiscono il tipo di dati `double`. Si noti che i valori `double`, come i valori `float`, possono essere stampati usando la specificazione di conversione `%f`. Potete anche memorizzare il risultato di una chiamata di una funzione in una variabile per un uso successivo come in:

```
double result = sqrt(900.0);
```

### Prevenzione di errori 5.1

 Quando usate le funzioni della libreria math, includete l'intestazione `math.h` usando la direttiva del preprocessore `#include <math.h>`.

Gli argomenti di una funzione possono essere costanti, variabili o espressioni. Se `c1 = 13.0`, `d = 3.0` e `f = 4.0`, l'istruzione

```
printf("%.2f", sqrt(c1 + d * f));
```

calcola e stampa la radice quadrata di  $13.0 + 3.0 * 4.0 = 25.0$ , cioè 5.00.

La Figura 5.2 riassume alcune delle funzioni della libreria math del C. Nella figura le variabili `x` e `y` sono di tipo `double`. Lo standard C11 aggiunge un'ampia gamma di funzionalità in virgola mobile e per operare con i numeri complessi.

## 5.4 Funzioni

Le funzioni permettono di rendere modulare un programma. Tutte le variabili definite nelle definizioni di funzione sono variabili locali: è possibile accedervi solo all'interno della funzione nella quale sono definite. La maggior parte delle funzioni ha una lista di parametri che permettono la comunicazione di informazioni tra funzioni tramite argomenti nelle chiamate delle funzioni. I parametri di una funzione sono anche variabili locali di quella funzione.

### Osservazione di ingegneria del software 5.2

 In programmi contenenti molte funzioni, `main` è spesso implementata come un insieme di chiamate a funzioni che effettuano il grosso del lavoro del programma.

| Funzione                | Descrizione                                                | Esempio                                                                                                                       |
|-------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>sqrt(x)</code>    | radice quadrata di $x$                                     | <code>sqrt(900.0)</code> è uguale a 30.0<br><code>sqrt(9.0)</code> è uguale a 3.0                                             |
| <code>cbrt(x)</code>    | radice cubica di $x$ (solo per il C99 e il C11)            | <code>cbrt(27.0)</code> è uguale a 3.0<br><code>cbrt(-8.0)</code> è uguale a -2.0                                             |
| <code>exp(x)</code>     | funzione esponenziale $e^x$                                | <code>exp(1.0)</code> è uguale a 2.718282<br><code>exp(2.0)</code> è uguale a 7.389056                                        |
| <code>log(x)</code>     | logaritmo naturale di $x$ (in base $e$ )                   | <code>log(2.718282)</code> è uguale a 1.0<br><code>log(7.389056)</code> è uguale a 2.0                                        |
| <code>log10(x)</code>   | logaritmo di $x$ (in base 10)                              | <code>log10(1.0)</code> è uguale a 0.0<br><code>log10(10.0)</code> è uguale a 1.0<br><code>log10(100.0)</code> è uguale a 2.0 |
| <code>fabs(x)</code>    | valore assoluto di $x$ come numero in virgola mobile       | <code>fabs(13.5)</code> è uguale a 13.5<br><code>fabs(0.0)</code> è uguale a 0.0<br><code>fabs(-13.5)</code> è uguale a 13.5  |
| <code>ceil(x)</code>    | arrotonda $x$ all'intero più piccolo non minore di $x$     | <code>ceil(9.2)</code> è uguale a 10.0<br><code>ceil(-9.8)</code> è uguale a -9.0                                             |
| <code>floor(x)</code>   | arrotonda $x$ all'intero più grande non maggiore di $x$    | <code>floor(9.2)</code> è uguale a 9.0<br><code>floor(-9.8)</code> è uguale a -10.0                                           |
| <code>pow(x, y)</code>  | $x$ elevato alla potenza $y$ ( $x^y$ )                     | <code>pow(2, 7)</code> è uguale a 128.0<br><code>pow(9, .5)</code> è uguale a 3.0                                             |
| <code>fmod(x, y)</code> | resto di $x/y$ come numero in virgola mobile               | <code>fmod(13.657, 2.333)</code> è uguale a 1.992                                                                             |
| <code>sin(x)</code>     | funzione trigonometrica seno di $x$ ( $x$ in radianti)     | <code>sin(0.0)</code> è uguale a 0.0                                                                                          |
| <code>cos(x)</code>     | funzione trigonometrica coseno di $x$ ( $x$ in radianti)   | <code>cos(0.0)</code> è uguale a 1.0                                                                                          |
| <code>tan(x)</code>     | funzione trigonometrica tangente di $x$ ( $x$ in radianti) | <code>tan(0.0)</code> è uguale a 0.0                                                                                          |

**Figura 5.2** Funzioni della libreria math comunemente usate.

Vi sono svariate motivazioni per “funzionalizzare” un programma. L’approccio *dividi e conquista* rende più fattibile lo sviluppo del programma. Un’altra motivazione sta nella **riusabilità del software**, poiché si possono usare le funzioni esistenti come *blocchi costituenti* per creare nuovi programmi. La riutilizzabilità del software è uno dei fattori più importanti nell’ambito dell’approccio alla *programmazione orientata agli oggetti*, sul quale imparerete di più quando studierete i linguaggi derivati dal C, come C++, Objective-C, Java, C# (pronunciato “C sharp”) e Swift. Con una buona scelta dei nomi e delle definizioni delle funzioni si possono creare programmi partendo da funzioni standardizzate che eseguono compiti specifici, piuttosto che costruirli usando un codice sviluppato personalmente. Ciò è noto come **astrazione**. Usiamo l’astrazione ogni volta che usiamo funzioni della Libreria Standard come `printf`, `scanf` e `pow`. Una terza motivazione sta nell’evitare di ripetere il codice in un programma. Impacchettare il codice come funzione ne permette l’esecuzione in altri punti del programma semplicemente chiamando la funzione.



### Osservazione di Ingegneria del software 5.3

Ogni funzione deve limitarsi a eseguire un singolo compito ben definito e il nome della funzione deve esprimere quel compito. Questo facilita l'astrazione e favorisce la riutilizzabilità del software.



### Osservazione di Ingegneria del software 5.4

Se non sapete scegliere un nome conciso che indichi il compito della funzione, è possibile che la vostra funzione stia tentando di eseguire troppi compiti diversi. Di solito, è meglio spezzare una funzione di questo tipo in varie funzioni più piccole. Questa operazione è detta scomposizione.

## 5.5 Definizioni di funzioni

Ogni programma che abbiamo presentato consiste in una funzione chiamata `main` che chiama le funzioni della Libreria Standard per eseguire i suoi compiti. Vediamo adesso come scrivere nuove funzioni *definite dal programmatore*.

### 5.5.1 Funzione square

Considerate un programma che usa una funzione `square` per calcolare e stampare i quadrati dei numeri interi da 1 a 10 (Figura 5.3).

```

1 // Fig. 5.3: fig05_03.c
2 // Creazione e uso di una funzione definita dal programmatore.
3 #include <stdio.h>
4
5 int square(int y); // prototipo di funzione
6
7 int main(void)
8 {
9 // ripeti 10 volte e ogni volta calcola e stampa il quadrato di x
10 for (int x = 1; x <= 10; ++x) {
11 printf("%d ", square(x)); // chiamata della funzione
12 }
13
14 puts("");
15 }
16
17 // definizione della funzione square
18 int square(int y) // y e' una copia dell'argomento della funzione
19 {
20 return y * y; // restituisce il quadrato di y come un valore int
21 }
```

|   |   |   |    |    |    |    |    |    |     |
|---|---|---|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 4 | 9 | 16 | 25 | 36 | 49 | 64 | 81 | 100 |
|---|---|---|----|----|----|----|----|----|-----|

**Figura 5.3** Creazione e uso di una funzione definita dal programmatore.

**Chiamata della funzione square**

La funzione `square` è invocata o chiamata nella funzione `main` all'interno dell'istruzione `printf` (riga 11).

```
printf("%d ", square(x)); // chiamata della funzione
```

La funzione `square` riceve una *copia* del valore dell'*argomento* `x` nel *parametro* `y` (riga 18). Poi `square` calcola `y * y` e restituisce il risultato alla riga 11 nella funzione `main` dove `square` è stata invocata (riga 11). La riga 11 continua passando il risultato `square` alla funzione `printf`, che stampa il risultato sullo schermo. Questo processo è ripetuto 10 volte, una volta per ogni iterazione dell'istruzione `for`.

**Definizione della funzione square**

La definizione della funzione `square` (righe 18–21) evidenzia che `square` si aspetta un parametro intero `y`. La parola chiave `int` che precede il nome della funzione (riga 18) indica che `square` *restituisce* un risultato intero. L'istruzione `return` in `square` restituisce il valore dell'espressione `y * y` (cioè il risultato del calcolo) alla funzione chiamante.

**Prototipo della funzione square**

La riga 5

```
int square(int y); // prototipo di funzione
```

è un *prototipo* di funzione (chiamato anche *dichiarazione di funzione*). L'`int` tra parentesi informa il compilatore che `square` si aspetta di *ricevere* un valore intero dalla funzione chiamante. L'`int` alla *sinistra* del nome della funzione `square` informa il compilatore che `square` *restituisce* alla funzione chiamante un risultato intero. Il compilatore fa riferimento al prototipo della funzione per controllare che in ogni chiamata alla funzione `square` (riga 11):

- il numero di argomenti sia corretto,
- i tipi degli argomenti siano corretti,
- i tipi degli argomenti siano in ordine corretto,
- il tipo di ritorno sia coerente con il contesto nel quale è chiamata la funzione.

I prototipi delle funzioni saranno esaminati in dettaglio nel Paragrafo 5.6.

**Formato della definizione di una funzione**

Il formato della definizione di una funzione è

```
tipo-del-valore-di-ritorno nome-della-funzione (lista-dei-parametri)
{
 istruzioni
}
```

Il *nome della funzione* è qualsiasi identificatore valido. Il *tipo del valore di ritorno* è il tipo del risultato restituito alla funzione chiamante. Il *tipo di valore di ritorno void* indica che una funzione *non* restituisce alcun valore. Insieme, il *tipo del valore di ritorno*, il *nome della funzione* e la *lista dei parametri* costituiscono la cosiddetta *intestazione della funzione*.



## Prevenzione di errori 5.2

Controllate che le vostre funzioni che devono restituire valori lo facciano. Controllate che le vostre funzioni che non devono restituire valori non lo facciano.

La *lista di parametri* è un elenco separato da virgolette che specifica i parametri che la funzione riceve quando è chiamata. Se una funzione non riceve alcun valore, la *lista di parametri* è `void`. Per ogni parametro deve essere specificato esplicitamente un tipo.



## Errore comune di programmazione 5.1

Specificare parametri di funzione dello stesso tipo come `double x, y` invece di `double x, double y` genera un errore di compilazione.



## Errore comune di programmazione 5.2

Porre un punto e virgola dopo la parentesi destra che chiude la lista dei parametri della definizione di una funzione è un errore di sintassi.



## Errore comune di programmazione 5.3

Ridefinire un parametro come variabile locale in una funzione genera un errore di compilazione.



## Buona pratica di programmazione 5.2

Sebbene non sia scorretto fare così, non usate gli stessi nomi per gli argomenti di una funzione e per i corrispondenti parametri nella definizione della funzione. Ciò contribuisce a evitare ambiguità.

### Corpo della funzione

Le istruzioni all'interno delle parentesi graffe formano il **corpo della funzione**, che è anche detto **blocco**. Le variabili possono essere dichiarate in qualunque blocco e i blocchi si possono annidare (mentre le funzioni non si possono annidare).



## Errore comune di programmazione 5.4

Definire una funzione dentro un'altra funzione è un errore di sintassi.



## Buona pratica di programmazione 5.3

Scegliere nomi significativi per le funzioni e nomi significativi per i parametri rende i programmi più leggibili e contribuisce a evitare un uso eccessivo di commenti.



## Osservazione di ingegneria del software 5.5

Funzioni di piccole dimensioni favoriscono la riutilizzabilità del software.



## Osservazione di ingegneria del software 5.6

I programmi devono essere scritti come collezioni di funzioni di piccole dimensioni. Ciò rende i programmi più facili da scrivere, correggere, mantenere e modificare.



### Osservazione di ingegneria del software 5.7

*Una funzione che richiede un gran numero di parametri sta forse eseguendo troppi compiti. Prendete in considerazione la suddivisione della funzione in funzioni più piccole che eseguano i vari compiti separatamente. L'intestazione della funzione deve stare, se possibile, su una riga.*



### Osservazione di ingegneria del software 5.8

*Il prototipo, l'intestazione e le chiamate di una funzione devono tutti concordare nel numero, nel tipo, nell'ordine degli argomenti e dei parametri, nonché nel tipo del valore di ritorno.*

#### Restituzione del controllo da una funzione

Vi sono tre modi per restituire il controllo da una funzione chiamata al punto in cui tale funzione è stata invocata. Se la funzione non restituisce alcun risultato, il controllo viene semplicemente restituito quando viene raggiunta la parentesi graffa destra che termina la funzione o quando si esegue l'istruzione

```
return;
```

Se la funzione *restituisce* un risultato, l'istruzione

```
return espressione;
```

restituisce alla funzione chiamante il valore di *espressione*.

#### Il tipo di ritorno della funzione main

Notate che la funzione `main` ha un tipo di ritorno `int`. Il valore di ritorno di `main` si usa per indicare se il programma ha completato l'esecuzione correttamente. In versioni precedenti del C avremmo scritto esplicitamente

```
return 0;
```

alla fine di `main` (0 indica che un programma è stato eseguito con successo). Il C standard stabilisce che `main` restituisce implicitamente 0 se omettete la precedente istruzione (come abbiamo fatto in questo libro). Potete far restituire esplicitamente a `main` valori diversi da zero per indicare che si è verificato un problema durante l'esecuzione del vostro programma. Per informazioni su come segnalare il fallimento di un programma, fate riferimento alla documentazione relativa all'ambiente del vostro specifico sistema operativo.

## 5.5.2 La funzione maximum

Il nostro secondo esempio usa una funzione `maximum` definita dal programmatore per identificare e restituire il maggiore di tre numeri interi (Figura 5.4). Gli interi sono letti con `scanf` (riga 14), poi vengono passati a `maximum` (riga 18), che trova l'intero maggiore. Questo valore è restituito a `main` con l'istruzione `return` in `maximum` (riga 35). L'istruzione `printf` nella riga 18 stampa quindi il valore restituito da `maximum`.

```

1 // Fig. 5.4: fig05_04.c
2 // Trovare il massimo di tre interi.
3 #include <stdio.h>
4
```

```

5 int maximum(int x, int y, int z); // prototipo di funzione
6
7 int main(void)
8 {
9 int number1; // primo intero inserito dall'utente
10 int number2; // secondo intero inserito dall'utente
11 int number3; // terzo intero inserito dall'utente
12
13 printf("%s", "Enter three integers: ");
14 scanf("%d%d%d", &number1, &number2, &number3);
15
16 // number1, number2 e number3 sono argomenti
17 // nella chiamata della funzione maximum
18 printf("Maximum is: %d\n", maximum(number1, number2, number3));
19 }
20
21 // definizione della funzione maximum
22 // x, y e z sono parametri
23 int maximum(int x, int y, int z)
24 {
25 int max = x; //supponi che x sia il maggiore
26
27 if (y > max) { // se y e' più grande di max,
28 max = y; // assegna y a max
29 }
30
31 if (z > max) { // se z e' più grande di max,
32 max = z; // assegna z a max
33 }
34
35 return max; // max e' il valore più grande
36 }

```

Enter three integers: 22 85 17  
 Maximum is: 85

Enter three integers: 47 32 14  
 Maximum is: 47

Enter three integers: 35 8 79  
 Maximum is: 79

**Figura 5.4** Trovare il massimo di tre interi.

La funzione inizialmente presuppone che il suo primo argomento (memorizzato nel parametro `x`) sia il maggiore e lo assegna a `max` (riga 25). Successivamente, l'istruzione `if` alle righe 27–29 determina se `y` è maggiore di `max` e, in caso affermativo, assegna `y` a `max`. Poi, l'istruzione `if` alle righe 31–33 determina se `z` è maggiore di `max` e, in caso affermativo, assegna `z` a `max`. Infine, la riga 35 restituisce `max` alla funzione chiamante.

## 5.6 Prototipi di funzioni: uno sguardo più approfondito

Un'importante caratteristica del C è il prototipo di una funzione. Questa caratteristica è stata presa in prestito dal C++. Il compilatore usa i prototipi di funzione per convalidare le chiamate delle funzioni. Le versioni precedenti del C *non* eseguivano questo genere di controllo, così era possibile chiamare le funzioni in maniera impropria senza che il compilatore individuasse gli errori. Simili chiamate potevano produrre errori irreversibili al momento dell'esecuzione o errori non irreversibili che causavano problemi indefinibili, difficili da scoprire. I prototipi di funzione correggono questa mancanza.



### Buona pratica di programmazione 5.4

*Includete i prototipi di funzione per tutte le funzioni, così da trarre vantaggio dalle capacità di controllo dei tipi del C. Usate le direttive per il preprocessore #include per ottenere dai file di intestazione relativi alle librerie utilizzate i prototipi di funzione per le funzioni della Libreria Standard, o per includere le intestazioni contenenti i prototipi di funzione per le funzioni sviluppate da voi e/o dai membri del vostro gruppo.*

Il prototipo di funzione per maximum nella Figura 5.4 (riga 5) è

```
int maximum(int x, int y, int z); // prototipo di funzione
```

Esso stabilisce che maximum riceve tre argomenti di tipo int e restituisce un risultato di tipo int. Notate che il prototipo di funzione coincide con la prima riga della definizione di maximum.



### Buona pratica di programmazione 5.5

*Includete i nomi dei parametri nei prototipi di funzione per scopi di documentazione. Il compilatore ignora questi nomi, quindi il prototipo int maximum(int, int, int); è valido..*



### Errore comune di programmazione 5.5

*Dimenticare il punto e virgola alla fine del prototipo di una funzione è un errore di sintassi.*

#### Errori di compilazione

La chiamata di una funzione che non si accorda con il prototipo della funzione stessa genera un errore di *compilazione*. Viene generato un errore anche se non concordano tra loro il prototipo e la definizione della funzione. Ad esempio, nella Figura 5.4, se il prototipo di funzione fosse stato scritto

```
void maximum(int x, int y, int z);
```

il compilatore avrebbe generato un errore, perché il tipo di ritorno void nel prototipo di funzione sarebbe stato diverso dal tipo di ritorno int dell'intestazione della funzione.

#### Coercizione degli argomenti e “normali regole di conversione aritmetica”

Un'altra importante caratteristica dei prototipi di funzione è la *coercione degli argomenti*, ossia la forzatura nei confronti degli argomenti perché essi siano del tipo appropriato. Ad esempio, la

funzione della libreria math `sqrt` può essere chiamata con un argomento intero anche se il prototipo della funzione in `<math.h>` specifica un parametro `double`; anche in questo caso la funzione opererà correttamente. L'istruzione

```
printf("%.3f\n", sqrt(4));
```

calcola correttamente `sqrt(4)` e stampa il valore 2.000. Il prototipo della funzione fa sì che il compilatore converta una *copia* del valore `int` 4 nel valore `double` 4.0 prima che tale *copia* sia passata a `sqrt`. In generale, i valori degli argomenti che non corrispondono precisamente ai tipi dei parametri nel prototipo della funzione vengono convertiti nel tipo adatto prima che la funzione sia chiamata. Queste conversioni possono portare a risultati scorretti se non si seguono le normali regole di conversione aritmetica del C. Queste regole specificano come i valori possono essere convertiti in altri tipi senza perdere dati. Nel nostro esempio relativo a `sqrt`, un `int` viene convertito automaticamente in un `double` senza che venga modificato il suo valore (perché `double` può rappresentare un intervallo di valori molto più grande di `int`). Tuttavia, la conversione di un `double` in un `int` fa sì che venga *troncata* la parte frazionaria di `double`, modificando così il valore originario. Convertire tipi interi più grandi in tipi interi più piccoli (es. `long` in `short`) può anche produrre valori modificati.

Le normali regole di conversione aritmetica si applicano automaticamente alle espressioni contenenti valori di due tipi di dati diversi (dette anche espressioni con tipi misti) e sono gestite dal compilatore. In un'espressione con tipi misti il compilatore fa una copia temporanea del valore che deve essere convertito, quindi converte la copia nel tipo "più alto" nell'espressione (questo è noto come *promozione*). Le normali regole di conversione aritmetica per un'espressione di tipo misto, contenente almeno un valore in virgola mobile, sono:

- Se uno dei valori è un `long double`, l'altro si converte in un `long double`.
- Se uno dei valori è un `double`, l'altro si converte in un `double`.
- Se uno dei valori è un `float`, l'altro si converte in un `float`.

Se l'espressione con tipi misti contiene solo tipi interi, le normali conversioni aritmetiche specificano un insieme di regole di promozione intera. Nella *maggior parte* dei casi i tipi interi più in basso nella Figura 5.5 si convertono nei tipi più in alto. Il Paragrafo 6.3.1 del documento del C standard specifica i dettagli completi degli operandi aritmetici e le normali regole di conversione aritmetica. La Figura 5.5 elenca i tipi di dati in virgola mobile e interi con le specificazioni di conversione di ogni tipo per `printf` e `scanf`.

Un valore si può convertire in un tipo più basso *soltanente* assegnando esplicitamente il valore a una variabile di tipo più basso, o usando un operatore *cast*. Gli argomenti nella chiamata di una funzione si convertono nei tipi dei parametri specificati nel prototipo della funzione, come se gli argomenti fossero assegnati direttamente a variabili di quei tipi. Se la nostra funzione `square` che utilizza un parametro `int` (Figura 5.3) è chiamata con argomento in virgola mobile, l'argomento viene convertito in un `int` (un tipo più basso) e `square` normalmente restituisce un valore scorretto. Ad esempio, `square(4.5)` restituisce 16, non 20.25.



### Errore comune di programmazione 5.6

Convertire da un tipo di dati più alto nella gerarchia di promozione in un tipo più basso può cambiare il valore dei dati. In tali casi molti compilatori emettono avvisi.

| Tipo di dati                  | Specificazione di conversione per printf | Specificazione di conversione per scanf |
|-------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <i>Tipi in virgola mobile</i> |                                          |                                         |
| long double                   | %Lf                                      | %Lf                                     |
| double                        | %f                                       | %lf                                     |
| float                         | %f                                       | %f                                      |
| <i>Tipi interi</i>            |                                          |                                         |
| unsigned long long int        | %llu                                     | %llu                                    |
| long long int                 | %lld                                     | %lld                                    |
| unsigned long int             | %lu                                      | %lu                                     |
| long int                      | %ld                                      | %ld                                     |
| unsigned int                  | %u                                       | %u                                      |
| int                           | %d                                       | %d                                      |
| unsigned short                | %hu                                      | %hu                                     |
| short                         | %hd                                      | %hd                                     |
| char                          | %c                                       | %c                                      |

**Figura 5.5** Tipi di dati aritmetici e le loro specificazioni di conversione.

Se non vi è alcun prototipo per una funzione, il compilatore forma il proprio la prima volta che incontra la funzione, ossia o la sua definizione o una sua chiamata. Ciò tipicamente fa emettere messaggi di avviso o messaggi di errore, a seconda del compilatore.



### Prevenzione di errori 5.3

*Include sempre i prototipi di una funzione per le funzioni che definite o usate nel vostro programma, in modo da prevenire errori e avvisi al momento della compilazione.*



### Osservazione di ingegneria del software 5.9

*Il prototipo di una funzione posto al di fuori della definizione di qualsiasi altra funzione si rivolge a tutte le chiamate della funzione che compaiono nel file dopo il prototipo della funzione. Il prototipo di una funzione posto all'interno di un'altra funzione si rivolge soltanto alle chiamate fatte in quella funzione.*

## 5.7 Pila delle chiamate delle funzioni e record di attivazione

Per comprendere come il C esegua le chiamate delle funzioni, dobbiamo innanzitutto considerare una struttura di dati (cioè un insieme di dati correlati) nota come **pila** o **stack**. Pensate a una pila come a qualcosa di analogo a una pila di piatti. Quando si mette un piatto su una pila, normalmente lo si colloca in *cima*, operazione che chiameremo **push**. In modo simile, quando si toglie un piatto dalla pila, normalmente si prende quello in *cima*, operazione che chiameremo **pop**. Le pile sono note come **strutture di dati last-in first-out (LIFO)** (ossia l'*ultimo* elemento inserito nella pila è il *primo* elemento a essere rimosso da essa).

Un meccanismo che gli studenti di informatica devono comprendere bene è la **pila delle chiamate delle funzioni** (detta anche **pila di esecuzione del programma**). Questa struttura di dati, che lavora “dietro le quinte”, supporta il meccanismo di chiamata e ritorno delle funzioni. Essa supporta anche la creazione, il mantenimento e la distruzione delle variabili locali (chiamate anche *variabili automatiche*) di tutte le funzioni chiamate. Abbiamo illustrato il comportamento last-in first-out (LIFO) delle pile col nostro esempio della pila di piatti. Come vedremo nelle Figure 5.7–5.9, questo comportamento LIFO è *esattamente* ciò che una funzione fa quando il controllo ritorna alla funzione che l’ha chiamata.

Quando una funzione è chiamata, essa può chiamare altre funzioni, le quali possono a loro volta chiamarne altre; tutto *prima* che una funzione torni alla funzione chiamante, restituendo a essa il controllo. Ogni funzione alla fine deve restituire il controllo alla funzione che l’ha chiamata. Così, dobbiamo tenere traccia degli indirizzi di ritorno che servono a ogni funzione per tornare alla funzione che l’ha chiamata. La pila delle chiamate delle funzioni è la struttura di dati perfetta per trattare queste informazioni. Ogni volta che una funzione chiama un’altra funzione, con un push un nuovo elemento viene inserito in cima alla pila. Questo elemento, chiamato **record di attivazione**, contiene l’*indirizzo di ritorno* che serve alla funzione chiamata per tornare alla funzione chiamante. Esso contiene anche alcune informazioni aggiuntive che presto esamineremo. Se la funzione chiamata torna alla funzione chiamante, senza chiamare un’altra funzione prima di restituire il controllo, con un pop il record di attivazione della chiamata della funzione viene estratto dalla cima della pila. Il controllo si trasferisce all’indirizzo di ritorno memorizzato in quello stesso record di attivazione.

Ogni funzione chiamata trova *sempre* le informazioni che le occorrono per tornare alla sua funzione chiamante in *cima* alla pila delle chiamate. E se una funzione chiama un’altra funzione, con un push il record di attivazione per la chiamata della nuova funzione viene inserito in cima alla pila delle chiamate. In questo modo, l’indirizzo di ritorno richiesto dalla funzione chiamata più di recente per tornare alla sua funzione chiamante è ora posizionato in *cima* alla pila.

I record di attivazione hanno un altro importante compito. La maggior parte delle funzioni posseggono variabili locali (automatiche) – parametri e alcune o tutte le loro variabili locali. Le variabili automatiche devono esistere mentre una funzione è in esecuzione e devono inoltre rimanere attive se la funzione chiama altre funzioni. Ma quando una funzione chiamata torna alla sua funzione chiamante, le variabili automatiche della funzione chiamata devono “sparire”. Il record di attivazione della funzione chiamata è un posto perfetto per memorizzare le sue variabili automatiche. Il record di attivazione esiste solo finché la funzione chiamata è attiva. Quando quella funzione torna alla funzione chiamante – e non ha più bisogno delle sue variabili automatiche locali – con un pop il record di attivazione è *rimosso* dalla pila e quelle variabili automatiche locali non esistono più per il programma.

Naturalmente, la quantità di memoria in un computer è limitata, quindi se ne può utilizzare solo una certa quantità per memorizzare i record di attivazione nella pila delle chiamate delle funzioni. Se avvengono più chiamate di funzioni di quanti record di attivazione possono essere memorizzati nella pila delle chiamate, si verifica un errore *irreversibile* noto come *stack overflow*.

### Pila delle chiamate delle funzioni in azione

Consideriamo ora come la pila delle chiamate supporta l’esecuzione di una funzione `square` chiamata da `main` (righe 8–13 della Figura 5.6). Per prima cosa il sistema operativo chiama `main`; ciò implica un push di un record di attivazione nella pila (Figura 5.7). Il record di attivazione indica alla funzione `main` come tornare al sistema operativo (cioè come trasferire il controllo all’indirizzo di ritorno `R1`) e contiene lo spazio per la variabile automatica di `main` (cioè `a`, che è inizializzata a 10).

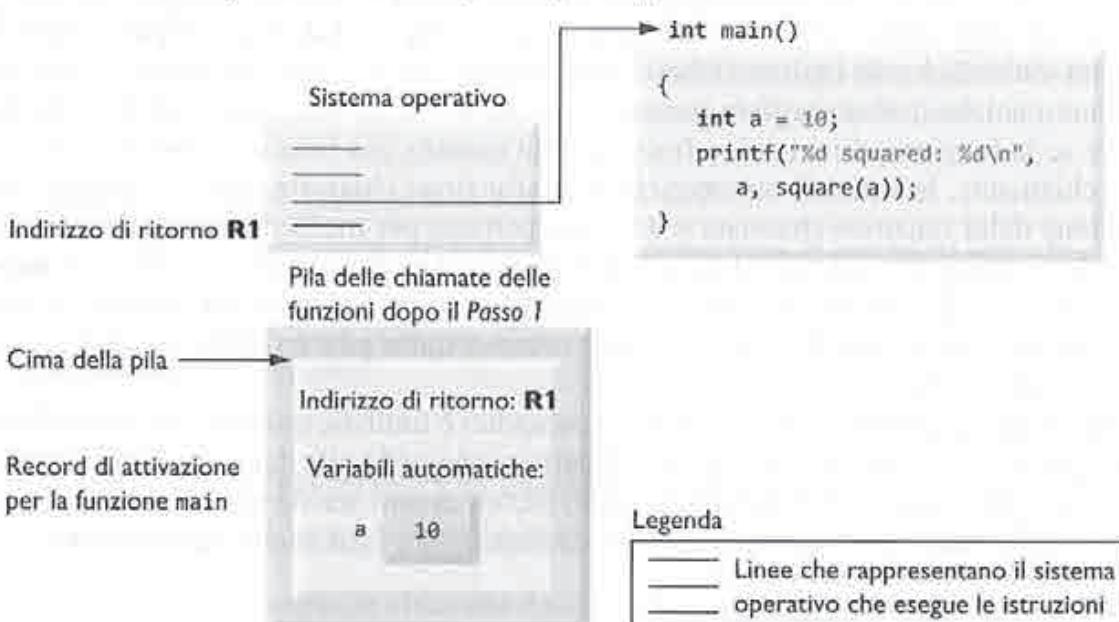
```

1 // Fig. 5.6: fig05_06.c
2 // Meccanismo della pila delle chiamate delle funzioni
3 // e dei record di attivazione con l'esempio di una funzione square.
4 #include <stdio.h>
5
6 int square(int); // prototipo per la funzione square
7
8 int main()
9 {
10 int a = 10; // variabile automatica locale in main
11
12 printf("%d squared: %d\n", a, square(a));
13 }
14
15 // restituisce il quadrato di un intero
16 int square(int x) // x e' una variabile locale
17 {
18 return x * x; // calcola il quadrato e restituisci il risultato
19 }
```

10 squared: 100

**Figura 5.6** Illustrazione del meccanismo della pila delle chiamate delle funzioni e dei record di attivazione con l'esempio di una funzione square.

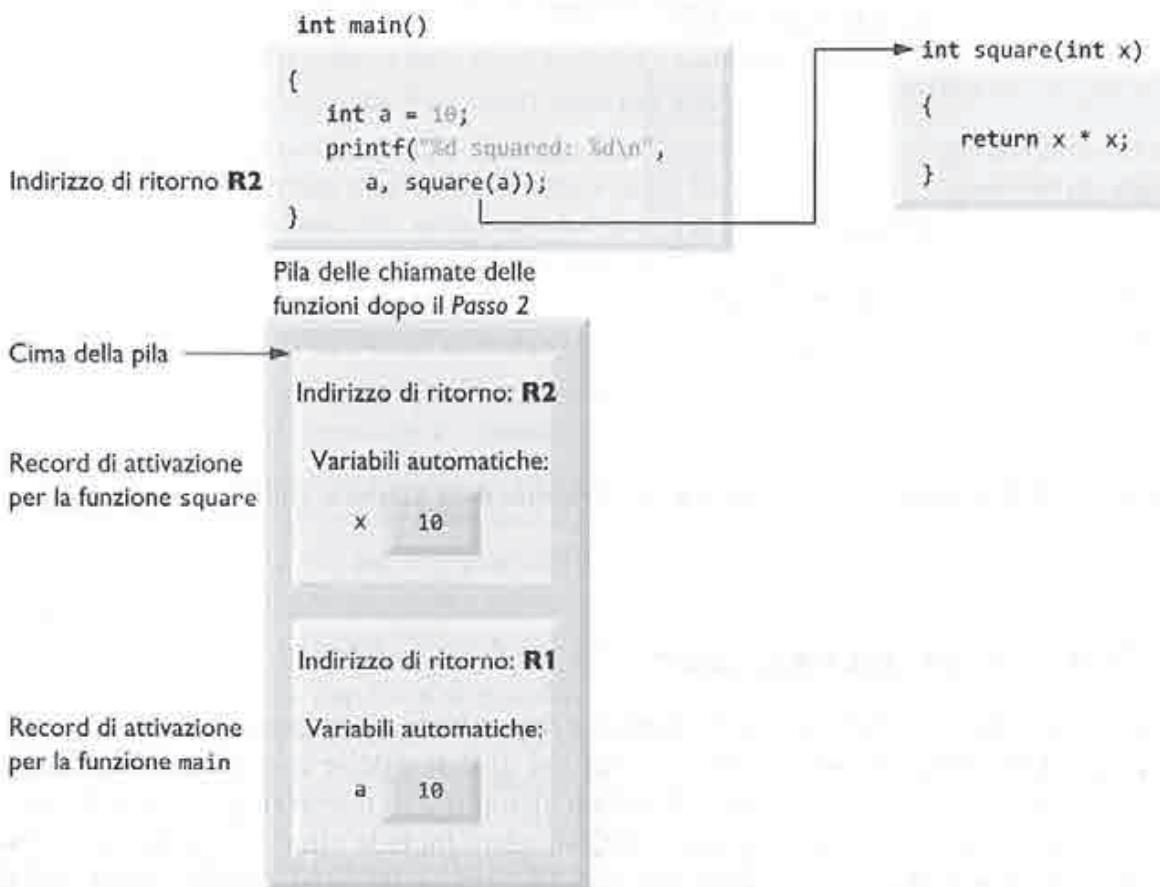
Passo 1: Il sistema operativo invoca main per eseguire l'applicazione



**Figura 5.7** Pila delle chiamate delle funzioni dopo che il sistema operativo invoca main per eseguire il programma.

La funzione `main` – prima di tornare al sistema operativo – chiama ora la funzione `square` nella riga 12 della Figura 5.6. Questo causa un push di un record di attivazione per `square` (righe 16–19) nella pila delle chiamate delle funzioni (Figura 5.8). Questo record di attivazione contiene l’indirizzo di ritorno che occorre a `square` per tornare a `main` (cioè `R2`) e la memoria per la variabile automatica di `square` (cioè `x`).

**Passo 2:** `main` invoca la funzione `square` per eseguire il calcolo



**Figura 5.8** Pila delle chiamate delle funzioni dopo che `main` invoca `square` per eseguire il calcolo.

Dopo che `square` calcola il quadrato del suo argomento, deve tornare a `main` e non ha più bisogno della memoria per la sua variabile automatica `x`. Così si effettua un pop dalla pila, fornendo a `square` l’indirizzo di ritorno in `main` (cioè `R2`), mentre la variabile automatica di `square` viene persa. La Figura 5.9 mostra la pila delle chiamate della funzione *dopo* la rimozione del record di attivazione di `square`.

La funzione `main` stampa ora il risultato della chiamata a `square` (riga 12 della Figura 5.6). Quando si raggiunge la parentesi graffa destra di chiusura di `main`, il record di attivazione viene rimosso dalla pila, `main` riceve l’indirizzo che le occorre per tornare al sistema operativo (cioè `R1` nella Figura 5.7) e la memoria per la variabile automatica di `main` (cioè `a`) non è più accessibile.

Avete appena visto quanto sia preziosa la struttura a pila per implementare un meccanismo chiave in grado di supportare l’esecuzione dei programmi. Le strutture di dati hanno applicazioni molto importanti nell’ambito dell’informatica. Esamineremo pile, code, liste, alberi e altre strutture di dati nel Capitolo 12.

Passo 3: square restituisce il suo risultato a main

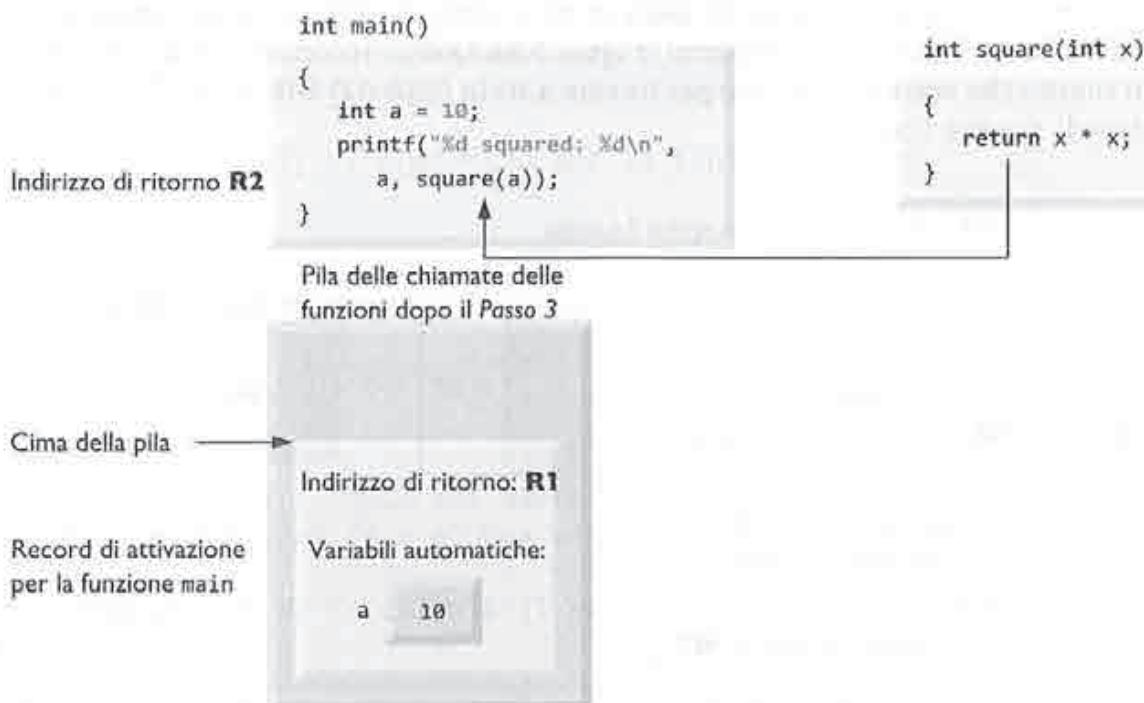


Figura 5.9 Pila delle chiamate delle funzioni dopo il ritorno della funzione `square` a `main`.

## 5.8 File di intestazione

Ogni libreria standard ha un file di intestazione corrispondente, contenente i prototipi per tutte le funzioni in quella libreria e le definizioni dei vari *tipi di dati* e delle costanti necessarie a quelle funzioni. La Figura 5.10 elenca in ordine alfabetico alcuni file di intestazione della Libreria Standard che si possono includere nei programmi. Il C standard include ulteriori file di intestazione. Il termine “macro”, usato diverse volte nella Figura 5.10, sarà esaminato dettagliatamente nel Capitolo 13.

Potete creare file di intestazione personalizzati. I file di intestazione definiti dal programmatore devono utilizzare anche l'estensione del nome di file `.h`. Un file di intestazione definito dal programmatore può essere incluso usando la direttiva per il preprocessore `#include`. Ad esempio, se il prototipo per la nostra funzione `square` fosse contenuto nel file di intestazione `square.h`, includeremmo questo file di intestazione nel nostro programma, usando la seguente direttiva in cima al programma stesso:

```
#include "square.h"
```

Il Paragrafo 13.2 fornisce ulteriori informazioni sull'inclusione di file di intestazione, come il motivo per cui le intestazioni definite dal programmatore sono racchiuse tra virgolette (") anziché tra parentesi angolari (<>).

| Intestazione                   | Illustrazione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>&lt;cassert.h&gt;</code> | Contiene informazioni per aggiungere istruzioni di diagnostica che agevolano il debugging (ricerca di errori e correzione) dei programmi.                                                                                                                                                                                                     |
| <code>&lt;cctype.h&gt;</code>  | Contiene prototipi di funzione per le funzioni che verificano certe proprietà dei caratteri e per le funzioni che si possono usare per convertire lettere minuscole in lettere maiuscole e viceversa.                                                                                                                                         |
| <code>&lt;errno.h&gt;</code>   | Definisce le macro che sono utili per segnalare condizioni di errore.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <code>&lt;float.h&gt;</code>   | Contiene i limiti per i valori in virgola mobile del sistema.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <code>&lt;limits.h&gt;</code>  | Contiene i limiti per i valori interi del sistema.                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <code>&lt;locale.h&gt;</code>  | Contiene i prototipi di funzione e altre informazioni che consentono di modificare il programma per l'ambiente locale nel quale viene eseguito. La nozione di ambiente locale consente a un sistema di elaborazione di trattare convenzioni diverse per esprimere dati come date, ore, quantità monetarie e grandi numeri dovunque nel mondo. |
| <code>&lt;math.h&gt;</code>    | Contiene i prototipi di funzione per le funzioni della libreria math.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <code>&lt;setjmp.h&gt;</code>  | Contiene i prototipi di funzione per le funzioni che permettono di non rispettare la normale sequenza di chiamata e ritorno di funzioni.                                                                                                                                                                                                      |
| <code>&lt;signal.h&gt;</code>  | Contiene i prototipi di funzione e le macro per gestire varie situazioni che possono insorgere durante l'esecuzione di un programma.                                                                                                                                                                                                          |
| <code>&lt;stdarg.h&gt;</code>  | Definisce le macro per trattare liste di argomenti per una funzione, il cui numero e i cui tipi non sono noti a priori.                                                                                                                                                                                                                       |
| <code>&lt;stddef.h&gt;</code>  | Contiene le definizioni di tipo comunemente usate dal C per effettuare calcoli.                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <code>&lt;stdio.h&gt;</code>   | Contiene i prototipi di funzione per le funzioni della Libreria Standard di input/output, nonché le informazioni usate da queste.                                                                                                                                                                                                             |
| <code>&lt;stdlib.h&gt;</code>  | Contiene i prototipi di funzione per convertire numeri in testo e testo in numeri, per allocare memoria, per trattare numeri casuali e per altre funzioni di utilità.                                                                                                                                                                         |
| <code>&lt;string.h&gt;</code>  | Contiene i prototipi di funzione per le funzioni di elaborazione di stringhe.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <code>&lt;time.h&gt;</code>    | Contiene i prototipi di funzione e i tipi per manipolare il tempo e le date.                                                                                                                                                                                                                                                                  |

**Figura 5.10** Alcuni dei file di intestazione della Libreria Standard.

## 5.9 Passare gli argomenti per valore e per riferimento

In molti linguaggi di programmazione ci sono due modi per passare gli argomenti: il **passaggio per valore** e il **passaggio per riferimento**. Quando gli argomenti sono *passati per valore*, viene fatta una *copia* del valore dell'argomento, che viene passata alla funzione chiamata. Le modifiche alla copia *non* incidono sul valore della variabile originaria nella funzione chiamante. Quando un argomento è *passato per riferimento*, la funzione chiamante permette alla funzione chiamata di *modificare il valore* della variabile originaria.

Il passaggio per valore va usato ogni volta che la funzione chiamata non ha necessità di modificare il valore della variabile originaria della funzione chiamante. Questo evita effetti secondari accidentali (modificazioni delle variabili) che sono di grande impedimento allo sviluppo di sistemi

software corretti e affidabili. Il passaggio per riferimento va usato solo con funzioni chiamate *fidate* che necessitano effettivamente di modificare le variabili originarie.

Nel C tutti gli argomenti sono passati per valore. Come vedremo nel Capitolo 7, è possibile ottenere il passaggio per riferimento utilizzando l'*operatore di indirizzamento* e l'*operatore di indirezione*. Nel Capitolo 6 vedremo che gli argomenti di tipo array sono automaticamente passati per riferimento per ragioni di prestazioni. Vedremo nel Capitolo 7 che ciò non è una contraddizione. Concentriamoci per ora sul passaggio per valore.

## 5.10 Generazione di numeri casuali

Adesso ci concediamo un breve e, speriamo, piacevole diversivo con la *simulazione* e l'*esecuzione di un gioco*. In questo e nel prossimo paragrafo svilupperemo un programma per giochi ben strutturato che include molteplici funzioni. Il programma usa funzioni e alcune delle istruzioni di controllo che abbiamo studiato. L'*elemento di casualità* può essere introdotto nelle applicazioni dei computer usando la funzione `rand` della Libreria Standard del C dal file di intestazione `<stdlib.h>`.

### Ottenerne un valore intero casuale

Considerate la seguente istruzione:

```
i = rand();
```

La funzione `rand` genera un numero intero tra 0 e `RAND_MAX` (una costante simbolica definita nel file di intestazione `<stdlib.h>`). Il C standard stabilisce che il valore di `RAND_MAX` deve essere almeno pari a 32767, che è il valore massimo per un intero di due byte (cioè 16-bit). I programmi in questo paragrafo sono stati testati sul Visual C++ di Microsoft con un valore massimo `RAND_MAX` di 32767 e su `gcc` di GNU e LLVM di Xcode con un valore massimo `RAND_MAX` di 2147483647. Se `rand` produce veramente interi *a caso*, ogni numero tra 0 e `RAND_MAX` ha un'uguale probabilità di essere scelto ogni volta che `rand` viene chiamata.

L'intervallo di valori prodotto direttamente da `rand` è spesso diverso da quello richiesto in una specifica applicazione. Ad esempio, un programma che simula il lancio di una moneta può richiedere soltanto 0 per "testa" e 1 per "croce". Un programma per il lancio di dadi che simula un dado di sei facce richiede numeri interi casuali da 1 a 6.

### Lanciare un dado di sei facce

Per illustrare `rand`, sviluppiamo un programma (Figura 5.11) che simula 20 lanci di un dado di sei facce e stampa il valore ottenuto per ogni lancio.

```

1 // Fig. 5.11: fig05_11.c
2 // Interi casuali con spostamento e variazione di scala.
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 // ripeti 20 volte
9 for (unsigned int i = 1; i <= 20; ++i) {
10
11 // scegli un numero casuale da 1 a 6 e stampalo
12 printf("%10d", 1 + (rand() % 6));

```

```

13 // se il contatore e' divisibile per 5, inizia una nuova riga
14 if (i % 5 == 0) {
15 puts("");
16 }
17 }
18 }
19 }
```

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 6 | 5 | 5 | 6 |
| 5 | 1 | 1 | 5 | 3 |
| 6 | 6 | 2 | 4 | 2 |
| 6 | 2 | 3 | 4 | 1 |

**Figura 5.11** Interi casuali con spostamento e variazione di scala, generati da `1 + rand() % 6`.

Il prototipo di funzione per la funzione `rand` si trova in `<stdlib.h>`. Usiamo l'operatore di resto (%) congiuntamente a `rand` come segue

```
rand() % 6
```

per generare interi nell'intervallo da 0 a 5. Questa operazione è chiamata **variazione di scala**. Il numero 6 si dice **fattore di scala**. Quindi effettuiamo uno spostamento dell'intervallo dei numeri generati aggiungendo 1 al nostro precedente risultato. L'output conferma che i risultati stanno nell'intervallo da 1 a 6 (gli effettivi valori casuali scelti possono variare in base al compilatore).

### Lancio di un dado a sei facce 60.000.000 di volte

Per verificare che questi numeri ricorrono approssimativamente con *uguale probabilità*, simuliamo 60.000.000 di lanci di un dado con il programma della Figura 5.12. Ogni intero da 1 a 6 deve comparire approssimativamente 10.000.000 di volte.

```

1 // Fig. 5.12: fig05_12.c
2 // Lancio di un dado a sei facce 60.000.000 di volte.
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 unsigned int frequency1 = 0; // contatore per il valore 1
9 unsigned int frequency2 = 0; // contatore per il valore 2
10 unsigned int frequency3 = 0; // contatore per il valore 3
11 unsigned int frequency4 = 0; // contatore per il valore 4
12 unsigned int frequency5 = 0; // contatore per il valore 5
13 unsigned int frequency6 = 0; // contatore per il valore 6
14
15 // ripeti 60.000.000 di volte e riepiloga i risultati
16 for (unsigned int roll = 1; roll <= 60000000; ++roll) {
17 int face = 1 + rand() % 6; // numero casuale da 1 a 6
18
19 // determina il valore di face e incrementa il contatore appropriato
20 switch (face) {
21
22 case 1: // valore 1
```

```

23 ++frequency1;
24 break;
25
26 case 2: // valore 2
27 ++frequency2;
28 break;
29
30 case 3: // valore 3
31 ++frequency3;
32 break;
33
34 case 4: // valore 4
35 ++frequency4;
36 break;
37
38 case 5: // valore 5
39 ++frequency5;
40 break;
41
42 case 6: // valore 6
43 ++frequency6;
44 break; // opzionale
45 }
46 }
47
48 // stampa i risultati in formato tabellare
49 printf("%s%13s\n", "Face", "Frequency");
50 printf(" 1%13u\n", frequency1);
51 printf(" 2%13u\n", frequency2);
52 printf(" 3%13u\n", frequency3);
53 printf(" 4%13u\n", frequency4);
54 printf(" 5%13u\n", frequency5);
55 printf(" 6%13u\n", frequency6);
56 }
```

| Face | Frequency |
|------|-----------|
| 1    | 9999294   |
| 2    | 10002929  |
| 3    | 9995360   |
| 4    | 10000409  |
| 5    | 10005206  |
| 6    | 9996802   |

**Figura 5.12** Lancio di un dado a sei facce 60.000.000 di volte.

Come mostra l'output del programma, con una variazione di scala e uno spostamento dell'intervallo abbiamo usato la funzione `rand` per simulare realisticamente il lancio di un dado a sei facce. Si noti l'uso dello specificatore di conversione `%s` per stampare le stringhe di caratteri "Face" e "Frequency" come intestazioni delle colonne (riga 49). Dopo aver studiato gli array nel Capitolo 6, mostreremo come sostituire elegantemente questa istruzione `switch` di 26 righe con un'istruzione di una singola riga.

### Randomizzazione del generatore di numeri casuali

Un'nuova esecuzione del programma della Figura 5.11 produce

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 6 | 5 | 5 | 6 |
| 5 | 1 | 1 | 5 | 3 |
| 6 | 6 | 2 | 4 | 2 |
| 6 | 2 | 3 | 4 | 1 |

Si noti che è stata stampata *esattamente la stessa sequenza di valori*. Come possono questi numeri essere *casuali*? Per ironia della sorte, questa *ripetibilità* è una caratteristica importante della funzione `rand`. Quando si effettua il *debugging* (letteralmente "ricerca di errori e correzione") di un programma, questa ripetibilità è essenziale per provare che le correzioni di un programma operino correttamente.

La funzione `rand` genera in realtà **numeri pseudocasuali**. Chiamare ripetutamente `rand` produce una sequenza di numeri che *appaiono* casuali. Tuttavia, la sequenza ripete se stessa ogni volta che viene eseguito il programma. Una volta che si è effettuato il debugging completo del programma, è possibile far sì che esso produca una sequenza *differente* di numeri casuali per ogni esecuzione. Tale operazione è chiamata **randomizzazione** ed è realizzata con la funzione `srand` della Libreria Standard. La funzione `srand` riceve un argomento intero `unsigned` e fornisce un **seme** alla funzione `rand` per generare una sequenza diversa di numeri casuali per ogni esecuzione del programma.

Illustriamo la funzione `srand` nella Figura 5.13. Lo specificatore di conversione `%u` è usato per leggere un valore `unsigned int` con `scanf`. Il prototipo di funzione per `srand` si trova in `<stdlib.h>`.

```

1 // Fig. 5.13: fig05_13.c
2 // Randomizzare il programma del lancio del dado.
3 #include <stdlib.h>
4 #include <stdio.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 unsigned int seed; // seme per il generatore di numeri casuali
9
10 printf("%s", "Enter seed: ");
11 scanf("%u", &seed); // si noti %u per un unsigned int
12
13 srand(seed); // fornisci il seme al generatore di numeri casuali
14
15 // ripeti 10 volte
16 for (unsigned int i = 1; i <= 10; ++i) {
17
18 // scegli un numero casuale da 1 a 6 e stampalo
19 printf("%10d", 1 + (rand() % 6));
20
21 // se il contatore e' divisibile per 5, inizia una nuova riga
22 if (i % 5 == 0) {
23 puts("");
24 }
25 }
26 }
```

|                                                       |
|-------------------------------------------------------|
| Enter seed: 67                                        |
| 6            1            4            6            2 |
| 1            6            1            6            4 |
| Enter seed: 867                                       |
| 2            4            6            1            6 |
| 1            1            3            6            2 |
| Enter seed: 67                                        |
| 6            1            4            6            2 |
| 1            6            1            6            4 |

**Figura 5.13** Randomizzare il programma del lancio del dado.

Eseguiamo il programma diverse volte e osserviamo i risultati. Notate che ogni volta che il programma viene eseguito si ottiene una sequenza *differente* di numeri casuali, a condizione che sia fornito un seme *differente*. I primi e gli ultimi output utilizzano lo stesso valore del seme, quindi mostrano gli stessi risultati.

Per randomizzare *senza* inserire ogni volta un seme, usate l'istruzione

```
srand(time(NULL));
```

Questo fa sì che il computer legga il suo orologio per ottenere automaticamente il valore per il seme. La funzione `time` restituisce il numero dei secondi che sono trascorsi dalla mezzanotte dell'1 Gennaio 1970. Questo valore è convertito in un intero senza segno e usato come seme per il generatore di numeri casuali. Il prototipo di funzione per `time` si trova in `<time.h>`. Diremo di più su `NULL` nel Capitolo 7.

#### *Generalizzazione della variazione di scala e dello spostamento dell'intervallo per i numeri casuali*

I valori generati direttamente da `rand` sono sempre nell'intervallo

```
0 ≤ rand() ≤ RAND_MAX
```

Come sapete, l'istruzione seguente simula il lancio di un dado a sei facce:

```
face = 1 + rand() % 6;
```

Questa istruzione assegna sempre un valore intero (a caso) alla variabile `face` nell'intervallo  $1 \leq \text{face} \leq 6$ . L'*ampiezza* di questo intervallo (cioè il numero di interi consecutivi nell'intervallo) è 6 e il *numero iniziale* dell'intervallo è 1. Riferendoci all'istruzione precedente, vediamo che l'*ampiezza* è determinata dal numero usato per scalare `rand` con l'*operatore di resto* (cioè 6) e il *numero iniziale* dell'intervallo è uguale al numero che è aggiunto a `rand % 6` (cioè 1). Possiamo generalizzare questo risultato come segue:

```
n = a + rand() % b;
```

dove `a` è il *valore di spostamento* (che è uguale al *primo* numero nell'intervallo desiderato di interi consecutivi) e `b` è il *fattore di scala* (che è uguale all'*ampiezza* dell'intervallo desiderato di interi consecutivi). Negli esercizi vedremo che è possibile scegliere a caso interi da insiemi di valori che non sono intervalli di interi consecutivi.

## 5.11 Esempio di un gioco d'azzardo: introduzione di enum

Uno dei più popolari giochi d'azzardo è un gioco di dadi noto come "craps", che si gioca nei casinò e nei vicoli di tutto il mondo. Le regole del gioco sono semplici:

*Un giocatore lancia due dadi. Ogni dado ha sei facce. Queste facce contengono 1, 2, 3, 4, 5 e 6 pallini. Quando i dadi si fermano, si calcola la somma dei pallini sulle due facce superiori. Se al primo lancio la somma è 7 o 11, il giocatore vince. Se al primo lancio la somma è 2, 3 o 12 (chiamata "craps"), il giocatore perde (cioè vince il banco). Se al primo lancio la somma è 4, 5, 6, 8, 9 o 10, quella somma diventa il "punteggio" del giocatore. Per vincere si devono continuare a lanciare i dadi finché si "fa il proprio punteggio". Il giocatore perde se ottiene come somma 7 prima di fare il proprio punteggio.*

La Figura 5.14 simula il gioco del craps e la Figura 5.15 mostra diversi esempi di esecuzione.

```
1 // Fig. 5.14: fig05_14.c
2 // Simulazione del gioco del craps.
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5 #include <time.h> // contiene il prototipo per la funzione time
6
7 // le costanti di enumerazione rappresentano lo stato del gioco
8 enum Status { CONTINUE, WON, LOST };
9
10 int rollDice(void); // prototipo di funzione
11
12 int main(void)
13 {
14 // randomizza il generatore di numeri casuali
15 srand(time(NULL));
16
17 int myPoint; // il giocatore deve fare questo punteggio per vincere
18 enum Status gameStatus; // puo' contenere CONTINUE, WON o LOST
19 int sum; = rollDice(); // primo lancio dei dadi
20
21 // determina lo stato del gioco in base alla somma dei dadi
22 switch(sum) {
23
24 // si vince al primo lancio
25 case 7: // si vince con 7
26 case 11: // si vince con 11
27 gameStatus = WON;
28 break;
29
30 // si perde al primo lancio
31 case 2: // si perde con 2
32 case 3: // si perde con 3
33 case 12: // si perde con 12
34 gameStatus = LOST;
```

```

35 break;
36
37 // ricorda il punteggio
38 default:
39 gameStatus = CONTINUE; // il giocatore continua a lanciare
40 myPoint = sum; // ricorda il punteggio
41 printf("Point is %d\n", myPoint);
42 break; // opzionale
43 }
44
45 // finche' il gioco non si conclude
46 while (CONTINUE == gameStatus) { // il gioco continua
47 sum = rollDice(); // lancia di nuovo i dadi
48
49 // determina lo stato del gioco
50 if (sum == myPoint) { // si vince facendo il punteggio
51 gameStatus = WON;
52 }
53 else {
54 if (7 == sum) { // si perde lanciando il 7
55 gameStatus = LOST;
56 }
57 }
58 }
59
60 // stampa il messaggio di vincita o di perdita
61 if (WON == gameStatus) { // il giocatore ha vinto?
62 puts("Player wins");
63 }
64 else { // il giocatore ha perso
65 puts("Player loses");
66 }
67 }
68
69 // lancia i dadi, calcola la somma e stampa i risultati
70 int rollDice(void)
71 {
72 int die1 = 1 + (rand() % 6); // valore a caso per il primo dado
73 int die2 = 1 + (rand() % 6); // valore a caso per il secondo dado
74
75 // stampa i risultati di questo lancio
76 printf("Player rolled %d + %d = %d\n", die1, die2, die1 + die2);
77 return die1 + die2; // restituisci la somma dei dadi
78 }

```

**Figura 5.14** Simulazione del gioco del craps.*Il giocatore vince al primo lancio*

|                          |
|--------------------------|
| Player rolled 5 + 6 = 11 |
| Player wins              |

*Il giocatore vince a un lancio successivo*

```
Player rolled 4 + 1 = 5
Point is 5
Player rolled 6 + 2 = 8
Player rolled 2 + 1 = 3
Player rolled 3 + 2 = 5
Player wins
```

*Il giocatore perde al primo lancio*

```
Player rolled 1 + 1 = 2
Player loses
```

*Il giocatore perde a un lancio successivo*

```
Player rolled 6 + 4 = 10
Point is 10
Player rolled 3 + 4 = 7
Player loses
```

**Figura 5.15** Esempi di esecuzione del programma per il gioco del craps.

Nelle regole del gioco notate che il giocatore deve lanciare due dadi al primo lancio, e deve fare così in seguito in tutti i lanci successivi. Definiamo una funzione `rollDice` per simulare il lancio dei dadi e calcolare e stampare la loro somma. La funzione `rollDice` è definita *una sola volta*, ma è chiamata in *due* punti diversi nel programma (righe 19 e 47). È interessante notare che `rollDice` non riceve alcun argomento, così abbiamo inserito `void` nella lista dei parametri (riga 70). La funzione `rollDice` restituisce la somma dei due dadi, così nella sua intestazione e nel suo prototipo di funzione è indicato il tipo di ritorno `int`.

### Enumerazioni

Il gioco è ragionevolmente articolato. Il giocatore può vincere o perdere al primo lancio, oppure vincere o perdere a un qualunque lancio successivo. La variabile `gameStatus` di un nuovo tipo – `enum Status` – memorizza lo stato corrente. La riga 8 crea un tipo definito dal programmatore, chiamato **enumerazione**. Un'enumerazione, introdotta dalla parola chiave `enum`, è un insieme di costanti intere rappresentate da identificatori. Le **costanti di enumerazione** aiutano a rendere i programmi più leggibili e più facili da mantenere. I valori in un `enum` iniziano con 0 e sono incrementati di 1. Nella riga 8 la costante `CONTINUE` ha il valore 0, `WON` ha il valore 1 e `LOST` ha il valore 2. È anche possibile assegnare un valore intero a ciascun identificatore in un `enum` (vedi Capitolo 10). Gli *identificatori* in un'enumerazione devono essere *unici*, ma i *valori* possono essere *duplicati*.



### Errore comune di programmazione 5.7

Assegnare un valore a una costante di enumerazione dopo che è stata definita è un errore di sintassi.



### Buona pratica di programmazione 5.6

Usate solo lettere maiuscole nei nomi delle costanti di enumerazione per far sì che queste costanti risaltino in un programma e per indicare che non sono delle variabili.

Quando si vince nel gioco, o al primo lancio o a un lancio successivo, gameStatus assume il valore WON. Quando si perde, o al primo lancio o a un lancio successivo, gameStatus assume il valore LOST. Diversamente, gameStatus assume il valore CONTINUE e il gioco continua.

#### *Fine del gioco al primo lancio*

Dopo il primo lancio, se il gioco è finito, l'istruzione while (righe 46–58) viene saltata perché gameStatus non ha il valore CONTINUE. Il programma procede con l'istruzione if...else alle righe 61–66, che stampa “Player wins” se gameStatus è WON, altrimenti stampa “Player loses”.

#### *Fine del gioco a un lancio successivo*

Dopo il primo lancio, se il gioco *non* è finito, il valore di sum viene salvato in myPoint. L'esecuzione procede con l'istruzione while perché gameStatus ha il valore CONTINUE. A ogni iterazione del while, rollDice è invocata per produrre un nuovo valore di sum. Se sum coincide con myPoint, gameStatus assume il valore WON per indicare che il giocatore ha vinto, il test del while fallisce, l'istruzione if...else stampa “Player wins” e l'esecuzione termina. Se sum è uguale a 7 (riga 54), gameStatus assume il valore LOST per indicare che il giocatore ha perso, il test del while fallisce, l'istruzione if...else stampa “Player loses” e l'esecuzione termina.

#### *Architettura di controllo*

Notate l'interessante architettura di controllo del programma. Abbiamo usato due funzioni – main e rollDice – e le istruzioni switch, while, if...else annidati e if annidati. Negli esercizi analizzeremo varie caratteristiche interessanti del gioco del craps.

## 5.12 Classi di memoria

Nei Capitoli 2–4 abbiamo usato identificatori per i nomi delle variabili. Attributi delle variabili sono *nome*, *tipo*, *dimensioni* e *valore*. In questo capitolo usiamo gli identificatori anche come nomi per le funzioni definite dall'utente. In realtà, ogni identificatore in un programma ha altri attributi, quali la classe di memoria, la permanenza in memoria, il campo di azione e il collegamento.

Il C fornisce gli specificatori della classe di memoria auto, register,<sup>1</sup> extern e static.<sup>2</sup> La classe di memoria di un identificatore determina la sua permanenza in memoria, il suo campo di azione e il suo collegamento. La permanenza in memoria di un identificatore è il periodo durante il quale l'identificatore esiste nella memoria. Alcuni esistono per breve tempo, alcuni sono ripetutamente creati e distrutti e altri esistono per l'intera esecuzione del programma. Il campo di azione (in inglese “scope”) di un identificatore è dove l'identificatore può essere menzionato in un programma. Alcuni si possono menzionare per tutto il programma, altri solo da porzioni di esso. Il collegamento di un identificatore determina, per un programma con diversi file sorgente, se l'identificatore è conosciuto soltanto nel file sorgente corrente o in qualunque file sorgente con le opportune dichiarazioni. Questo paragrafo esamina le classi di memoria e la permanenza in memoria. Il Paragrafo 5.13 esamina il campo di azione. Il Capitolo 14 esamina il collegamento di un identificatore e la programmazione con più file sorgente.

<sup>1</sup> La parola chiave register è arcaica e non va usata.

<sup>2</sup> Il C11 standard aggiunge lo specificatore della classe di memoria \_Thread\_local, le cui caratteristiche non rientrano nell'ambito di questo libro.

Gli specificatori della classe di memoria si suddividono tra **permanenza in memoria automatica** e **permanenza in memoria statica**. La parola chiave `auto` è usata per dichiarare le variabili con permanenza in memoria automatica. Le variabili con permanenza in memoria automatica sono create quando il controllo del programma entra nel blocco nel quale sono definite; esse esistono finché il blocco è attivo e sono distrutte quando il controllo del programma esce dal blocco.

### Variabili locali

Solo le variabili possono avere permanenza in memoria automatica. Le variabili locali di una funzione (quelle dichiarate nella lista dei parametri o nel corpo della funzione) hanno normalmente permanenza in memoria automatica. La parola chiave `auto` dichiara esplicitamente le variabili con permanenza in memoria automatica. Per impostazione predefinita, le variabili locali hanno permanenza in memoria automatica, così la parola chiave `auto` si usa raramente. Per il resto del testo chiameremo le variabili con permanenza in memoria automatica semplicemente **variabili automatiche**.



### Prestazioni 5.1

*La tecnica di memorizzazione automatica è un mezzo per risparmiare memoria, poiché le variabili automatiche esistono solo quando ce n'è necessità. Esse sono create quando si entra in una funzione e distrutte quando si esce da essa.*

### Classe di memoria statica

Le parole chiave `extern` e `static` si usano nelle dichiarazioni degli identificatori per le variabili e le funzioni con permanenza in *memoria statica*. Gli identificatori con permanenza in memoria statica esistono dal momento in cui il programma inizia l'esecuzione fino a che il programma termina. Per le variabili `static` la memoria è allocata e inizializzata *soltanto una volta, prima che il programma inizi l'esecuzione*. Per le funzioni, il nome della funzione esiste quando il programma inizia l'esecuzione. Tuttavia, anche se le variabili e i nomi di funzione esistono dall'avvio dell'esecuzione del programma, ciò *non* significa che a questi identificatori si possa accedere per tutta la durata del programma. La permanenza in memoria e il campo d'azione (*dove* si può usare un nome) sono aspetti separati, come vedremo nel Paragrafo 5.13.

Vi sono diversi tipi di identificatori con permanenza in memoria statica: gli *identificatori esterni* (come le variabili globali e i nomi di funzione) e le variabili locali dichiarate con lo specificatore della classe di memoria `static`. Le variabili globali e i nomi di funzione sono della classe di memoria `extern` per impostazione predefinita. Le variabili globali sono create ponendo le dichiarazioni di variabile *all'esterno* della definizione di qualsiasi funzione; esse mantengono i loro valori per tutta l'esecuzione del programma. Le variabili globali e le funzioni possono essere menzionate da una qualunque funzione definita in seguito alle loro dichiarazioni o definizioni nello stesso file. Questo giustifica l'uso di prototipi di funzione. Quando includiamo `stdio.h` in un programma che chiama `printf`, il prototipo di funzione è posto all'inizio del nostro file, per rendere noto il nome `printf` al resto del file.



### Osservazione di ingegneria del software 5.10

*Definire una variabile globale invece che locale permette che si verifichino effetti secondari non voluti quando una funzione che non ha necessità di accedere alla variabile la modifica accidentalmente o intenzionalmente. In generale, le variabili globali vanno evitate, tranne in certe situazioni con critici requisiti di prestazioni (vedi Capitolo 14).*



### Osservazione di Ingegneria del software 5.11

*Le variabili usate solo in una data funzione devono essere definite come variabili locali in quella funzione invece che come variabili esterne.*

Le variabili locali dichiarate con la parola chiave `static` sono ancora conosciute *solo* nella funzione in cui sono definite, ma, diversamente dalle variabili automatiche, le variabili locali `static` mantengono il loro valore quando si esce dalla funzione. La volta successiva che la funzione è chiamata, una variabile locale `static` contiene il valore che aveva prima che si uscisse dalla funzione la volta precedente. L'istruzione seguente dichiara la variabile locale `count` come `static` e la inizializza a 1.

```
static int count = 1;
```

Se non vengono inizializzate esplicitamente, tutte le variabili numeriche con permanenza in memoria statica sono inizializzate automaticamente a zero.

Le parole chiave `extern` e `static` hanno un significato speciale quando sono esplicitamente applicate a identificatori esterni. Nel Capitolo 14 esamineremo l'uso esplicito di `extern` e `static` con identificatori esterni e con programmi con più file sorgente.

## 5.13 Regole per il campo d'azione

Il campo d'azione di un identificatore è la porzione del programma in cui l'identificatore può essere menzionato. Ad esempio, quando definiamo una variabile locale in un blocco, essa può essere menzionata *solo* dopo la sua definizione in quel blocco o nei blocchi annidati all'interno di esso. I quattro campi d'azione per gli identificatori sono il campo d'azione esteso alla funzione, il campo d'azione esteso al file, il campo d'azione esteso al blocco e il campo d'azione esteso al prototipo di funzione.

Le etichette (identificatori seguiti da due punti, come `start:`) sono gli *unici* identificatori con il campo d'azione esteso alla funzione. Le etichette possono essere usate *ovunque* nella funzione in cui compaiono, ma non possono essere menzionate al di fuori del corpo della funzione. Le etichette sono usate nelle istruzioni `switch` (come le etichette `case`) e nelle istruzioni `goto` (vedi Capitolo 14). Le etichette sono nascoste nella funzione in cui sono definite. Questo occultamento (chiamato più formalmente *occultamento delle informazioni*, in inglese “information hiding”) è un mezzo per implementare il principio del minimo privilegio, un principio fondamentale per una buona ingegneria del software. Nel contesto di un'applicazione, il principio afferma che al codice deve essere garantita *soltanto* la quantità di privilegi e di accessi necessaria per eseguire il suo compito designato, ma non di più.

Un identificatore dichiarato al di fuori di una qualsiasi funzione ha un campo d'azione esteso al file. Un tale identificatore è “conosciuto” (cioè accessibile) in tutte le funzioni dal punto in cui l'identificatore è dichiarato fino alla fine del file. Le variabili globali, le definizioni di funzione e i prototipi di funzione posti al di fuori di una funzione hanno tutti il campo d'azione esteso al file.

Gli identificatori definiti dentro un blocco hanno il campo d'azione esteso al blocco. Il campo d'azione esteso al blocco termina alla parentesi graffa destra (`}`) che chiude il blocco. Le variabili locali definite all'inizio di una funzione hanno il campo d'azione esteso al blocco, come anche i parametri della funzione, anch'essi considerati variabili locali dalla funzione. *Qualsiasi blocco può contenere definizioni di variabili.* Quando i blocchi sono annidati e un identificatore in un blocco esterno ha lo stesso nome di un identificatore in un blocco interno, l'identificatore nel

blocco esterno è *nascosto* finché il blocco interno non termina. Ciò significa che mentre si esegue nel blocco interno, il blocco interno vede il valore del proprio identificatore locale e non il valore dell'identificatore dal nome identico nel blocco che include lo stesso blocco interno. Le variabili locali dichiarate **static** hanno ancora il campo d'azione esteso al blocco, anche se esistono da prima che il programma si avvii. Pertanto, la permanenza in memoria *non* si ripercuote sul campo d'azione di un identificatore.

Gli unici identificatori con il campo d'azione esteso al prototipo di funzione sono quelli usati nella lista dei parametri del prototipo di funzione. Come precedentemente accennato, i prototipi di funzione *non* richiedono *nomi* nella lista dei parametri: sono necessari solo i tipi. Se si usa un nome nella lista dei parametri del prototipo di funzione, il compilatore *ignora* il nome. Gli identificatori usati in un prototipo di funzione possono essere riutilizzati altrove nel programma senza ambiguità.



### Errore comune di programmazione 5.8

*Usare accidentalmente lo stesso nome per un identificatore in un blocco interno identico a quello usato per un identificatore in un blocco esterno, quando di fatto volete che l'identificatore nel blocco esterno sia attivo per la durata del blocco interno, è causa di malfunzionamenti.*



### Prevenzione di errori 5.4

*Evitate i nomi di variabili che nascondono nomi in campi d'azione esterni.*

La Figura 5.16 illustra alcuni aspetti relativi ai campi d'azione con variabili globali, variabili locali automatiche e variabili locali **static**. Una variabile globale **x** è definita e inizializzata a 1 (riga 9). Questa variabile globale è nascosta in un qualunque blocco (o funzione) in cui è definita una variabile denominata anch'essa **x**. Nella funzione **main** una variabile locale **x** è definita e inizializzata a 5 (riga 13). Questa variabile viene quindi stampata per mostrare che la **x** globale è nascosta in **main**. In seguito, in **main** è definito un nuovo blocco con un'altra variabile locale **x** inizializzata a 7 (riga 18). Questa variabile viene stampata per mostrare che essa nasconde **x** nel blocco esterno di **main**. La variabile **x** con valore 7 viene automaticamente eliminata quando si esce dal blocco, dopodiché la variabile locale **x** nel blocco esterno di **main** viene ristampata per mostrare che non è più nascosta.

```
1 // Fig. 5.16: fig05_16.c
2 // Verifica del campo d'azione delle variabili,
3 #include <stdio.h>
4
5 void useLocal(void); // prototipo di funzione
6 void useStaticLocal(void); // prototipo di funzione
7 void useGlobal(void); // prototipo di funzione
8
9 int x = 1; // variabile globale
10
11 int main(void)
12 {
13 int x = 5; // variabile locale per main
14 }
```

```
15 printf("local x in outer scope of main is %d\n", x);
16
17 { // inizio di un nuovo campo d'azione
18 int x = 7; // variabile locale nel nuovo campo d'azione
19
20 printf("local x in inner scope of main is %d\n", x);
21 } // fine del nuovo campo d'azione
22
23 printf("local x in outer scope of main is %d\n", x);
24
25 useLocal(); // useLocal ha una x locale automatica
26 useStaticLocal(); // useStaticLocal ha una x locale statica
27 useGlobal(); // useGlobal usa una x globale
28 useLocal(); // useLocal reinizializza una x locale automatica
29 useStaticLocal(); // la x locale statica conserva il suo valore
30 useGlobal(); // la x globale conserva pure il suo valore
31
32 printf("\nlocal x in main is %d\n", x);
33 }
34
35 // useLocal reinizializza la variabile locale x durante ogni chiamata
36 void useLocal(void)
37 {
38 int x = 25; // inizializzata ogni volta che useLocal e' chiamata
39
40 printf("\nlocal x in useLocal is %d after entering useLocal\n", x);
41 ++x;
42 printf("local x in useLocal is %d before exiting useLocal\n", x);
43 }
44
45 // useStaticLocal inizializza la variabile statica locale x solo la
46 // prima volta che la funzione e' chiamata; il valore di x e'
47 // conservato tra una chiamata e l'altra a questa funzione
48 void useStaticLocal(void)
49 {
50 // inizializza x solo una volta
51 static int x = 50;
52
53 printf("\nlocal static x is %d on entering useStaticLocal\n", x);
54 ++x;
55 printf("local static x is %d on exiting useStaticLocal\n", x);
56 }
57
58 // useGlobal modifica la variabile globale x in ogni chiamata
59 void useGlobal(void)
60 {
61 printf("\nglobal x is %d on entering useGlobal\n", x);
62 x *= 10;
63 printf("global x is %d on exiting useGlobal\n", x);
64 }
```

```
local x in outer scope of main is 5
local x in inner scope of main is 7
local x in outer scope of main is 5

local x in useLocal is 25 after entering useLocal
local x in useLocal is 26 before exiting useLocal

local static x is 50 on entering useStaticLocal
local static x is 51 on exiting useStaticLocal

global x is 1 on entering useGlobal
global x is 10 on exiting useGlobal

local x in useLocal is 25 after entering useLocal
local x in useLocal is 26 before exiting useLocal

local static x is 51 on entering useStaticLocal
local static x is 52 on exiting useStaticLocal

global x is 10 on entering useGlobal
global x is 100 on exiting useGlobal

local x in main is 5
```

**Figura 5.16** Verifica del campo d'azione delle variabili.

Il programma definisce tre funzioni che non ricevono argomenti e non restituiscono niente. La funzione `useLocal` definisce una variabile automatica `x` e la inizializza a 25 (riga 38). Quando `useLocal` è chiamata, la variabile viene stampata, incrementata e stampata di nuovo prima che si esca dalla funzione. Ogni volta che questa funzione è chiamata, la variabile automatica `x` è *reinizializzata* a 25.

La funzione `useStaticLocal` definisce una variabile statica `x` e la inizializza a 50 nella riga 51 (ricordate che la memoria per le variabili `static` è allocata e inizializzata *solo una volta prima che il programma inizi l'esecuzione*). Le variabili locali dichiarate come `static` mantengono i loro valori anche quando sono fuori dal campo d'azione. Quando `useStaticLocal` è chiamata, `x` viene stampata, incrementata e ristampata prima dell'uscita dalla funzione. Nella chiamata successiva di questa funzione la variabile locale `static x` conterrà il valore 51 incrementato precedentemente.

La funzione `useGlobal` non definisce alcuna variabile. Pertanto, quando essa si riferisce alla variabile `x`, viene usata la `x` globale (riga 9). Quando `useGlobal` è chiamata, la variabile globale viene stampata, moltiplicata per 10 e ristampata prima dell'uscita dalla funzione. La volta successiva che la funzione `useGlobal` è chiamata, la variabile globale ha ancora il suo valore modificato, 10. Infine, il programma stampa la variabile locale `x` di nuovo in `main` (riga 32) per mostrare che nessuna delle chiamate di funzione ha modificato il valore di `x`, poiché le funzioni si riferiscono tutte a variabili in altri campi d'azione.

## 5.14 Ricorsione

Per alcuni tipi di problemi è utile avere funzioni che chiamano se stesse. Una **funzione ricorsiva** è una funzione che *chiama se stessa* direttamente, o indirettamente attraverso un'altra funzione. La ricorsione è un argomento complesso, esaminato in profondità nei corsi superiori di informatica. In questo paragrafo e nel prossimo sono presentati alcuni semplici esempi di ricorsione. Questo libro contiene un'ampia trattazione della ricorsione, distribuita nel corso dei Capitoli 5–8, dell'Appendice D e dell'Appendice E (on-line). La Figura 5.21, nel Paragrafo 5.16, riepiloga gli esempi e gli esercizi sulla ricorsione presenti nel libro.

Considereremo dapprima la ricorsione dal punto di vista concettuale, esamineremo poi diversi programmi contenenti le funzioni ricorsive. Gli approcci ricorsivi per la risoluzione di problemi hanno un numero di elementi in comune. Una funzione ricorsiva è chiamata per risolvere un problema. La funzione “sa” in realtà soltanto come risolvere i casi *più semplici*, cioè i cosiddetti *casi di base*. Se la funzione è chiamata con un caso di base, la funzione restituisce semplicemente un risultato. Se la funzione è chiamata con un problema più complesso, solitamente divide il problema in due parti concettuali: una parte che sa come risolvere e una parte che non sa come risolvere direttamente. Per rendere la ricorsione fattibile, quest'ultima parte deve somigliare al problema originario ma essere una versione leggermente più semplice o più piccola. Poiché questo nuovo problema somiglia al problema originario, la funzione lancia (chiama) una nuova copia di se stessa per lavorare sul problema più semplice. Questo passo è detto **chiamata ricorsiva** o **passo di ricorsione**. Il passo di ricorsione include anche un'istruzione `return`, perché il suo risultato sarà combinato con la porzione del problema che la funzione sa come risolvere per formare un risultato che sarà restituito alla funzione chiamante originaria.

Il passo di ricorsione viene eseguito mentre la chiamata originaria alla funzione si arresta, in attesa del risultato dal passo di ricorsione. Il passo di ricorsione può produrne molte di più di tali chiamate ricorsive, mentre la funzione continua a dividere in due parti concettuali ogni problema per il quale è chiamata. Perché termini la ricorsione, ogni volta che la funzione chiama se stessa con una versione leggermente più semplice del problema originario, questa sequenza di problemi più semplici deve alla fine *convergere al caso di base*. Quando la funzione riconosce il caso di base, restituisce un risultato alla copia precedente della funzione, e da qui segue una sequenza di restituzioni in cui si ripercorre *all'indietro* tutta la sequenza delle chiamate fino a che la chiamata originaria della funzione non restituisce infine il risultato finale alla sua funzione chiamante. Come esempio di questi concetti all'opera, scriviamo un programma ricorsivo per eseguire un comune calcolo matematico.

### *Calcolo ricorsivo del fattoriale*

Il fattoriale di un intero non negativo  $n$ , scritto  $n!$  (pronunciato “ $n$  fattoriale”), è il prodotto

$$n \cdot (n - 1) \cdot (n - 2) \cdots \cdot 1$$

con  $1!$  uguale a 1, e  $0!$  definito come 1. Ad esempio,  $5!$  è il prodotto  $5 * 4 * 3 * 2 * 1$ , che è uguale a 120.

Il fattoriale di un intero, `number`, maggiore o uguale a 0 si può calcolare *iterativamente* (non ricorsivamente) usando un'istruzione `for` come segue:

```

factorial = 1;

for (counter = number; counter >= 1; --counter)
 factorial *= counter;

```

Si arriva a una definizione *ricorsiva* della funzione fattoriale osservando la seguente relazione:

$$n! = n \cdot (n - 1)!$$

Ad esempio,  $5!$  è chiaramente uguale a  $5 * 4!$  come mostrato dalle seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} 5! &= 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 \\ 5! &= 5 \cdot (4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1) \\ 5! &= 5 \cdot (4!) \end{aligned}$$

Il calcolo di  $5!$  procede come mostrato nella Figura 5.17. La Figura 5.17(a) mostra come la successione di chiamate ricorsive procede fino a che  $1!$  è calcolato come 1 (cioè il *caso di base*), il che termina la ricorsione. La Figura 5.17(b) mostra il valore restituito da ogni chiamata ricorsiva alla sua funzione chiamante, fino a che è calcolato e restituito il valore finale.

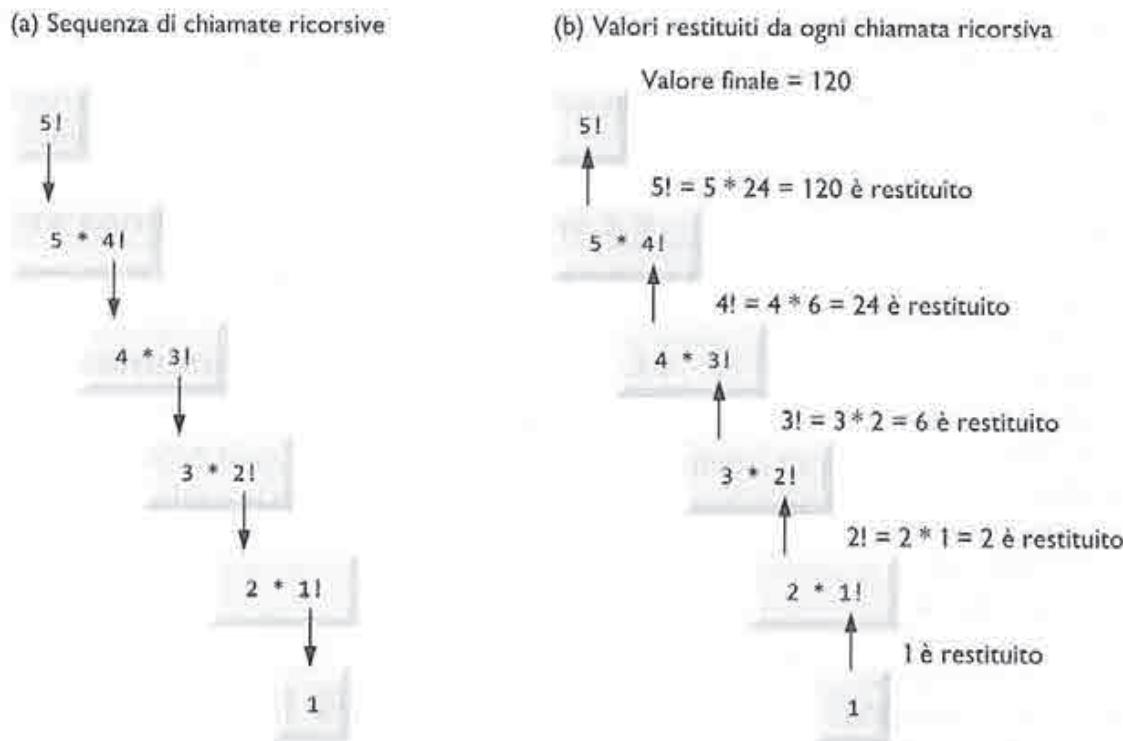


Figura 5.17 Calcolo ricorsivo di  $5!$ .

La Figura 5.18 usa la ricorsione per calcolare e stampare i fattoriali degli interi da 0 a 10 (la scelta del tipo `unsigned long long int` sarà spiegata fra breve).

```

1 // Fig. 5.18: fig05_18.c
2 // Funzione fattoriale ricorsiva.
3 #include <stdio.h>
4
5 unsigned long long int factorial(unsigned int number);

```

```

6
7 int main(void)
8 {
9 // durante ogni iterazione, calcola
10 // factorial(i) e stampa il risultato
11 for (unsigned int i = 0; i <= 21; ++i) {
12 printf("%u! = %llu\n", i, factorial(i));
13 }
14 }
15
16 // definizione ricorsiva della funzione fattoriale
17 unsigned long long int factorial(unsigned int number)
18 {
19 // caso di base
20 if (number <= 1) {
21 return 1;
22 }
23 else { // passo ricorsivo
24 return (number * factorial(number - 1));
25 }
26 }
```

```

0! = 1
1! = 1
2! = 2
3! = 6
4! = 24
5! = 120
6! = 720
7! = 5040
8! = 40320
9! = 362880
10! = 3628800
11! = 39916800
12! = 479001600
13! = 6227020800
14! = 87178291200
15! = 1307674368000
16! = 20922789888000
17! = 355687428096000
18! = 6402373705728000
19! = 121645100408832000
20! = 2432902008176640000
21! = 14197454024290336768
```

**Figura 5.18** Funzione fattoriale ricorsiva.

La funzione ricorsiva `factorial` verifica dapprima se una condizione di terminazione è vera, cioè se `number` è minore o uguale a 1. Se `number` è davvero minore o uguale a 1, `factorial` restituisce 1; non è necessaria alcuna ulteriore ricorsione e il programma termina.

Se `number` è maggiore di 1, l'istruzione

```
return number * factorial(number - 1);
```

esprime il problema come il prodotto di `number` e di una chiamata ricorsiva a `factorial` che calcola il fattoriale di `number - 1`. La chiamata `factorial(number - 1)` è un problema un po' più semplice dell'originario calcolo `factorial(number)`.

La funzione `factorial` (righe 17–26) riceve un `unsigned int` e restituisce un risultato di tipo `unsigned long long int`. Il C standard specifica che una variabile di tipo `unsigned long long int` può assumere un valore almeno tanto grande quanto 18.446.744.073.709.551.615. Come si può vedere nella Figura 5.18, i valori fattoriali diventano grandi velocemente. Abbiamo scelto il tipo di dati `unsigned long long int` in modo che il programma possa calcolare valori fattoriali più grandi. Lo specifikatore di conversione `%11u` si usa per stampare valori `unsigned long long int`. Purtroppo, la funzione fattoriale produce valori grandi così rapidamente che perfino `unsigned long long int` non ci permette di stampare molti valori fattoriali prima che sia superato il valore massimo di una variabile `unsigned long long int`.

Anche quando usiamo `unsigned long long int` non riusciamo ancora a calcolare i fattoriali oltre  $21!$ . Questo mette in evidenza una debolezza del C (e della maggior parte degli altri linguaggi di programmazione procedurali), nel senso che il linguaggio non può essere facilmente *esteso* per trattare requisiti specifici di varie applicazioni. I linguaggi orientati agli oggetti, come il C++, sono in genere linguaggi *estensibili* che, con il meccanismo delle "classi", ci permettono la creazione di nuovi tipi di dati, compresi quelli che possono rappresentare interi arbitrariamente grandi se lo vogliamo.

### Errore comune di programmazione 5.9

Dimenticare di far restituire un valore a una funzione ricorsiva quando deve restituirne uno.

### Errore comune di programmazione 5.10

Omettere il caso di base, o scrivere il passo di ricorsione in modo scorretto così che esso non converga al caso di base, provocherà una ricorsione infinita, facendo esaurire alla fine la memoria. Ciò è analogo al problema di un ciclo infinito in una soluzione iterativa (non ricorsiva).

## 5.15 Esempio che usa la ricorsione: la serie di Fibonacci

La serie di Fibonacci

```
0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, ...
```

inizia con 0 e 1 e ha la proprietà che ogni successivo numero di Fibonacci è la somma dei due numeri precedenti.

La serie ricorre in natura e, in particolare, descrive una forma a spirale. Il rapporto dei numeri successivi di Fibonacci converge verso un valore costante pari a 1,618.... Anche questo numero ricorre ripetutamente in natura ed è stato chiamato *proporzione aurea* o *sezione aurea*. Gli esseri umani sono inclini a trovare la sezione aurea esteticamente attraente. Gli architetti spesso proget-

tano finestre, camere e costruzioni la cui lunghezza e larghezza stanno nel rapporto della sezione aurea. Le cartoline postali sono spesso disegnate con una proporzione lunghezza/larghezza pari alla sezione aurea.

La serie di Fibonacci si può definire ricorsivamente come segue:

```
fibonacci(0) = 0
fibonacci(1) = 1
fibonacci(n) = fibonacci(n - 1) + fibonacci(n - 2)
```

La Figura 5.19 calcola ricorsivamente l' $n^{\text{mo}}$  numero di Fibonacci usando la funzione `fibonacci`. Notate che i numeri di Fibonacci tendono a diventare grandi velocemente. Pertanto, abbiamo scelto il tipo di dati `unsigned int` per il tipo del parametro e il tipo di dati `unsigned long long int` per il tipo di ritorno nella funzione `fibonacci`. Nella Figura 5.19 ogni coppia di linee dell'output mostra un'esecuzione separata del programma.

```
1 // Fig. 5.19: fig05_19.c
2 // Funzione ricorsiva fibonacci
3 #include <stdio.h>
4
5 unsigned long long int fibonacci(unsigned int n); // prototipo di funzione
6
7 int main(void)
8 {
9 unsigned int number; // numero inserito dall'utente
10
11 // ottieni un intero dall'utente
12 printf("%s", "Enter an integer: ");
13 scanf("%u", &number);
14
15 // calcola il valore di fibonacci per il numero inserito dall'utente
16 unsigned long long int result = fibonacci(number);
17
18 // stampa il risultato
19 printf("Fibonacci(%u) = %llu\n", number, result);
20 }
21
22 // Definizione ricorsiva della funzione fibonacci
23 unsigned long long int fibonacci(unsigned int n)
24 {
25 // caso di base
26 if (0 == n || 1 == n) {
27 return n;
28 }
29 else { // passo ricorsivo
30 return fibonacci (n - 1) + fibonacci (n - 2);
31 }
32 }
```

```
Enter an integer: 0
Fibonacci(0) = 0
```

```
Enter an integer: 1
Fibonacci(1) = 1
```

```
Enter an integer: 2
Fibonacci(2) = 1
```

```
Enter an integer: 3
Fibonacci(3) = 2
```

```
Enter an integer: 10
Fibonacci(10) = 55
```

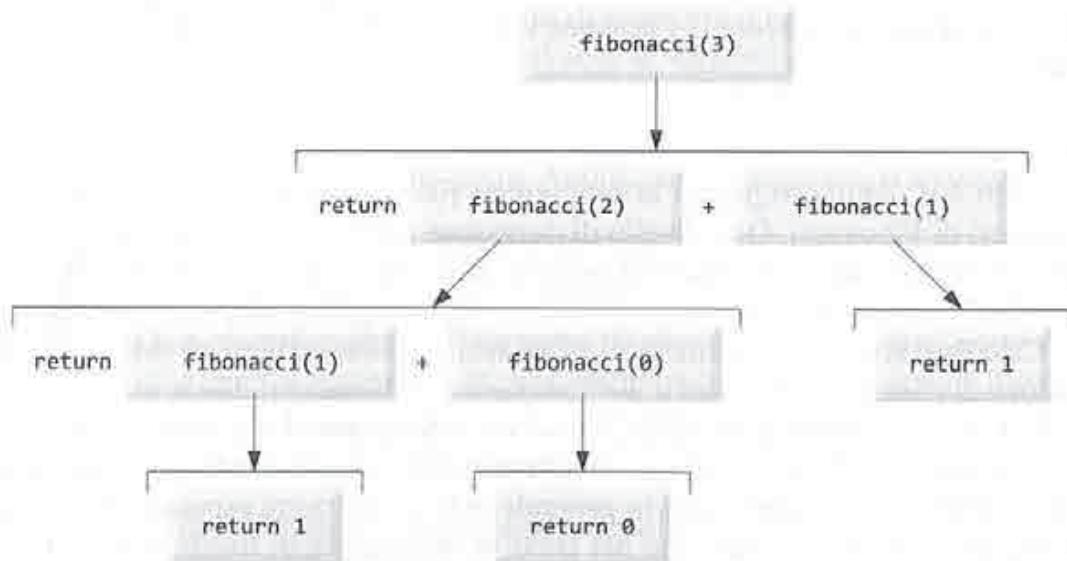
```
Enter an integer: 20
Fibonacci(20) = 6765
```

```
Enter an integer: 30
Fibonacci(30) = 832040
```

```
Enter an integer: 40
Fibonacci(40) = 102334155
```

**Figura 5.19** Funzione ricorsiva fibonacci.

La chiamata a fibonacci da main non è una chiamata ricorsiva (riga 16), ma tutte le chiamate successive a fibonacci sono ricorsive (riga 30). Ogni volta che fibonacci è chiamata, essa verifica immediatamente il *caso di base*, se n è uguale a 0 o a 1. Se questo è vero, viene restituito n. È interessante notare che, se n è maggiore di 1, il passo di ricorsione genera *due* chiamate ricorsive, ognuna delle quali risolve un problema leggermente più semplice dell'originaria chiamata a fibonacci. La Figura 5.20 mostra come la funzione fibonacci calcola fibonacci(3).



**Figura 5.20** Insieme di chiamate ricorsive per fibonacci(3).

### Ordine di valutazione degli operandi

Questa figura mette in evidenza alcuni interessanti aspetti riguardanti l'*ordine* in cui i compilatori C valutano gli operandi degli operatori. Questo è un problema diverso dall'ordine in cui gli operatori sono applicati ai loro operandi, ossia l'ordine dettato dalle regole di precedenza e associatività degli operatori. La Figura 5.20 mostra che, mentre viene valutata `fibonacci(3)`, vengono effettuate *due* chiamate ricorsive, cioè `fibonacci(2)` e `fibonacci(1)`. Ma in quale ordine vengono fatte queste chiamate? Potreste semplicemente supporre che gli operandi vengono valutati da sinistra a destra. Per ragioni di ottimizzazione, il C *non* specifica l'ordine in cui vanno valutati gli operandi della maggior parte degli operatori (incluso +). Quindi, non dovete presumere nulla riguardo all'ordine in cui vengono eseguite queste chiamate. Le chiamate potrebbero essere eseguite con `fibonacci(2)` per prima e `fibonacci(1)` dopo, oppure potrebbero essere eseguite in ordine inverso, prima `fibonacci(1)` e poi `fibonacci(2)`. In questo e in molti altri programmi il risultato finale è lo stesso. Ma in alcuni programmi il calcolo di un operando può avere *effetti secondari* che potrebbero incidere sul risultato finale dell'espressione.

Il C specifica l'ordine di calcolo degli operandi di *soli quattro* operatori, ossia `&&`, `||`, l'operatore virgola `(,)` e `?:`. I primi tre di questi sono operatori binari, i cui operandi sono calcolati da *sinistra a destra*. [Nota: le virgolette usate per separare gli argomenti nella chiamata di una funzione *non* sono operatori virgola.] L'ultimo operatore è il solo operatore *ternario* del C. Il suo operando più a sinistra viene *sempre* valutato per primo; se l'operando più a sinistra ha un valore diverso da zero (vero), viene successivamente valutato l'operando centrale e l'ultimo operando viene ignorato; se l'operando più a sinistra ha un valore uguale a zero (falso), viene successivamente valutato l'ultimo operando e l'operando centrale viene ignorato.

### Errore comune di programmazione 5.11

*Scrivere programmi che dipendono dall'ordine di calcolo degli operandi di operatori diversi da `&&`, `||`, `?:` e dall'operatore virgola `(,)` può provocare errori, perché è possibile che i compilatori non calcolino gli operandi nell'ordine che vi aspettate.*

### Portabilità 5.2

*I programmi che dipendono dall'ordine di calcolo degli operandi di operatori diversi da `&&`, `||`, `?:` e l'operatore virgola `(,)` possono avere un funzionamento diverso a seconda del compilatore.*

### Complessità esponenziale

Un avvertimento è d'obbligo riguardo ai programmi ricorsivi come quello che usiamo qui per generare i numeri di Fibonacci. Ogni livello di ricorsione nella funzione `fibonacci` ha un effetto di *raddoppio* sul numero delle chiamate (il numero delle chiamate ricorsive che saranno eseguite per calcolare l' $n^{\text{mo}}$  numero di Fibonacci è dell'ordine di  $2^n$ ). Questa situazione sfugge rapidamente di mano. Calcolare solo il  $20^{\text{mo}}$  numero di Fibonacci richiede un numero dell'ordine di  $2^{20}$  o di circa un milione di chiamate, calcolare il  $30^{\text{mo}}$  numero di Fibonacci richiede un numero dell'ordine di  $2^{30}$  o di circa un miliardo di chiamate, e così via. Gli informatici chiamano questo fenomeno *complessità esponenziale*. Problemi di questa natura rendono umili persino i computer più potenti del mondo! I problemi di complessità in generale, e la complessità esponenziale in particolare, sono generalmente esaminati in dettaglio nei corsi di informatica di livello superiore riguardanti gli algoritmi.

L'esempio mostrato in questo paragrafo usa una soluzione intuitivamente attraente per calcolare i numeri di Fibonacci, ma esistono approcci migliori. L'Esercizio 5.48 vi chiede di

analizzare più in profondità la ricorsione e di proporre approcci alternativi per implementare l'algoritmo ricorsivo di Fibonacci.

## 5.16 La ricorsione rispetto all'iterazione

Nei paragrafi precedenti abbiamo studiato due funzioni che si possono facilmente implementare o ricorsivamente o iterativamente. In questo paragrafo confrontiamo i due approcci ed esaminiamo perché potreste sceglierne uno rispetto all'altro in una particolare situazione.

- Sia l'iterazione che la ricorsione si basano su una *struttura di controllo*; l'iterazione usa una *struttura di iterazione*; la ricorsione usa una *struttura di selezione*.
- Sia l'iterazione che la ricorsione implicano la *ripetizione*; l'iterazione usa esplicitamente un *istruzione di iterazione*; la ricorsione attua la ripetizione attraverso *ripetute chiamate di funzione*.
- L'iterazione e la ricorsione richiedono ciascuna un *test di terminazione*: l'iterazione termina quando la *condizione di continuazione del ciclo fallisce*; la ricorsione quando *si incontra un caso di base*.
- L'iterazione con la iterazione controllata da contatore e la ricorsione *procedono gradualmente verso la terminazione*: l'iterazione continua a modificare un contatore finché questo assume un valore che fa *fallire la condizione di continuazione del ciclo*; la ricorsione continua a produrre versioni più semplici del problema originario finché non viene raggiunto il *caso di base*.
- Sia l'iterazione che la ricorsione possono andare avanti *all'infinito*: si ha un *ciclo infinito* con l'iterazione se il test di continuazione del ciclo non diventa *mai* falso; si ha una *ricorsione infinita* se il passo di ricorsione *non* riduce ogni volta il problema in modo che esso *converga al caso di base*. L'iterazione e la ricorsione infinita solitamente si verificano come risultato di errori nella logica di un programma.

La ricorsione ha molti difetti. Essa invoca *ripetutamente* il meccanismo di chiamata di funzione, con conseguente *aggravio di calcolo* (detto *overhead*). Ciò può essere dispendioso sia in termini di tempo di elaborazione sia in termini di spazio di memoria. Ogni chiamata ricorsiva fa sì che sia creata *un'altra copia* della funzione (in realtà solo le variabili della funzione vengono copiate); questo può *consumare una considerevole quantità di memoria*. L'iterazione è eseguita normalmente entro una funzione, così non si ha l'aggravio di calcolo delle ripetute chiamate di funzione e dell'assegnazione extra di memoria. Allora, perché scegliere la ricorsione?



### Osservazione di ingegneria del software 5.12

*Qualunque problema che si può risolvere in maniera ricorsiva si può anche risolvere in maniera iterativa (non ricorsivamente). Un approccio ricorsivo si preferisce normalmente a un approccio iterativo quando rispecchia in maniera più naturale il problema e produce un programma più facile da capire e da correggere. Un'altra ragione per scegliere una soluzione ricorsiva sta nel fatto che una soluzione iterativa potrebbe non essere evidente.*

La maggior parte dei libri di programmazione introduce la ricorsione molto più avanti di quanto abbiano fatto qui. Crediamo che la ricorsione sia un argomento abbastanza ricco e complesso da meritare di essere introdotto presto, con la distribuzione degli esempi nel resto del libro. La Figura 5.21 riepiloga gli esempi e gli esercizi di ricorsione presenti nel testo.

| Capitolo                     | Esempi ed esercizi di ricorsione                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Capitolo 5</i>            | Funzione fattoriale<br>Funzione di Fibonacci<br>Massimo comun divisore<br>Moltiplicare due interi<br>Elevare un intero a una potenza intera<br>Torri di Hanoi<br><b>main</b> ricorsivo<br>Visualizzare la ricorsione                                                                            |
| <i>Capitolo 6</i>            | Somma degli elementi di un array<br>Stampare un array<br>Stampare un array all'indietro<br>Stampare una stringa all'indietro<br>Controllare se una stringa è palindroma<br>Valore minimo in un array<br>Ricerca lineare<br>Ricerca binaria<br>Otto regine                                       |
| <i>Capitolo 7</i>            | Attraversamento di un labirinto                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <i>Capitolo 8</i>            | Stampare all'indietro una stringa in ingresso dalla tastiera                                                                                                                                                                                                                                    |
| <i>Capitolo 12</i>           | Ricerca in una lista collegata<br>Stampare all'indietro una lista collegata<br>Inserimento in un albero binario<br>Attraversamento in preordine di un albero binario<br>Attraversamento in ordine di un albero binario<br>Attraversamento in postordine di un albero binario<br>Stampare alberi |
| <i>Appendice D</i>           | Ordinamento per selezione<br>Quicksort (ordinamento veloce)                                                                                                                                                                                                                                     |
| <i>Appendice E (on-line)</i> | Funzione di Fibonacci                                                                                                                                                                                                                                                                           |

**Figura 5.21** Esempi ed esercizi di ricorsione nel testo.

Concludiamo questo capitolo con alcune osservazioni che facciamo ripetutamente in tutto il libro. Una buona ingegneria del software è importante, come lo sono le alte prestazioni. Purtroppo, questi obiettivi sono spesso in contrasto tra loro. Una buona ingegneria del software è la chiave per rendere più fattibile il compito di sviluppare i sistemi software più grandi e più complessi di cui abbiamo bisogno. Le alte prestazioni sono la chiave per realizzare i sistemi del futuro che implementeranno in hardware sempre maggiori funzionalità informatiche. Come entrano in gioco qui le funzioni?



## Prestazioni 5.2

*Funzionalizzare i programmi favorisce una buona ingegneria del software, ma ha un prezzo. Un programma pesantemente funzionalizzato – confrontato con un programma monolitico (cioè di un solo modulo) senza funzioni – effettua potenzialmente un gran numero di chiamate di funzioni, e ciò consuma tempo d'esecuzione sul processore di un computer. Benché i programmi monolitici possano avere prestazioni migliori, sono più difficili da scrivere, testare, correggere, mantenere e sviluppare.*



### Prestazioni 5.3

Le odierni architetture hardware sono ottimizzate per rendere efficienti le chiamate di funzione, i compilatori C aiutano a ottimizzare il codice e gli odierni processori hardware sono incredibilmente veloci. Per la maggior parte delle applicazioni e dei sistemi software che costruirete, concentrarsi su una buona ingegneria del software sarà più importante che programmare per ottenere elevate prestazioni. Tuttavia, in molti sistemi e applicazioni del C, come la programmazione di giochi, i sistemi in tempo reale, i sistemi operativi e i sistemi embedded, le prestazioni sono cruciali; è per questo che nel corso di tutto il libro includiamo alcuni consigli riguardanti le prestazioni.

## 5.17 Programmazione sicura in C

### Numeri casuali sicuri

Nel Paragrafo 5.10 abbiamo introdotto la funzione `rand` per generare numeri pseudocasuali. La Libreria Standard del C non fornisce un generatore sicuro di numeri casuali. Secondo la descrizione della funzione `rand` nel documento del C standard, “Non ci sono garanzie in quanto alla qualità della sequenza casuale prodotta ed è noto che alcune implementazioni producono sequenze con bit meno significativi *increciosamente* non casuali”. La linea guida del CERT MSC30-C indica che vanno usate le funzioni di generazione di numeri casuali specifiche per l’implementazione per assicurarsi che i numeri casuali prodotti *non* siano *predicibili*. Ciò è estremamente importante, ad esempio, nella crittografia e in altre applicazioni di sicurezza. La linea guida presenta diversi generatori di numeri casuali per specifiche piattaforme che sono considerati sicuri. Ad esempio, Windows di Microsoft fornisce la funzione `CryptGenRandom`, e i sistemi basati su POSIX (come Linux) forniscono una funzione `random` che produce risultati più sicuri. Per maggiori informazioni, fate riferimento alla linea guida MSC30-C al sito <https://www.securecoding.cert.org>. Se state realizzando applicazioni a livello industriale che richiedono numeri casuali, dovete cercare le funzioni raccomandate per la vostra piattaforma.

## Riepilogo

### Paragrafo 5.1 Introduzione

- Il modo migliore per sviluppare e mantenere un programma di grandi dimensioni è quello di suddividerlo in diverse parti più piccole, ognuna più maneggevole del programma originario.

### Paragrafo 5.2 Modularizzazione dei programmi in C

- Una funzione è invocata con una chiamata di funzione. La chiamata di funzione specifica la funzione per nome e fornisce le informazioni (come argomenti) che occorrono alla funzione chiamata per eseguire il suo compito.
- Lo scopo dell’occultamento delle informazioni è quello di fornire alle funzioni soltanto l’accesso alle informazioni di cui hanno bisogno per completare i loro compiti. Questo è un mezzo per implementare il principio del privilegio minimo, uno dei principi più importanti per una buona ingegneria del software.

### Paragrafo 5.3 Funzioni della libreria math

- Una funzione viene normalmente invocata in un programma scrivendo nell'ordine il nome della funzione, una parentesi sinistra, l'argomento (o una lista di argomenti separati da virgolette) della funzione e una parentesi destra.
- Ogni argomento di una funzione può essere una costante, una variabile o un'espressione.

### Paragrafo 5.4 Funzioni

- Una variabile locale è conosciuta solo all'interno della definizione di una funzione. Alle altre funzioni non è permesso conoscere i nomi delle variabili locali di una funzione, né a una funzione è permesso conoscere i dettagli di implementazione di una qualunque altra funzione.

### Paragrafo 5.5 Definizioni di funzioni

- Il formato generale per la definizione di una funzione è

```
tipo-del-valore-di-ritorno nome-della-funzione(lista-dei-parametri)
{
 istruzioni
}
```

Il *tipo del valore di ritorno* determina il tipo del valore restituito alla funzione chiamante. Se una funzione non restituisce un valore, il *tipo del valore di ritorno* è dichiarato come `void`. Il nome della funzione è qualsiasi identificatore valido. La *lista dei parametri* è una lista separata da virgolette contenente le definizioni delle variabili che saranno passate alla funzione. Se una funzione non riceve alcun valore, la *lista dei parametri* è dichiarata come `void`. Il corpo della funzione è l'insieme delle definizioni e delle istruzioni che costituiscono la funzione.

- Gli argomenti passati a una funzione devono concordare in numero, tipo e ordine con i parametri nella definizione della funzione.
- Quando un programma incontra la chiamata di una funzione, il controllo è trasferito dal punto di invocazione alla funzione chiamata; vengono quindi eseguite le istruzioni della funzione chiamata e infine il controllo ritorna alla funzione chiamante.
- Una funzione chiamata può restituire il controllo a quella chiamante in uno di tre modi. Se la funzione non restituisce un valore, il controllo viene restituito quando si raggiunge la parentesi graffa destra che termina la funzione, oppure eseguendo l'istruzione

```
return;
```

Se la funzione deve restituire un valore, l'istruzione

```
return espressione;
```

restituisce il valore di *espressione*.

### Paragrafo 5.6 Prototipi di funzioni: uno sguardo più approfondito

- Un prototipo di funzione dichiara il nome e il tipo di ritorno della funzione e il numero, i tipi e l'ordine dei parametri che la funzione si aspetta di ricevere.
- I prototipi di funzione consentono al compilatore di verificare che le funzioni siano chiamate correttamente.
- Il compilatore ignora i nomi delle variabili menzionati nel prototipo di funzione.
- Gli argomenti in un'espressione di tipo misto sono convertiti allo stesso tipo per mezzo delle normali regole di conversione aritmetica del C standard.

### **Paragrafo 5.7 Pila delle chiamate delle funzioni e record di attivazione**

- Le pile sono note come strutture di dati last-in, first-out (LIFO): l'ultimo elemento inserito nella pila è il primo elemento a essere rimosso da essa.
- Una funzione chiamata deve sapere come tornare alla sua funzione chiamante, così, quando la funzione è chiamata, l'indirizzo di ritorno della funzione chiamante è inserito con un push in cima alla pila di esecuzione del programma. Se si ha una sequenza di chiamate di funzioni, gli indirizzi di ritorno vengono inseriti nell'ordine first-in, first-out nella pila, in modo che l'ultima funzione chiamata è la prima a tornare alla sua funzione chiamante.
- La pila di esecuzione del programma contiene la memoria per le variabili locali usate in ciascuna invocazione di funzione durante l'esecuzione del programma. Questa collezione di dati è nota come record di attivazione per la chiamata della funzione. Quando si effettua una chiamata di una funzione, il record di attivazione per la chiamata di quella funzione è inserito in cima alla pila di esecuzione del programma. Quando la funzione torna alla sua funzione chiamante, il record di attivazione per la chiamata della funzione è rimosso dalla cima della pila e le sue variabili locali non sono più note al programma.
- La quantità di memoria in un computer è finita, così si può usare solo una certa quantità di memoria per memorizzare i record di attivazione nella pila di esecuzione del programma. Se vi sono più chiamate di funzione di quanti record di attivazione possono essere memorizzati nella pila di esecuzione del programma, si verifica un errore noto come overflow della pila. L'applicazione sarà compilata correttamente, ma la sua esecuzione causerà un overflow della pila.

### **Paragrafo 5.8 File di intestazione**

- Ogni libreria standard ha un corrispondente file di intestazione contenente i prototipi di funzione per tutte le funzioni in quella libreria, come pure le definizioni di varie costanti simboliche necessarie a quelle funzioni.
- Potete creare e includere i vostri file di intestazione.

### **Paragrafo 5.9 Passare gli argomenti per valore e per riferimento**

- Quando un argomento è passato per valore, una copia del suo valore viene creata e passata alla funzione chiamata. Le modifiche alla copia nella funzione chiamata non incidono sul valore originario della variabile.
- Tutte le chiamate in C sono chiamate per valore.
- È possibile ottenere la chiamata per riferimento usando gli operatori di indirizzamento e gli operatori di indirezione.

### **Paragrafo 5.10 Generazione di numeri casuali**

- La funzione `rand` genera un numero intero tra 0 e `RAND_MAX`, che è definito dal C standard come un valore intero pari ad almeno 32767.
- I valori prodotti da `rand` possono essere scalati e spostati di intervallo per produrre valori in un intervallo specifico.
- Per randomizzare un programma, usate la funzione della Libreria Standard del C `srand`.
- La funzione `srand` fornisce un seme al generatore di numeri casuali. Una chiamata `srand` viene solitamente inserita in un programma solo dopo che ne è stato effettuato il debugging completo. Durante il debugging è meglio omettere `srand`. Questo assicura la ripetibilità, che è

essenziale per provare che le correzioni a un programma di generazione di numeri casuali operino bene.

- I prototipi di funzione per `rand` e `srand` sono contenuti in `<stdlib.h>`.
- Per randomizzare un programma senza la necessità di inserire ogni volta un seme, usiamo `srand(time(NULL))`.
- L'equazione generale per scalare e spostare di intervallo un numero casuale è

$$n = a + \text{rand}() \% b;$$

dove `a` è il valore di spostamento (cioè il primo numero nell'intervallo di interi consecutivi desiderato) e `b` è il fattore di scala (cioè l'ampiezza dell'intervallo di interi consecutivi desiderato).

#### *Paragrafo 5.11 Esempio di un gioco d'azzardo: introduzione di enum*

- Un'enumerazione, introdotta dalla parola chiave `enum`, è un insieme di costanti intere rappresentate da identificatori. I valori in un `enum` partono da `0` e sono incrementati di `1`. È anche possibile assegnare un valore intero a ciascun identificatore in un `enum`. Gli identificatori in un'enumerazione devono essere unici, ma i valori si possono duplicare.

#### *Paragrafo 5.12 Classi di memoria*

- Ogni identificatore in un programma ha gli attributi classe di memoria, permanenza in memoria, campo d'azione e collegamento.
- Il C fornisce quattro classi di memoria indicati dagli specificatori della classe di memoria: `auto`, `register`, `extern` e `static`.
- La permanenza in memoria di un identificatore è il periodo in cui quell'identificatore esiste nella memoria.
- Il collegamento di un identificatore determina per un programma con più file sorgente se l'identificatore è conosciuto soltanto nel file sorgente corrente oppure in qualunque file sorgente con le opportune dichiarazioni.
- Le variabili con permanenza in memoria automatica vengono create quando si entra nel blocco in cui sono definite, esistono finché il blocco è attivo e sono distrutte quando il blocco è disattivato. Le variabili locali di una funzione hanno normalmente una permanenza in memoria automatica.
- Le parole chiave `extern` e `static` si usano per dichiarare gli identificatori per le variabili e le funzioni con permanenza in memoria statica.
- Le variabili con permanenza in memoria statica sono allocate e inizializzate una volta soltanto, prima che il programma inizi l'esecuzione.
- Vi sono due tipi di identificatori con permanenza in memoria statica: gli identificatori esterni (come le variabili globali e i nomi delle funzioni) e le variabili locali dichiarate con lo specificatore della classe di memoria `static`.
- Le variabili globali sono create mettendo le definizioni di variabile al di fuori di una qualunque definizione di funzione. Le variabili globali mantengono i loro valori per tutta l'esecuzione del programma.
- Le variabili locali `static` mantengono il loro valore tra le chiamate della funzione nella quale sono definite.
- Se non le inizializzate esplicitamente, tutte le variabili numeriche con permanenza in memoria statica vengono inizializzate a zero.

### **Paragrafo 5.13 Regole per il campo d'azione**

- Il campo d'azione di un identificatore è dove l'identificatore si può menzionare in un programma.
- Un identificatore può avere il campo d'azione esteso alla funzione, al file, al blocco o al prototipo di funzione.
- Le etichette sono gli unici identificatori con campo d'azione esteso alla funzione. Le etichette possono essere usate ovunque nella funzione in cui compaiono, ma non possono essere menzionate al di fuori del corpo della funzione.
- Un identificatore dichiarato al di fuori di una qualunque funzione ha il campo d'azione esteso al file. Un tale identificatore è “conosciuto” in tutte le funzioni dal punto in cui è dichiarato fino alla fine del file.
- Gli identificatori definiti all'interno di un blocco hanno il campo d'azione esteso al blocco, che termina in corrispondenza della parentesi graffa destra }) che chiude il blocco.
- Le variabili locali definite all'inizio di una funzione hanno il campo d'azione esteso al blocco, così come i parametri di funzione, anch'essi considerati dalla funzione variabili locali.
- Un blocco può contenere definizioni di variabili. Quando i blocchi sono annidati e un identificatore in un blocco esterno ha lo stesso nome di un identificatore in un blocco interno, l'identificatore nel blocco esterno è “nascosto” finché il blocco interno non termina.
- Gli unici identificatori con il campo d'azione esteso al prototipo di funzione sono quelli usati nella lista di parametri del prototipo di una funzione. Gli identificatori usati nel prototipo di funzione possono essere riutilizzati senza ambiguità altrove nel programma.

### **Paragrafo 5.14 Ricorsione**

- Una funzione ricorsiva è una funzione che chiama se stessa direttamente o indirettamente.
- Se una funzione ricorsiva è chiamata con un caso di base, restituisce semplicemente un risultato. Se è chiamata per risolvere un problema più complesso, divide il problema in due parti concettuali: una parte che sa come trattare e una versione leggermente più semplice del problema originario. Poiché questo nuovo problema somiglia al problema originario, la funzione lancia una chiamata ricorsiva per operare sul problema più semplice.
- Perché termini la ricorsione, ogni volta che la funzione ricorsiva chiama se stessa con una versione un po' più semplice del problema originario, la sequenza di problemi sempre più semplici deve convergere al caso di base. Quando la funzione riconosce il caso di base, il risultato è restituito alla precedente chiamata della funzione e ciò attiva una sequenza di restituzioni a ritroso, finché la chiamata originaria della funzione restituisce infine il risultato finale.
- Il C standard non specifica l'ordine in cui vanno calcolati gli operandi della maggior parte degli operatori (compreso +). Dei molti operatori del C, lo standard specifica l'ordine di calcolo degli operandi dei soli operatori &&, ||, l'operatore virgola (,) e ?: . I primi tre di questi sono operatori binari, i cui due operandi sono calcolati da sinistra a destra. L'ultimo operatore è l'unico operatore ternario del C. Il suo operando più a sinistra è calcolato per primo; se esso ha valore diverso da zero, viene valutato l'operando centrale e l'ultimo operando viene ignorato; se l'operando più a sinistra ha valore uguale a zero, viene valutato il terzo operando e l'operando centrale viene ignorato.

### Paragrafo 5.16 La ricorsione rispetto all'iterazione

- Sia la ricorsione che l'iterazione si basano su una struttura di controllo: l'iterazione usa un'istruzione di iterazione; la ricorsione usa un'istruzione di selezione.
- Sia l'iterazione che la ricorsione implicano la ripetizione: l'iterazione usa esplicitamente una struttura di ripetizione; la ricorsione attua la ripetizione attraverso ripetute chiamate di funzione.
- L'iterazione e la ricorsione implicano ciascuna un test di terminazione: l'iterazione termina quando la condizione di continuazione del ciclo fallisce; la ricorsione termina quando si incontra un caso di base.
- L'iterazione e la ricorsione possono andare avanti all'infinito: si ha un ciclo infinito con l'iterazione se il test di continuazione del ciclo non diventa mai falso; si ha una ricorsione infinita se il passo di ricorsione non riduce il problema in modo che esso converga al caso di base.
- La ricorsione invoca ripetutamente il meccanismo di chiamata di funzione e, conseguentemente, introduce l'aggravio di calcolo (overhead) che questo comporta. Ciò può essere dispendioso sia in termini di tempo del processore sia in termini di spazio di memoria.

## Esercizi di autovalutazione

5.1 Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti frasi:

- Per modularizzare i programmi si utilizzano \_\_\_\_\_.
- Una funzione è invocata con una \_\_\_\_\_.
- Una variabile che è conosciuta solo all'interno della funzione in cui è definita è chiamata \_\_\_\_\_.
- L'istruzione \_\_\_\_\_ in una funzione chiamata si usa per restituire il valore di un'espressione alla funzione chiamante.
- La parola chiave \_\_\_\_\_ si usa nell'intestazione di una funzione per indicare che una funzione non restituisce un valore o che una funzione non contiene parametri.
- Il \_\_\_\_\_ di un identificatore è la porzione di programma in cui si può usare l'identificatore.
- I tre modi di restituire il controllo da una funzione chiamata a una chiamante sono \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_.
- Un \_\_\_\_\_ consente al compilatore di controllare il numero, i tipi e l'ordine degli argomenti passati a una funzione.
- La funzione \_\_\_\_\_ si usa per produrre numeri casuali.
- La funzione \_\_\_\_\_ si usa per impostare il seme per i numeri casuali in modo da rendere casuale il programma.
- Gli specificatori della classe di memoria sono \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_.
- Si assume che le variabili dichiarate in un blocco o nella lista dei parametri di una funzione siano della classe di memoria \_\_\_\_\_, a meno che non sia specificato diversamente.
- Una variabile non-static definita al di fuori di un blocco o di una funzione è una variabile \_\_\_\_\_.
- Perché una variabile locale in una funzione mantenga il suo valore tra le chiamate alla funzione deve essere dichiarata con lo specificatore della classe di memoria \_\_\_\_\_.
- Le quattro possibili estensioni del campo d'azione di un identificatore sono \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_.

- p) Una funzione che chiama se stessa direttamente o indirettamente è una funzione
- q) Una funzione ricorsiva ha tipicamente due componenti: una che fornisce una modalità perché la ricorsione termini verificando un caso \_\_\_\_\_ e una che esprime il problema come una chiamata ricorsiva per un problema leggermente più semplice della chiamata originaria.
- 5.2 Per il seguente programma determinate l'estensione del campo d'azione (alla funzione, al file, al blocco o al prototipo di funzione) di ognuno dei seguenti elementi.
- La variabile `x` in `main`.
  - La variabile `y` in `cube`.
  - La funzione `cube`.
  - La funzione `main`.
  - Il prototipo di funzione per `cube`.
  - L'identificatore `y` nel prototipo di funzione per `cube`.

```
1 #include <stdio.h>
2 int cube(int y);
3
4 int main(void)
5 {
6 for (int x = 1; x <= 10; ++x)
7 printf("%u\n", cube(x));
8 }
9
10 int cube(int y)
11 {
12 return y * y * y;
13 }
```

- 5.3 Scrivete un programma che verifichi se gli esempi delle chiamate a funzioni della libreria math mostrati nella Figura 5.2 producano realmente i risultati indicati.
- 5.4 Scrivete l'intestazione di funzione per ognuna delle seguenti funzioni.
- La funzione `hypotenuse` che riceve due argomenti in virgola mobile in doppia precisione, `side1` e `side2`, e restituisce un risultato in virgola mobile in doppia precisione.
  - La funzione `smallest` che riceve tre interi, `x`, `y`, `z`, e restituisce un intero.
  - La funzione `instructions` che non riceve alcun argomento e non restituisce alcun valore. [Nota: tali funzioni sono comunemente usate per dare delle istruzioni a un utente.]
  - La funzione `intToFloat` che riceve un argomento intero, `number`, e restituisce un risultato in virgola mobile.
- 5.5 Scrivete il prototipo di funzione per ognuna delle seguenti funzioni:
- La funzione descritta nell'Esercizio 5.4 (a).
  - La funzione descritta nell'Esercizio 5.4 (b).
  - La funzione descritta nell'Esercizio 5.4 (c).
  - La funzione descritta nell'Esercizio 5.4 (d).
- 5.6 Scrivete una dichiarazione per la variabile in virgola mobile `lastVal` che deve mantenere il suo valore tra le chiamate alla funzione in cui è definita.

- 5.7 Trovate l'errore in ognuno dei seguenti segmenti di programma e spiegate come può essere corretto. (Si veda anche l'Esercizio 5.46.)

```

a) int g(void)
{
 printf("%s", Inside function g\n");
 int h(void)
 {
 printf("%s", Inside function h\n");
 }
}
b) int sum(int x, int y)
{
 int result;
}
c) void f(float a);
{
 float a;
 printf("%f", a);
}
d) int sum(int n)
{
 if (0 == n) {
 return 0; //
 }
 else {
 n + sum(n - 1);
 }
}
e) void product(void)
{
 printf("%s", "Enter three integers: ")
 int a, b, c;
 scanf("%d%d%d", &a, &b, &c);
 int result = a * b * c;
 printf("Result is %d", result);
 return result;
}

```

## Risposte agli esercizi di autovalutazione

- 5.1 a) funzione. b) chiamata di funzione. c) variabile locale. d) return. e) void. f) campo d'azione. g) return, return expression oppure incontrando la parentesi graffa destra che chiude la funzione. h) prototipo di funzione. i) rand. j) srand. k) auto, register, extern, static. l) auto. m) esterna, globale. n) static. o) la funzione, il file, il blocco, il prototipo di funzione. p) ricorsiva. q) di base.
- 5.2 a) il blocco. b) il blocco. c) il file. d) il file. e) il file. f) il prototipo di funzione.
- 5.3 Si veda sotto. [Nota: sulla maggior parte dei sistemi Linux, quando compilate questo programma dovete usare l'opzione `-lm`.]

```
1 // ex05_03.c
2 // Verifica delle funzioni della libreria math
3 #include <stdio.h>
4 #include <math.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 // calcola e stampa la radice quadrata
9 printf("sqrt(%.1f) = %.1f\n", 900.0, sqrt(900.0));
10 printf("sqrt(%.1f) = %.1f\n", 9.0, sqrt(9.0));
11
12 // calcola e stampa la radice cubica
13 printf("cbrt(%.1f) = %.1f\n", 27.0, cbrt(27.0));
14 printf("cbrt(%.1f) = %.1f\n", -8.0, cbrt(-8.0));
15
16 // calcola e stampa la funzione esponenziale (in base e)
17 printf("exp(%.1f) = %f\n", 1.0, exp(1.0));
18 printf("exp(%.1f) = %f\n", 2.0, exp(2.0));
19
20 // calcola e stampa il logaritmo (in base e)
21 printf("log(%f) = %.1f\n", 2.718282, log(2.718282));
22 printf("log(%f) = %.1f\n", 7.389056, log(7.389056));
23
24 // calcola e stampa il logaritmo (in base 10)
25 printf("log10(%.1f) = %.1f\n", 1.0, log10(1.0));
26 printf("log10(%.1f) = %.1f\n", 10.0, log10(10.0));
27 printf("log10(%.1f) = %.1f\n", 100.0, log10(100.0));
28
29 // calcola e stampa il valore assoluto
30 printf("fabs(%.1f) = %.1f\n", 13.5, fabs(13.5));
31 printf("fabs(%.1f) = %.1f\n", 0.0, fabs(0.0));
32 printf("fabs(%.1f) = %.1f\n", -13.5, fabs(-13.5));
33
34 // calcola e stampa ceil(x)
35 printf("ceil(%.1f) = %.1f\n", 9.2, ceil(9.2));
36 printf("ceil(%.1f) = %.1f\n", -9.8, ceil(-9.8));
37
38 // calcola e stampa floor(x)
39 printf("floor(%.1f) = %.1f\n", 9.2, floor(9.2));
40 printf("floor(%.1f) = %.1f\n", -9.8, floor(-9.8));
41
42 // calcola e stampa pow(x, y)
43 printf("pow(%.1f, %.1f) = %.1f\n", 2.0, 7.0, pow(2.0, 7.0));
44 printf("pow(%.1f, %.1f) = %.1f\n", 9.0, 0.5, pow(9.0, 0.5));
45
46 // calcola e stampa fmod(x, y)
47 printf("fmod(%.3f/%.3f) = %.3f\n", 13.657, 2.333,
48 fmod(13.657, 2.333));
49
50 // calcola e stampa sin(x)
```

```

51 printf("sin(%.1f) = %.1f\n", 0.0, sin(0.0));
52
53 // calcola e stampa cos(x)
54 printf("cos(%.1f) = %.1f\n", 0.0, cos(0.0));
55
56 // calcola e stampa tan(x)
57 printf("tan(%.1f) = %.1f\n", 0.0, tan(0.0));
58 }
```

```

sqrt(900.0) = 30.0
sqrt(9.0) = 3.0
cbrt(27.0) = 3.0
cbrt(-8.0) = -2.0
exp(1.0) = 2.718282
exp(2.0) = 7.389056
log(2.718282) = 1.0
log(7.389056) = 2.0
log10(1.0) = 0.0
log10(10.0) = 1.0
log10(100.0) = 2.0
fabs(13.5) = 13.5
fabs(0.0) = 0.0
fabs(-13.5) = 13.5
ceil(9.2) = 10.0
ceil(-9.8) = -9.0
floor(9.2) = 9.0
floor(-9.8) = -10.0
pow(2.0, 7.0) = 128.0
pow(9.0, 0.5) = 3.0
fmod(13.657/2.333) = 1.992
sin(0.0) = 0.0
cos(0.0) = 1.0
tan(0.0) = 0.0
```

- 5.4 a) `double hypotenuse(double side1, double side2)`  
 b) `int smallest(int x, int y, int z)`  
 c) `void instructions(void)`  
 d) `float intToFloat(int number)`
- 5.5 a) `double hypotenuse(double side1, double side2);`  
 b) `int smallest(int x, int y, int z);`  
 c) `void instructions(void);`  
 d) `float intToFloat(int number);`
- 5.6 `static float lastVal;`
- 5.7 a) Errore: la funzione h è definita nella funzione g.  
 Correzione: spostate la definizione di h fuori dalla definizione di g.  
 b) Errore: il corpo della funzione dovrebbe restituire un intero, ma non lo fa.  
 Correzione: sostituite l'istruzione nel corpo della funzione con:
- ```

    return x + y;
```

- c) Errore: il punto e virgola dopo la parentesi destra che chiude la lista dei parametri e la ridefinizione del parametro `a` nella definizione di funzione.
 Correzione: cancellate il punto e virgola dopo la parentesi destra della lista dei parametri e cancellate la dichiarazione `float a`; nel corpo della funzione.
- d) Errore: il risultato di `n + sum(n - 1)` non viene restituito; `sum` restituisce un risultato scorretto.
 Correzione: riscrivete l'istruzione nella clausola `else` come
`return n + sum(n - 1);`
- e) Errore: la funzione restituisce un valore, mentre non deve farlo.
 Correzione: eliminate l'istruzione `return`.

Esercizi

- 5.8 Determinate il valore di `x` dopo l'esecuzione di ciascuna delle seguenti istruzioni:
- a) `x = fabs(7.5);`
 - b) `x = floor(7.5);`
 - c) `x = fabs(0.0);`
 - d) `x = ceil(0.0);`
 - e) `x = fabs(-6.4);`
 - f) `x = ceil(-6.4);`
 - g) `x = ceil(-fabs(-8 + floor(-5.5)));`
- 5.9 (*Costo del parcheggio*) Un garage fa pagare una tariffa minima di \$2,00 per parcheggiare fino a tre ore, più \$0,50 all'ora per ogni ora o *parte di essa* oltre le tre ore. Il costo massimo per un dato periodo di 24 ore è di \$10,00. Supponete che nessuna macchina resti parcheggiata per più di 24 ore. Scrivete un programma che calcoli e stampi i costi del parcheggio per ciascuno dei tre clienti che ieri hanno parcheggiato le loro auto in questo garage. Dovete inserire le ore di parcheggio per ogni cliente. Il vostro programma deve stampare i risultati in un formato tabellare e deve calcolare e stampare il totale degli incassi di ieri. Il programma deve usare la funzione `calculateCharges` per determinare il costo per ogni cliente. Il vostro output deve avere il seguente formato:

Car	Hours	Charge
1	1.5	2.00
2	4.0	2.50
3	24.0	10.00
TOTAL	29.5	14.50

- 5.10 (*Arrotondamento*) Un'applicazione della funzione `floor` è l'arrotondamento di un valore all'intero più vicino. L'istruzione

```
y = floor(x + .5);
```

arrotonda il numero `x` all'intero più vicino e assegna il risultato a `y`. Scrivete un programma che legga diversi numeri e usi l'istruzione precedente per arrotondare ognuno di essi all'intero più vicino. Per ogni numero processato stampate sia il numero originario sia il numero arrotondato.

- 5.11 (*Arrotondamento*) La funzione `floor` può essere usata per arrotondare un numero in riferimento a una specifica posizione decimale. L'istruzione

```
y = floor(x * 10 + .5) / 10;
```

arrotonda x alla posizione dei decimi (la prima posizione alla destra del punto decimale). L'istruzione

```
y = floor( x * 100 + .5 ) / 100;
```

arrotonda x alla posizione dei centesimi (la seconda posizione alla destra del punto decimale). Scrivete un programma che definisca quattro funzioni per arrotondare un numero x in vari modi.

- `roundToInteger(number)` // arrotonda all'intero più vicino
- `roundToTenths(number)` // arrotonda alla posizione dei decimi
- `roundToHundredths(number)` // arrotonda alla posizione dei centesimi
- `roundToThousandsths(number)` // arrotonda alla posizione delle migliaia

Per ogni valore letto, il vostro programma deve stampare il valore originario, il numero arrotondato all'intero più vicino, il numero arrotondato alla posizione dei decimi, il numero arrotondato alla posizione dei centesimi e il numero arrotondato alla posizione delle migliaia.

5.12 Rispondete a ognuna delle seguenti domande.

- Cosa significa scegliere numeri “a caso”?
- Perché la funzione `rand` è utile per simulare i giochi d'azzardo?
- Perché randomizzereste un programma usando `srand`? In quali circostanze è desiderabile non randomizzare?
- Perché spesso è necessario scalare e/o spostare di intervallo i valori prodotti da `rand`?

5.13 Scrivete istruzioni che assegnino dei valori interi casuali alla variabile n nei seguenti intervalli:

- $1 \leq n \leq 2$
- $1 \leq n \leq 100$
- $0 \leq n \leq 9$
- $1000 \leq n \leq 1112$
- $-1 \leq n \leq 1$
- $-3 \leq n \leq 11$

5.14 Per ognuno dei seguenti insiemi di interi scrivete un'istruzione singola per stampare un numero tratto a caso dall'insieme.

- 2, 4, 6, 8, 10.
- 3, 5, 7, 9, 11.
- 6, 10, 14, 18, 22.

5.15 (*Calcolo dell'ipotenusa*) Definite una funzione chiamata `hypotenuse` che calcoli la lunghezza dell'ipotenusa di un triangolo rettangolo quando sono dati gli altri due lati. La funzione deve ricevere due argomenti di tipo `double` e restituire l'ipotenusa come un `double`. Testate il vostro programma con i valori dei lati specificati nella Figura 5.22.

Triangolo	Lato1	Lato2
1	3.0	4.0
2	5.0	12.0
3	8.0	15.0

Figura 5.22 Valori di esempio dei lati di un triangolo per l'Esercizio 5.15.

- 5.16 (Esponenziazione)** Scrivete una funzione `integerPower(base, exponent)` che restituisca il valore $\text{base}^{\text{exponent}}$.

Ad esempio, `integerPower(3, 4) = 3 * 3 * 3 * 3`. Supponete che `exponent` sia un intero positivo diverso da zero e che `base` sia un intero. La funzione `integerPower` deve usare `for` come struttura di controllo per il calcolo. Non usate alcuna funzione della libreria `math`.

- 5.17 (Multipli)** Scrivete una funzione `multiple` che determini per una coppia di interi se il secondo intero sia un multiplo del primo. La funzione deve ricevere due argomenti interi e restituire 1 (vero) se il secondo è un multiplo del primo e 0 (falso) nel caso contrario. Usate questa funzione in un programma che riceve in ingresso una serie di coppie di interi.

- 5.18 (Pari o dispari)** Scrivete un programma che riceva in ingresso una serie di interi e li passi uno alla volta alla funzione `even`, che usa l'operatore di resto per determinare se un intero è pari. La funzione deve prendere un argomento intero e restituire 1 se l'intero è pari e 0 nel caso contrario.

- 5.19 (Quadrato di asterischi)** Scrivete una funzione che stampi un quadrato di asterischi pieno il cui lato è specificato nel parametro intero `side`. Ad esempio, se `side` è 4, la funzione stampa:

```
*****
*****
*****
*****
```

- 5.20 (Stampare un quadrato di un qualunque carattere)** Modificate la funzione realizzata nell'Esercizio 5.19 per formare il quadrato con qualsiasi carattere contenuto nel parametro di tipo carattere `fillCharacter`. Così, se `side` è 5 e `fillCharacter` è "#", questa funzione deve stampare:

```
#####
#####
#####
#####
#####
```

- 5.21 (Progetto: disegnare forme e caratteri)** Usate tecniche simili a quelle sviluppate negli Esercizi 5.19–5.20 per produrre un programma che disegni una vasta gamma di forme.

- 5.22 (Separazione di cifre)** Scrivete dei segmenti di programma che effettuino le seguenti operazioni:

- Calcolo della parte intera del quoziente quando l'intero `a` è diviso per l'intero `b`.
- Calcolo del resto intero quando l'intero `a` è diviso per l'intero `b`.
- Usate le parti di programma sviluppate in a) e b) per scrivere una funzione che riceva in ingresso un intero tra 1 e 32767 e lo stampi come una sequenza di cifre, con due spazi tra ognuna di esse. Ad esempio, l'intero 4562 deve essere stampato come:

4	5	6	2
---	---	---	---

- 5.23 (Tempo in secondi)** Scrivete una funzione che riceva il tempo espresso come tre argomenti interi (per ore, minuti e secondi) e restituisca il numero dei secondi da quando l'orologio "ha battuto le 12" l'ultima volta. Usate questa funzione per calcolare la quantità di tempo in secondi tra due orari, entrambi contenuti entro un ciclo dell'orologio di 12 ore.

5.24 (Conversioni di temperatura) Implementate le seguenti funzioni intere:

- La funzione `toCelsius` restituisce l'equivalente in gradi Celsius di una temperatura in gradi Fahrenheit.
- La funzione `toFahrenheit` restituisce l'equivalente in gradi Fahrenheit di una temperatura in gradi Celsius.
- Usate queste funzioni per scrivere un programma che stampi diagrammi che mostrino gli equivalenti gradi Fahrenheit di tutte le temperature in gradi Celsius da 0 a 100 gradi e gli equivalenti gradi Celsius di tutte le temperature in gradi Fahrenheit da 32 a 212 gradi. Stampate gli output in un formato tabellare che minimizzi il numero delle righe di output, pur rimanendo ancora leggibile.

5.25 (Trovare il minimo) Scrivete una funzione che restituisca il più piccolo di tre numeri in virgola mobile.

5.26 (Numeri perfetti) Un numero intero è un *numero perfetto* se i suoi fattori, compreso 1 (ma non il numero stesso), hanno come somma il numero stesso. Ad esempio, 6 è un numero perfetto perché $6 = 1 + 2 + 3$. Scrivete una funzione `perfect` che determini se il parametro `number` è un numero perfetto. Usate questa funzione in un programma che determini e stampi tutti i numeri perfetti tra 1 e 1000. Stampate i fattori di ogni numero perfetto per confermare che il numero è effettivamente perfetto. Sfidate la potenza del vostro computer provando numeri molto più grandi di 1000.

5.27 (Numeri primi) Un intero è un numero *primo* se è divisibile solo per 1 e per se stesso. Ad esempio, 2, 3, 5 e 7 sono numeri primi, ma 4, 6, 8 e 9 non lo sono.

- Scrivete una funzione che determini se un numero è primo.
- Usate questa funzione in un programma che determini e stampi tutti i numeri primi tra 1 e 10.000. Quanti di questi 10.000 numeri dovete realmente provare prima di essere sicuri di aver trovato tutti i numeri primi?
- Inizialmente potreste pensare che $n/2$ è il limite superiore dei test per verificare se un numero è primo, ma in realtà dovete solo spingervi sino alla radice quadrata di n . Riscrivete il programma e fatelo eseguire in tutti e due i modi. Valutate il miglioramento delle prestazioni.

5.28 (Inversione di cifre) Scrivete una funzione che riceva un valore intero e restituisca il numero con le sue cifre invertite. Ad esempio, dato il numero 7631, la funzione deve restituire 1367.

5.29 (Massimo comun divisore) Il *massimo comun divisore* (GCD, Greatest Common Divisor) di due interi è l'intero più grande che divide in parti uguali ognuno dei due numeri. Scrivete la funzione `gcd` che restituisce il massimo comun divisore di due interi.

5.30 (Valutazione qualitativa dei voti di uno studente) Scrivete una funzione `qualityPoints` che riceva in ingresso la media dei voti di uno studente e restituisca 4 se questa è compresa nell'intervallo 90–100, 3 se è tra 80–89, 2 se è tra 70–79, 1 se è tra 60–69 e 0 se la media è più bassa di 60.

5.31 (Lancio di una moneta) Scrivete un programma che simuli il lancio di una moneta. Per ogni lancio della moneta il programma deve stampare `head` (testa) o `tail` (croce). Fate lanciare al programma la moneta 100 volte e contate il numero di volte in cui compare ogni lato della moneta. Stampate i risultati. Il programma deve chiamare una funzione separata `flip` che non riceve alcun argomento e restituisce 0 per croce e 1 per testa. [Nota: se il programma simula in maniera realistica il lancio della moneta, allora ogni lato della moneta deve comparire approssimativamente la metà delle volte, per un totale di approssimativamente 50 teste e 50 croci.]

5.32 (Indovina il numero) Scrivete un programma in C che realizzzi il gioco "indovina il numero" come segue: il vostro programma sceglie il numero da indovinare selezionando a caso un intero nell'intervallo da 1 a 1000. Il programma quindi stampa:

```
I have a number between 1 and 1000.  
Can you guess my number?  
Please type your first guess.
```

Il giocatore allora scrive una prima risposta. Il programma risponde con una delle seguenti frasi:

1. Excellent! You guessed the number!
Would you like to play again (y or n)?
2. Too low. Try again.
3. Too high. Try again.

Se la risposta del giocatore è sbagliata, il vostro programma deve entrare in un ciclo finché il giocatore non indovina finalmente il numero giusto. Deve continuare a dire al giocatore "Too high" o "Too low" per aiutarlo a "convergere" sulla risposta corretta. [Nota: la tecnica di ricerca impiegata in questo problema è chiamata ricerca binaria. Ne diremo di più nel prossimo problema.]

5.33 (Modifiche a indovina il numero) Modificate il programma dell'Esercizio 5.32 per contare il numero delle risposte date dal giocatore. Se il numero è 10 o di meno, stampate "Either you know the secret or you got lucky!". Se il giocatore indovina il numero dopo dieci tentativi, allora stampate "Ahah! You know the secret!". Se il giocatore dà più di dieci risposte, allora stampate "You should be able to do better!". Perché dovrebbero volerci non più di 10 risposte? Ebbene, con ogni "risposta buona" il giocatore dovrebbe essere in grado di eliminare la metà dei numeri. Ora mostrate perché un numero da 1 a 1000 può essere indovinato in 10 o anche in meno tentativi.

5.34 (Esponenziazione ricorsiva) Scrivete una funzione ricorsiva `power(base, exponent)` che quando viene invocata restituisca

$$\text{base}^{\text{exponent}}$$

Ad esempio, `power(3,4) = 3 * 3 * 3 * 3`. Supponete che `exponent` sia un intero maggiore o uguale a 1. Suggerimento: il passo di ricorsione dovrebbe usare la relazione

$$\text{base}^{\text{exponent}} = \text{base} * \text{base}^{\text{exponent}-1}$$

e la condizione di terminazione si verifica quando `exponent` è uguale a 1 perché

$$\text{base}^1 = \text{base}$$

5.35 (Fibonacci) La serie di Fibonacci

$$0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, \dots$$

inizia con i termini 0 e 1 e ha la proprietà che ogni termine che segue è la somma dei due termini precedenti. a) Scrivete una funzione `fibonacci(n)` non ricorsiva che calcoli l' n^{ma} numero di Fibonacci. Usate `unsigned int` per il tipo del parametro della funzione e `unsigned long long int` per il suo tipo di ritorno. b) Determinate il numero di Fibonacci più grande che può essere stampato sul vostro sistema.

5.36 (Le Torri di Hanoi) Ogni allievo informatico deve prima o poi trovarsi alle prese con certi problemi classici, e quello delle Torri di Hanoi (vedi Figura 5.23) è uno dei più famosi. La leggenda narra che in un tempio dell'Estremo Oriente alcuni sacerdoti tentano di spostare una pila di dischi da un piolo a un altro. La pila iniziale aveva 64 dischi infilati in un piolo, disposti in dimensione decrescente dal basso verso l'alto. I sacerdoti tentano di spostare la pila da questo piolo a un secondo piolo, con il vincolo che si sposti esattamente un disco alla volta e che nessun disco più grande possa essere collocato sopra un disco più piccolo. Un terzo piolo è disponibile per contenere temporaneamente i dischi. Presumibilmente il mondo finirà quando i sacerdoti porteranno a termine il loro compito, così siamo poco incentivati a facilitare i loro sforzi.

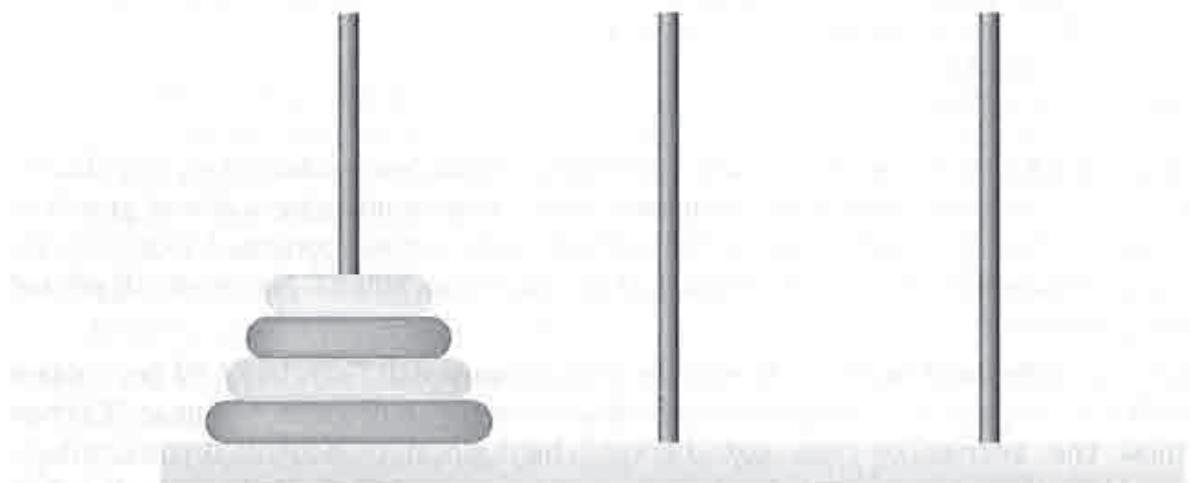


Figura 5.23 Torri di Hanoi per il caso con quattro dischi.

Supponiamo che i sacerdoti tentino di spostare i dischi dal piolo 1 al piolo 3. Vogliamo sviluppare un algoritmo che stampi la sequenza precisa del trasferimento di ogni disco da un piolo all'altro. Se affrontassimo questo problema coi metodi convenzionali, ci troveremmo subito disperatamente in difficoltà in merito alla disposizione dei dischi. Invece, se affrontiamo il problema con in mente la ricorsione, questo diventa immediatamente trattabile. Spostare n dischi si può vedere in termini dello spostamento di solo $n - 1$ dischi (e da qui la ricorsione) come segue:

- Spostare $n - 1$ dischi dal piolo 1 al piolo 2, usando il piolo 3 come supporto temporaneo.
- Spostare l'ultimo disco (il più grande) dal piolo 1 al piolo 3.
- Spostare gli $n - 1$ dischi dal piolo 2 al piolo 3, usando il piolo 1 come supporto temporaneo.

Il processo termina quando l'ultimo compito implica lo spostamento di $n = 1$ dischi, cioè il caso di base. Ciò si attua spostando banalmente il disco senza la necessità di un supporto temporaneo.

Scrivete un programma per risolvere il problema delle Torri di Hanoi. Usate una funzione ricorsiva con quattro parametri:

- Il numero di dischi da spostare
- Il piolo su cui questi dischi sono inizialmente infilati
- Il piolo nel quale spostare questa pila di dischi
- Il piolo da usare come supporto temporaneo

Il vostro programma deve stampare le istruzioni esatte, necessarie a spostare i dischi dal piolo di partenza al piolo di arrivo.

Ad esempio, per spostare una pila di tre dischi dal piolo 1 al piolo 3, il vostro programma deve stampare la seguente serie di mosse:

```
1 → 3 (Questo significa muovere un disco dal piolo 1 al piolo 3.)
1 → 2
3 → 2
1 → 3
2 → 1
2 → 3
1 → 3
```

- 5.37 (Le Torri di Hanoi: soluzione iterativa)** Qualsiasi programma che si può implementare ricorsivamente si può implementare iterativamente, benché talvolta con difficoltà considerevolmente maggiore e con chiarezza considerevolmente minore. Cercate di scrivere una versione iterativa delle Torri di Hanoi. Se ci riuscite, confrontate la vostra versione iterativa con la versione ricorsiva che avete sviluppato nell'Esercizio 5.36. Individuate i problemi di prestazioni e di chiarezza e verificate la vostra abilità nel dimostrare la correttezza dei programmi.
- 5.38 (Visualizzare la ricorsione)** È interessante osservare la ricorsione "in azione". Modificate la funzione fattoriale della Figura 5.18 per stampare la sua variabile locale, ovvero il parametro della chiamata ricorsiva. Per ogni chiamata ricorsiva stampate gli output su una riga separata e aggiungete un livello di indentazione. Fate del vostro meglio per rendere gli output chiari, interessanti e significativi. L'obiettivo qui è quello di progettare e implementare un formato di output che aiuti una persona a capire meglio la ricorsione. Se volete, potete aggiungere tali capacità di stampa ai molti altri esempi ed esercizi di ricorsione presenti in tutto il testo.
- 5.39 (Massimo comun divisore ricorsivo)** Il massimo comun divisore degli interi x e y è l'intero più grande che divide in parti uguali sia x che y . Scrivete una funzione ricorsiva `gcd` che restituisca il massimo comun divisore di x e y . Il `gcd` di x e y è definito ricorsivamente come segue: se y è uguale a 0, allora $\text{gcd}(x, y)$ è x ; altrimenti $\text{gcd}(x, y)$ è $\text{gcd}(y, x \% y)$, dove $\%$ è l'operatore di resto.
- 5.40 (main ricorsiva)** Si può chiamare la funzione `main` ricorsivamente? Scrivete un programma contenente una chiamata alla funzione `main`. Includete la variabile locale `static count` inizializzata a 1. Postincrementate e stampate il valore di `count` ogni volta che `main` è chiamata. Fate eseguire il programma. Che cosa accade?
- 5.41 (Distanza tra punti)** Scrivete una funzione `distance` che calcoli la distanza tra due punti (x_1, y_1) e (x_2, y_2) . Tutti i numeri e i valori di ritorno devono essere di tipo `double`.
- 5.42** Che cosa fa il seguente programma? Che cosa accade se scambiate le righe 8 e 9?

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     int c; // variabile per tenere il carattere inserito dall'utente
6
7     if ((c = getchar() ) != EOF) {
8         main();
9         printf("%c", c);
10    }
11 }
```

5.43 Che cosa fa il seguente programma?

```

1 #include <stdio.h>
2
3 unsigned int mystery(unsigned int a, unsigned int b);
4
5 int main(void)
6 {
7     printf("%s", "Enter two positive integers: ");
8     unsigned int x; primo intero
9     unsigned int y; secondo intero
10    scanf("%u%u", &x, &y);
11
12    printf("The result is %u\n", mystery(x, y));
13 }
14
15 // Il parametro b deve essere un intero positivo
16 // per prevenire la ricorsione infinita
17 unsigned int mystery(unsigned int a, unsigned int b)
18 {
19     // caso di base
20     if (1 == b) {
21         return a;
22     }
23     else { // passo ricorsivo
24         return a + mystery(a, b - 1);
25     }
26 }
```

5.44 Dopo che determinate che cosa fa il programma dell'Esercizio 5.43, modificate il programma perché funzioni correttamente dopo aver rimosso la restrizione riguardo alla non negatività del secondo argomento.

5.45 (*Verificare le funzioni della libreria math*) Scrivete un programma che verifichi le funzioni della libreria math elencate nella Figura 5.2. Provate ognuna di queste funzioni con il vostro programma, stampando tabelle dei valori di ritorno per diversi valori degli argomenti.

5.46 Trovate l'errore in ognuno dei seguenti segmenti di programma e spiegate come correggerlo.

- `double cube(float); // prototipo di funzione`
`cube(float number) // definizione di funzione`
`{`
 `return number * number * number;`
`}`
- `int randomNumber = srand();`
- `double y = 123.45678;`
`int x;`
`x = y;`
`printf("%f\n", (double) x);`
- `double square(double number)`
`{`
 `double number;`
 `return number * number;`
`}`

```

e) int sum(int n)
{
    if (0 == n) {
        return 0;
    }
    else {
        return n + sum(n);
    }
}

```

- 5.47 (*Modifiche al gioco del craps*) Modificate il programma del craps della Figura 5.14 per consentire di *scommettere*. Impacchettate come funzione la porzione del programma che esegue un giro del gioco del craps. Inizializzate la variabile bankBalance a 1000 dollari. Richiedete al giocatore di inserire una scommessa come valore per la variabile wager. Usate un ciclo while per controllare che wager sia minore o uguale a bankBalance e, se non lo è, richiedete all'utente di reinserire il valore di wager finché non viene inserito un valore valido. Dopo l'inserimento di un valore valido, fate eseguire un giro del gioco del craps. Se il giocatore vince, aumentate il valore di bankBalance della quantità pari al valore di wager e stampate il nuovo bankBalance. Se il giocatore perde, diminuite il valore di bankBalance della quantità pari al valore di wager, stampate il nuovo bankBalance e controllate se bankBalance è diventato zero e, se è così, stampate il messaggio "Sorry. You busted!". Man mano che il gioco prosegue, stampate vari messaggi per creare un certo "dialogo", come "Oh, you're going for broke, huh?" o "Aw cmon, take a chance!" oppure "You're up big. Now's the time to cash in your chips!".
- 5.48 (*Progetto di ricerca: migliorare l'implementazione ricorsiva della funzione di Fibonacci*) Nel Paragrafo 5.15, l'algoritmo ricorsivo usato per calcolare i numeri di Fibonacci era intuitivamente attraente. Tuttavia, ricordate che l'algoritmo produce un'esplosione esponenziale delle chiamate della funzione ricorsiva. Ricercate on-line l'implementazione ricorsiva della funzione di Fibonacci. Studiate i vari approcci, compresa la versione iterativa nell'Esercizio 5.35 e le versioni che usano soltanto la cosiddetta "ricorsione di coda". Esaminatene i relativi meriti.

Prove sul campo

- 5.49 (*Quiz sui dati del riscaldamento globale*) La questione controversa del riscaldamento globale è stata ampiamente pubblicizzata dal film *Una Scomoda Verità*, che vede la partecipazione dell'ex Vice Presidente Al Gore. Il signor Gore e una rete di scienziati delle Nazioni Unite, la Commissione Intergovernativa sui Cambiamenti Climatici, hanno condiviso il Premio Nobel per la Pace nel 2007 in riconoscimento dei "loro sforzi per promuovere e diffondere una maggiore conoscenza sui cambiamenti climatici dovuti all'azione dell'uomo". Ricercate on-line le due diverse posizioni sulla questione del riscaldamento globale. Create un quiz a scelta multipla con cinque domande sul riscaldamento globale, ogni domanda con quattro possibili risposte (numerate da 1 a 4). Siate obiettivi e cercate di rappresentare onestamente entrambe le posizioni sulla questione. Poi, scrivete un'applicazione che eroghi il quiz, calcoli il numero delle risposte esatte (da zero a cinque) e restituisca un messaggio all'utente. Se l'utente risponde correttamente alle cinque domande, stampate "Excellent"; se risponde a quattro, stampate "Very good"; se a tre o a meno, stampate "Time to brush up on your knowledge of global warming" ("È tempo di dare una rinfrescata alle vostre conoscenze sul riscaldamento globale") e includete un elenco dei siti web dove avete trovato i vostri dati.

Istruzione assistita da computer

Dal momento che i costi dei computer decrescono continuamente, diventa possibile per ogni studente, a prescindere dalla situazione economica, avere un computer e usarlo a scuola. Questo crea possibilità entusiasmanti per migliorare l'esperienza educativa di tutti gli studenti nel mondo intero, come suggerito dai prossimi cinque esercizi. [Nota: esaminate iniziative come il Progetto "One Laptop Per Child" (www.laptop.org). Inoltre, cercate notizie in merito a portatili "verdi". Quali sono alcune caratteristiche chiave di questi dispositivi? Cercate nello *Electronic Product Environmental Assessment Tool* (www.epeat.net) che può aiutarvi a valutare la qualità "verde" di desktop, portatili e monitor per poter decidere quali prodotti acquistare.]

- 5.50 (Istruzione assistita da computer)** L'uso di computer nell'ambito dell'istruzione è chiamato *istruzione assistita da computer (CAI, computer-assisted instruction)*. Scrivete un programma che aiuti uno studente di scuola elementare a imparare la moltiplicazione. Usate la funzione `rand` per generare due interi positivi di una cifra. Il programma deve presentare all'utente una domanda del tipo

How much is 6 times 7?

Lo studente inserisce quindi la risposta e il programma la controlla. Se è corretta, stampate il messaggio "Very good!" e ponete come domanda un'altra moltiplicazione. Se la risposta è sbagliata, stampate il messaggio "No. Please try again" e lasciate che lo studente tenti di rispondere alla stessa domanda ripetutamente, finché non risponde in modo esatto. Si deve usare una funzione separata per generare ogni nuova domanda. Questa funzione deve essere chiamata una volta quando l'applicazione inizia l'esecuzione e ogni volta che l'utente risponde correttamente alla domanda.

- 5.51 (Istruzione assistita da computer: ridurre l'affaticamento dello studente)** Un problema degli ambienti CAI riguarda l'affaticamento dello studente. Questo può essere ridotto varian-
do le risposte del computer per tenere desta l'attenzione. Modificate il programma dell'Eser-
cizio 5.50, così che siano stampati vari commenti per ogni risposta, come segue:

Possibili commenti per una risposta corretta:

- Very good!
- Excellent!
- Nice work!
- Keep up the good work!

Possibili commenti per una risposta sbagliata:

- No. Please try again.
- Wrong. Try once more.
- Don't give up!
- No. Keep trying.

Utilizzate la generazione di numeri casuali per scegliere un numero da 1 a 4 da usare per selezionare uno dei quattro commenti appropriati per ogni risposta corretta o sbagliata. Usate l'istruzione `switch` per selezionare le risposte.

- 5.52 (Istruzione assistita da computer: monitorare le prestazioni dello studente)** I sistemi più sofisticati di istruzione assistita da computer monitorano le prestazioni dello studente per un periodo di tempo. La decisione di cominciare un nuovo argomento si basa spesso sul successo dello studente negli argomenti precedenti. Modificate il programma dell'Esercizio 5.51 per contare il numero delle risposte esatte e sbagliate scritte dallo studente. Dopo che lo studente scrive 10 risposte, il vostro programma deve calcolare la percentuale di quelle corrette. Se la percentuale è inferiore al 75%, stampate "Please ask your teacher for

"extra help.", quindi reinizializzate il programma così che possa provarci un altro studente. Se la percentuale è del 75% o maggiore, stampate "Congratulations, you are ready to go to the next level!", quindi, anche in questo caso, reinizializzate il programma così che possa provarci un altro studente.

- 5.53 (*Istruzione assistita da computer: livelli di difficoltà*) Gli Esercizi da 5.50 a 5.52 richiedono di sviluppare un programma di istruzione assistita da computer per aiutare a insegnare la moltiplicazione a uno studente di scuola elementare. Modificate il programma per permettere all'utente di inserire un livello di difficoltà: a un livello di difficoltà 1, il programma deve usare nei problemi solo numeri a cifra singola; a un livello di difficoltà 2, numeri a due cifre, e così via.
- 5.54 (*Istruzione assistita da computer: variare i tipi di problemi*) Modificate il programma dell'Esercizio 5.53 per consentire all'utente di selezionare un tipo di problema aritmetico da studiare. Un'opzione 1 significa soltanto problemi di addizione, 2 significa soltanto problemi di sottrazione, 3 soltanto problemi di moltiplicazione e 4 un misto casuale di tutti questi tipi.



OBIETTIVI

- Usare la struttura di dati array per rappresentare liste e tabelle di valori.
- Definire un array, inizializzarlo e fare riferimento ai singoli elementi che lo compongono.
- Definire costanti simboliche.
- Passare gli array alle funzioni.
- Usare gli array per memorizzare, ordinare ed effettuare ricerche in liste e tabelle di valori.
- Definire e manipolare array multidimensionali.
- Creare variabili di lunghezza variabile la cui dimensione è determinata al momento dell'esecuzione.
- Comprendere i problemi relativi alla sicurezza legati all'input con `scanf`, all'output con `printf` e agli array.

6.1 Introduzione

Questo capitolo serve da introduzione alle strutture di dati. Gli **array** sono strutture di dati costituite da dati correlati e dello stesso tipo. Nel Capitolo 10 esamineremo il costrutto `struct` del C, una struttura di dati costituita da dati correlati di tipi possibilmente differenti. Array e `struct` sono entità “statiche”, in quanto rimangono della stessa dimensione per tutta l'esecuzione del programma (possono avere, naturalmente, classe di memoria automatica e pertanto essere creati e distrutti ogni volta che i blocchi in cui sono definiti vengono attivati e disattivati).

6.2 Gli array

Un array è un gruppo di locazioni di memoria *contigue* che hanno tutte lo *stesso tipo*. Per fare riferimento a una locazione o a un particolare elemento dell'array, specifichiamo il nome dell'array e il **numero di posizione** dell'elemento nell'array.

La Figura 6.1 mostra un array di interi chiamato `c`, contenente 12 elementi. Si può fare riferimento a uno qualunque di questi elementi fornendo il nome dell'array seguito dal numero di

posizione dell'elemento racchiuso tra parentesi quadre ([]). Il primo elemento in ogni array è l'**elemento di posizione zero** (cioè quello con numero di posizione 0). Il nome di un array, come altri identificatori, può contenere soltanto lettere, cifre e sottolineature e non può iniziare con una cifra.

Tutti gli elementi di questo array condividono il nome dell'array, c	→	c[0]	-45
		c[1]	6
		c[2]	0
		c[3]	72
		c[4]	1543
		c[5]	-89
		c[6]	0
		c[7]	62
		c[8]	-3
		c[9]	1
Numero di posizione dell'elemento nell'array c	↑	c[10]	6453
		c[11]	78

Figura 6.1 Array di 12 elementi.

Il numero di posizione tra le parentesi quadre è chiamato **indice** dell'elemento. Un indice deve essere un intero o un'espressione intera. Ad esempio, se $a = 5$ e $b = 6$, l'istruzione

```
c[2] += 1000;
```

assegna 1000 all'elemento dell'array $c[2]$. In modo simile, se $a = 5$ e $b = 6$, l'istruzione

```
c[a + b] += 2;
```

addiziona 2 all'elemento dell'array $c[11]$. Un nome di array con indice è un *lvalue* che può essere usato sul lato sinistro di un'assegnazione.

Analizziamo più da vicino l'array c (Figura 6.1). Il **nome dell'array** è c . I suoi 12 elementi sono chiamati $c[0]$, $c[1]$, $c[2]$, ..., $c[10]$ e $c[11]$. Il **valore** memorizzato in $c[0]$ è -45, il valore di $c[1]$ è 6, di $c[2]$ è 0, di $c[7]$ è 62 e di $c[11]$ è 78. Per stampare la somma dei valori contenuti nei primi tre elementi dell'array c scriviamo

```
printf("%d", c[0] + c[1] + c[2]);
```

Per dividere il valore dell'elemento 6 dell'array c per 2 e assegnare il risultato alla variabile x scriviamo

```
x = c[6] / 2;
```

Le parentesi usate per racchiudere l'indice di un array sono in realtà considerate in C un *operatore*. Esse hanno lo stesso livello di precedenza dell'*operatore di chiamata di funzione* (cioè le parentesi poste dopo il nome di una funzione nella chiamata di quella funzione). La Figura 6.2 mostra la precedenza e l'associatività degli operatori introdotti fino a questo punto nel testo.

Operatori	Associatività	Tipo
[] () ++ (postfisso) -- (postfisso)	da sinistra a destra	precedenza più alta
+ - ! ++ (prefisso) -- (prefisso) (tipo)	da destra a sinistra	unario
* / %	da sinistra a destra	moltiplicativo
+	da sinistra a destra	additivo
< <= > >=	da sinistra a destra	relazionale
== !=	da sinistra a destra	di uguaglianza
&&	da sinistra a destra	AND logico
	da sinistra a destra	OR logico
? :	da destra a sinistra	condizionale
= += -= *= /= %=	da destra a sinistra	di assegnazione
,	da sinistra a destra	virgola

Figura 6.2 Precedenza e associatività degli operatori.

6.3 Definire gli array

Gli array occupano spazio in memoria. Dovete specificare il tipo di ogni elemento e il numero di elementi che ogni array richiede, in modo che il computer possa riservare la giusta quantità di memoria. La definizione seguente riserva 12 elementi per l'array di interi c, che ha indici nell'intervallo da 0 a 11.

```
int c[12];
```

La definizione

```
int b[100], x[27];
```

riserva 100 elementi per l'array intero b e 27 elementi per l'array intero x. Questi array hanno indici, rispettivamente, negli intervalli da 0 a 99 e da 0 a 26. Sebbene sia possibile definire più array in una volta, è preferibile definirne solo uno per riga in modo da poter aggiungere un commento che spieghi lo scopo di ciascuno di essi.

Gli array possono contenere altri tipi di dati. Ad esempio, un array di tipo char può memorizzare una stringa di caratteri. Le stringhe di caratteri e la loro somiglianza con gli array saranno trattate nel Capitolo 8. La relazione tra puntatori e array sarà esaminata nel Capitolo 7.

6.4 Esempi di array

Questo paragrafo presenta vari esempi che illustrano come definire e inizializzare gli array e come effettuare molte manipolazioni comuni.

6.4.1. Definizione di un array e uso di un ciclo per impostare i valori degli elementi di un array

Come le altre variabili, gli elementi di un array non inizializzati contengono valori spazzatura. La Figura 6.3 usa l'istruzione for per impostare gli elementi di un array n intero di 5 elementi con valori uguali a zero (righe 11–13) e per stampare l'array in formato tabellare (righe 18–20). La prima

istruzione `printf` (riga 15) stampa le intestazioni per le due colonne stampate nella successiva istruzione `for`.

```
1 // Fig.6.3: fig06_03.c
2 // Inizializzare gli elementi di un array a zero.
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main(void)
7 {
8     int n[5]; // n e' un array di 5 interi
9
10    // imposta gli elementi dell'array n a 0
11    for (size_t i = 0; i < 5; ++i) {
12        n[i] = 0; // imposta a 0 l'elemento alla locazione i
13    }
14
15    printf("%s%13s\n", "Element", "Value");
16
17    // invia in uscita i contenuti dell'array n in formato tabellare
18    for (size_t i = 0; i < 5; ++i) {
19        printf("%7u%13d\n", i, n[i]);
20    }
21 }
```

Element	Value
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0

Figura 6.3 Inizializzare gli elementi di un array a zero.

Notate che la variabile di controllo contatore `i` è dichiarata di tipo `size_t` in ogni istruzione `for` (righe 11 e 18), che secondo il C standard rappresenta un tipo intero senza segno.¹ Questo tipo è raccomandato per qualsiasi variabile che rappresenta la dimensione o gli indici di un array. Il tipo è definito nell'intestazione `<stddef.h>`, che spesso è inclusa da altre intestazioni (come `<stdio.h>`). [Nota: se provando a compilare il programma della Figura 6.3 ricevete la segnalazione di errori, include semplicemente `<stddef.h>` nel vostro programma.]

¹ Su alcuni compilatori, `size_t` rappresenta `unsigned int` e su altri rappresenta `unsigned long`. I compilatori che utilizzano `unsigned long` solitamente generano un avvertimento sulla riga 19 della Figura 6.3, perché `%u` è per la stampa di `unsigned int`, non di `unsigned long`. Per eliminare questo avvertimento, sostituite la specificazione di formato `%u` con `%lu`.

6.4.2 Inizializzazione di un array in una definizione con una lista di inizializzazione

Gli elementi di un array possono essere inizializzati anche quando l'array viene definito, facendo seguire la definizione dal segno di uguale e da parentesi graffe, { }, contenenti una lista di **inizializzatori dell'array** separati da virgole. La Figura 6.4 inizializza un array intero con cinque valori (riga 9) e stampa l'array in formato tabellare.

```

1 // Fig. 6.4: fig06_04.c
2 // Inizializzare un array con una lista di inizializzazione
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main(void)
7 {
8     // usa una lista di inizializzatori per inizializzare l'array n
9     int n[5] = {32, 27, 64, 18, 95};
10
11    printf("%s%13s\n", "Element", "Value");
12
13    // invia in uscita i contenuti dell'array in formato tabellare
14    for (size_t i = 0; i < 5; ++i) {
15        printf("%7u%13d\n", i, n[i]);
16    }
17 }
```

Element	Value
0	32
1	27
2	64
3	18
4	95

Figura 6.4 Inizializzare gli elementi di un array con una lista di inizializzazione.

Se vi sono *meno* inizializzatori rispetto agli elementi dell'array, i restanti elementi sono inizializzati a zero. Ad esempio, gli elementi dell'array n nella Figura 6.3 avrebbero potuto essere inizializzati a zero come segue:

```
int n[10] = {0}; // inizializza l'intero array a zero
```

Questa definizione inizia *esplicitamente* il primo elemento a zero e inizializza anche i restanti nove elementi a zero perché vi sono meno inizializzatori di quanti sono gli elementi nell'array. Gli array *non* sono automaticamente inizializzati a zero. Dovete almeno inizializzare il primo elemento a zero perché i restanti elementi siano automaticamente azzerati. Gli elementi dell'array sono inizializzati prima dell'avvio del programma per gli array **static** e al momento dell'esecuzione per gli array **automatici**.



Errore comune di programmazione 6.1

Dimenticare di inizializzare gli elementi di un array.



Errore comune di programmazione 6.2

Fornire una lista con più inizializzatori per un array di quanti siano gli elementi dell'array è un errore di sintassi. Ad esempio, `int n[3] = {32, 27, 64, 18};` è un errore di sintassi, poiché ci sono quattro inizializzatori ma solo tre elementi dell'array.

Se la dimensione dell'array è *omessa* in una definizione con una lista di inizializzatori, il numero di elementi dell'array sarà il numero di elementi nella lista. Ad esempio,

```
int n[] = {1, 2, 3, 4, 5};
```

crea un array di cinque elementi inizializzati con i valori indicati.

6.4.3 Specificare la dimensione di un array con una costante simbolica e inizializzare gli elementi dell'array con espressioni da calcolare

La Figura 6.5 inizializza gli elementi di un array `s` di 5 elementi con i valori 2, 4, 6, 8, 10 e stampa l'array in formato tabellare. I valori sono generati moltiplicando il contatore del ciclo per 2 e aggiungendo 2.

```

1 // Fig. 6.5: fig06_05.c
2 // Inizializza gli elementi dell'array s con gli interi pari da 2 a 10.
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 5 // dimensione dell'array
5
6 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
7 int main(void)
8 {
9     // la costante simbolica SIZE specifica la dimensione dell'array
10    int s[SIZE]; // l'array s ha un numero di elementi uguale a SIZE
11
12    for (size_t j = 0; j < SIZE; ++j) { // imposta i valori
13        s[j] = 2 + 2 * j;
14    }
15
16    printf("%s%13s\n", "Element", "Value");
17
18    // invia in uscita i contenuti dell'array s in formato tabellare
19    for (size_t j = 0; j < SIZE; ++j) {
20        printf("%7u%13d\n", j, s[j]);
21    }
22 }
```

Element	Value
0	2
1	4
2	6
3	8
4	10

Figura 6.5 Inizializzare gli elementi di un array con gli interi pari da 2 a 10.

In questo programma viene introdotta la direttiva per il preprocessore `#define`. La riga 4

```
#define SIZE 5
```

definisce una costante simbolica `SIZE` il cui valore è 5. Una costante simbolica è un identificatore che è sostituito dal preprocessore del C con un testo di sostituzione prima che il programma sia compilato. Quando il programma è preprocessato, la costante simbolica `SIZE` viene sostituita ogni volta che ricorre con il testo di sostituzione 5. L'uso di costanti simboliche per specificare le dimensioni di un array rende i programmi più modificabili. Nella Figura 6.5 potremmo far riempire un array di 1000 elementi con il primo ciclo `for` (riga 12) cambiando semplicemente il valore di `SIZE` nella direttiva `#define` da 5 a 1000. Se non venisse usata la costante simbolica `SIZE`, dovremmo modificare il programma nelle righe 10, 12 e 19. Quando i programmi diventano grandi, questa tecnica diventa molto utile per scrivere programmi chiari e di facile lettura e manutenzione; una costante simbolica (come `SIZE`) è più facile da comprendere del valore numerico 5, che potrebbe avere diversi significati all'interno del codice.



Errore comune di programmazione 6.3

Terminare una direttiva per il preprocessore `#define` o `#include` con un punto e virgola. Ricordate che le direttive per il preprocessore non sono istruzioni del C.

Se la direttiva per il preprocessore `#define` nella riga 4 viene terminata con un punto e virgola, il preprocessore sostituisce con il testo “5;” la costante simbolica `SIZE` tutte le volte che ricorre nel programma. Questo può portare a errori di sintassi in fase di compilazione o a errori logici in fase di esecuzione. Ricordate che il preprocessore *non* è il compilatore del C.



Osservazione di ingegneria del software 6.1

Definire la dimensione degli array con costanti simboliche rende i programmi più modificabili.



Errore comune di programmazione 6.4

Assegnare un valore a una costante simbolica in un'istruzione eseguibile è un errore di sintassi. Il compilatore non riserva spazio per le costanti simboliche come fa per le variabili che memorizzano valori in fase di esecuzione.



Buona pratica di programmazione 6.1

Usate solo lettere maiuscole per i nomi di costanti simboliche. Questo evidenzia tali costanti in un programma e vi ricorda che le costanti simboliche non sono variabili.



Buona pratica di programmazione 6.2

Nei nomi di costanti simboliche formati da più parole, separate le parole con sottolineature per favorirne la leggibilità.

6.4.4 Sommare gli elementi di un array

La Figura 6.6 somma i valori contenuti nell'array intero a di 12 elementi. Il corpo dell'istruzione `for` (riga 15) calcola il totale.

```

1 // Fig. 6.6: fig06_06.c
2 // Calcolare la somma degli elementi di un array.
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 12
5
6 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
7 int main(void)
8 {
9     // usa una lista di inizializzatori per inizializzare l'array
10    int a[SIZE] = {1, 3, 5, 4, 7, 2, 99, 16, 45, 67, 89, 45};
11    int total = 0; // somma dell'array
12
13    // somma i valori contenuti nell'array a
14    for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
15        total += a[i];
16    }
17
18    printf("Total of array element values is %d\n", total);
19 }

```

Total of array element values is 383

Figura 6.6 Calcolare la somma degli elementi di un array.

6.4.5 Uso di array per riassumere i risultati di un sondaggio

Il nostro prossimo esempio usa degli array per riassumere i risultati dei dati raccolti in un sondaggio. Considerate l'enunciato del problema.

A quaranta studenti viene chiesto di valutare la qualità del cibo nella caffetteria degli studenti con una scala da 1 a 10 (1 significa pessima e 10 eccellente). Mettete le 40 risposte in un array intero e riassumete i risultati del sondaggio.

Questa è una tipica applicazione degli array (vedi Figura 6.7). Vogliamo sommare il numero di ogni tipo di risposte (cioè da 1 a 10). L'array `responses` (righe 14–16) di 40 elementi contiene le risposte degli studenti. Usiamo un array `frequency` (riga 11) di 11 elementi per contare quante volte ricorre ogni risposta. Ignoriamo `frequency[0]` perché è logico che la risposta 1 incrementi `frequency[1]` invece di `frequency[0]`. Questo ci permette di usare ogni risposta direttamente come indice nell'array `frequency`.

```

1 // Fig. 6.7: fig06_07.c
2 // Analisi di un sondaggio di studenti.
3 #include <stdio.h>
4 #define RESPONSES_SIZE 40 // definisci le dimensioni degli array
5 #define FREQUENCY_SIZE 11
6
7 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
8 int main(void)
9 {
10    // inizializza i contatori per le frequenze a 0

```

```

11 int frequency[FREQUENCY_SIZE] = {0};
12
13 // inserisci le risposte del sondaggio nell'array delle risposte
14 int responses[RESPONSES_SIZE] = {1, 2, 6, 4, 8, 5, 9, 7, 8, 10,
15     1, 6, 3, 8, 6, 10, 3, 8, 2, 7, 6, 5, 7, 6, 8, 6, 7, 5, 6, 6,
16     5, 6, 7, 5, 6, 4, 8, 6, 8, 10};
17
18 // per ogni risposta, seleziona il valore di un elemento dell'array
19 // responses e usa quel valore come indice nell'array frequency per
20 // determinare l'elemento da incrementare
21 for (size_t answer = 0; answer < RESPONSES_SIZE; ++answer) {
22     ++frequency[responses[answer]];
23 }
24
25 // stampa i risultati
26 printf("%s%17s\n", "Rating", "Frequency");
27
28 // stampa le frequenze in un formato tabellare
29 for (size_t rating = 1; rating < FREQUENCY_SIZE; ++rating) {
30     printf("%6d%17d\n", rating, frequency[rating]);
31 }
32 }
```

Rating	Frequency
1	2
2	2
3	2
4	2
5	5
6	11
7	5
8	7
9	1
10	3

Figura 6.7 Analisi di un sondaggio di studenti.



Buona pratica di programmazione 6.3

Sforzatevi di rendere il programma il più chiaro possibile. A volte può valere la pena sacrificare l'uso efficiente della memoria o del tempo di esecuzione in favore di una scrittura di programmi più chiari.



Prestazioni 6.1

Talvolta le considerazioni relative alle prestazioni prevalgono di gran lunga sulle considerazioni relative alla chiarezza.

Il ciclo `for` (righe 21–23) prende le risposte una alla volta dall'array `responses` e incrementa uno dei 10 contatori (da `frequency[1]` a `frequency[10]` nell'array `frequency`). L'istruzione chiave nel ciclo è la riga 22.

```
++frequency[responses[answer]];
```

che incrementa il contatore `frequency` appropriato a seconda del valore dell'espressione `responses[answer]`. Quando la variabile contatore `answer` è 0, `responses[answer]` è 1, e quindi `++frequency[responses[answer]]`; è interpretato come

```
++frequency[1];
```

che incrementa l'elemento 1 dell'array. Quando `answer` è 1, il valore di `responses[answer]` è 2, così `++frequency[responses[answer]]`; è interpretato come

```
++frequency[2];
```

che incrementa l'elemento 2 dell'array. Quando `answer` è 2, il valore di `responses[answer]` è 6, così `++frequency[responses[answer]]`; è interpretato come

```
++frequency[6];
```

che incrementa l'elemento 6 dell'array, e così via. A prescindere dal numero di risposte elaborate nel sondaggio, occorre solo un array con 11 elementi (considerando anche l'elemento zero che non viene usato) per riepilogare i risultati. Se i dati contenessero valori non validi, come 13, il programma tenterebbe di aggiungere 1 a `frequency[13]`. Questo sarebbe al di fuori dei confini dell'array. *Il C non ha meccanismi di controllo dei confini di un array per impedire a un programma di fare riferimento a un elemento che non esiste.* Così, un programma che è in esecuzione può "uscire fuori" da una parte o dall'altra di un array senza messaggi di avvertimento (un problema di sicurezza che esamineremo nel Paragrafo 6.13). Dovete assicurarvi voi che tutti i riferimenti all'array rimangano entro i confini dell'array.



Errore comune di programmazione 6.5

Fare riferimento a un elemento al di fuori dei limiti di un array.



Prevenzione di errori 6.1

Quando effettuate un ciclo che percorre un array, l'indice dell'array non deve mai andare sotto 0 e deve sempre essere minore del numero totale degli elementi nell'array (dimensione – 1). Assicuratevi che la condizione di continuazione del ciclo impedisca l'accesso a elementi al di fuori di questo intervallo.



Prevenzione di errori 6.2

I programmi devono convalidare la correttezza di tutti i valori in ingresso per evitare che informazioni erronee incidano sui calcoli di un programma.

6.4.6 Rappresentare con istogrammi i valori degli elementi di un array

Il nostro prossimo esempio (Figura 6.8) legge i numeri da un array e rappresenta le informazioni nella forma di un grafico a barre o istogramma, in cui vengono stampati i vari numeri e accanto a essi una barra formata da altrettanti asterischi. L'istruzione `for` annidata (righe 18–20) disegna le barre. Si noti l'uso di `puts("")` per terminare ogni barra dell'istogramma (riga 22).

```

1 // Fig. 6.8: fig06_08.c
2 // Stampa di un istogramma.
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 5
5
6 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
7 int main(void)
8 {
9     // usa la lista di inizializzatori per inizializzare l'array n
10    int n[SIZE] = {19, 3, 15, 7, 11};
11
12    printf("%s%13s%17s\n", "Element", "Value", "Histogram");
13
14    // per ogni elemento dell'array n, stampa una barra dell'istogramma
15    for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
16        printf("%7u%13d      ", i, n[i]);
17
18        for (int j = 1; j <= n[i]; ++j) { // stampa una barra
19            printf("%c", '*');
20        }
21
22        puts(""); // termina la barra dell'istogramma con un newline
23    }
24 }
```

Element	Value	Histogram
0	19	*****
1	3	***
2	15	*****
3	7	*****
4	11	*****

Figura 6.8 Stampa di un istogramma.

6.4.7 Lanciare un dado 60.000.000 di volte e riepilogare i risultati in un array

Nel Capitolo 5 abbiamo detto che avremmo mostrato un metodo più elegante per scrivere il programma del lancio dei dadi della Figura 5.12. Ricordate che il programma ha lanciato un singolo dado a sei facce 60.000.000 di volte per verificare se la generazione di numeri casuali produce effettivamente numeri casuali. Una versione con array di questo programma è mostrata nella Figura 6.9. La riga 18 sostituisce l'intera istruzione `switch` della Figura 5.12.

```
1 // Fig. 6.9: fig06_09.c
2 // Lancio di un dado a sei facce 60.000.000 di volte
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5 #include <time.h>
6 #define SIZE 7
7
8 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
9 int main(void)
10 {
11     unsigned int frequency[SIZE] = {0}; // azzera i conteggi
12
13     srand(time(NULL)); // seme per il generatore di numeri casuali
14
15     // lancia il dado 60.000.000 di volte
16     for (unsigned int roll = 1; roll <= 60000000; ++roll) {
17         size_t face = 1 + rand() % 6;
18         ++frequency[face]; // sostituisce l'intero switch della Fig. 5.12
19     }
20
21     printf("%s%17s\n", "Face", "Frequency");
22
23     // stampa gli elementi di frequency 1-6 in formato tabellare
24     for (size_t face = 1; face < SIZE; ++face) {
25         printf("%4d%17d\n", face, frequency[face]);
26     }
27 }
```

Face	Frequency
1	9997167
2	10003506
3	10001940
4	9995833
5	10000843
6	10000711

Figura 6.9 Lancio di un dado a sei facce 60.000.000 di volte.

6.5 Uso di array di caratteri per memorizzare e manipolare stringhe

Abbiamo esaminato soltanto array di interi. In realtà gli array possono contenere dati di *ogni* tipo. Esaminiamo ora la memorizzazione di *stringhe* con array di caratteri. Finora l'unica funzionalità di elaborazione di stringhe che abbiamo visto è quella relativa alla stampa di una stringa con `printf`. Una stringa come "hello" è in realtà in C un array di caratteri individuali.

6.5.1 Inizializzazione di un array di caratteri con una stringa

Gli array di caratteri hanno diverse caratteristiche particolari. Un array di caratteri può essere inizializzato usando una stringa letterale. Ad esempio,

```
char string1[] = "first";
```

inizializza gli elementi dell'array `string1` con i singoli caratteri nella stringa "first". In questo caso, la dimensione dell'array `string1` è determinata dal compilatore in base alla lunghezza della stringa. La stringa "first" contiene cinque caratteri più un *carattere speciale di terminazione di stringa* chiamato **carattere nullo**. Così, l'array `string1` contiene in realtà *sei* elementi. La costante di tipo carattere che rappresenta il carattere nullo è '\0'. Tutte le stringhe in C terminano con questo carattere. Un array di caratteri che rappresenta una stringa deve essere sempre definito di dimensioni abbastanza grandi da contenere il numero di caratteri nella stringa e il carattere nullo che la termina.

6.5.2 Inizializzazione di un array di caratteri con una lista di inizializzazione di caratteri

Gli array possono anche essere inizializzati con costanti individuali di tipo carattere poste in una lista di valori di inizializzazione, ma ciò può risultare pesante. La definizione precedente è equivalente a

```
char string1[] = {'f', 'i', 'r', 's', 't', '\0'};
```

6.5.3 Accesso ai caratteri di una stringa

Dal momento che una stringa è a tutti gli effetti un array di caratteri, possiamo accedere ai suoi caratteri individuali direttamente usando la notazione con indice per gli array. Ad esempio, `string1[0]` è il carattere 'f' e `string[3]` è il carattere 's'.

6.5.4 Inserimento di una stringa in un array di caratteri

Possiamo anche inserire una stringa direttamente nell'array di caratteri dalla tastiera usando `scanf` e lo specificatore di conversione %s. Ad esempio,

```
char string2[20];
```

crea un array di caratteri che può memorizzare una stringa di *al massimo 19 caratteri* e un *carattere nullo di terminazione*.

L'istruzione

```
scanf("%19s", string2);
```

legge una stringa dalla tastiera e la memorizza in `string2`. Il nome dell'array è passato a `scanf` non preceduto dal carattere & che abbiamo visto usato con variabili che non sono stringhe. Il carattere & si usa normalmente per fornire a `scanf` il riferimento alla *locazione* di memoria della variabile, così che vi si possa memorizzare un valore. Nel Paragrafo 6.7, quando discuteremo il passaggio di array a funzioni, vedremo che il valore del nome di un array è *l'indirizzo dell'inizio dell'array*.

ray; il carattere &, pertanto, non è necessario. La funzione `scanf` legge i caratteri finché non si incontra uno *spazio*, una *tabulazione*, un *newline* o un *indicatore di end-of-file*. La stringa `string2` non deve essere più lunga di 19 caratteri così da lasciare spazio al carattere nullo che la termina. Se l'utente scrive 20 o più caratteri, il programma può arrestarsi o creare un problema di vulnerabilità relativamente alla sicurezza noto come *overflow del buffer*. Per questa ragione, abbiamo usato lo specificatore di conversione `%19s` in modo che `scanf` legga un massimo di 19 caratteri e non scriva caratteri in memoria oltre la fine dell'array `string2`. (Nel Paragrafo 6.13 rivediamo il potenziale problema della sicurezza causato dall'inserimento in un array di caratteri e analizziamo la funzione `scanf_s` del C standard.)

È vostra responsabilità assicurarvi che l'array nel quale la stringa letta viene memorizzata possa contenere qualunque stringa che l'utente scrive alla tastiera. La funzione `scanf` *non* controlla quanto è grande l'array, e di conseguenza `scanf` può anche scrivere oltre la fine dell'array.

6.5.5 Invio in uscita di un array di caratteri che rappresenta una stringa

Un array di caratteri che rappresenta una stringa può essere inviato in uscita con `printf` con lo specificatore di conversione `%s`. L'array `string2` è stampato con l'istruzione

```
printf("%s\n", string2);
```

La funzione `printf`, come `scanf`, *non* controlla quanto è grande l'array di caratteri. I caratteri della stringa sono stampati finché non si incontra un carattere nullo di terminazione. [Prendete in considerazione cosa si stamperebbe se, per qualche ragione, mancasse il carattere nullo di terminazione.]

6.5.6 Illustrazione di un array di caratteri

La Figura 6.10 illustra l'inizializzazione di un array di caratteri con una stringa letterale, la memorizzazione di una stringa letta in un array di caratteri, la stampa di un array di caratteri come una stringa e l'accesso ai caratteri individuali di una stringa. Il programma usa l'istruzione `for` (righe 22–24) per percorrere l'array `string1` e stampare i caratteri individuali separati da spazi, usando lo specificatore di conversione `%c`. La condizione nell'istruzione `for` è vera finché il contatore è minore della dimensione dell'array e finché il carattere nullo di terminazione *non* viene incontrato nella stringa. In questo programma leggiamo solo stringhe che non contengono caratteri di spaziatura. Mostreremo come leggere stringhe con tali caratteri nel Capitolo 8. Notate che le righe 17–18 contengono due stringhe separate solo da un carattere di spaziatura. Il compilatore combina automaticamente tali stringhe in una, e ciò è utile per rendere più leggibili le stringhe lunghe.

```
1 // Fig. 6.10: fig06_10.c
2 // Trattare gli array di caratteri come stringhe.
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 20
5
6 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
7 int main(void)
8 {
9     char string1[SIZE]; // riserva 20 caratteri
10    char string2[] = "string literal"; // riserva 15 caratteri
11}
```

```

12 // memorizza la stringa inserita dall'utente nell'array string1
13 printf("%s", "Enter a string (no longer than 19 characters): ");
14 scanf("%19s", string1); // leggi non più di 19 caratteri
15
16 // stampa le stringhe
17 printf("string1 is: %s\nstring2 is: %s\n"
18     "string1 with spaces between characters is:\n",
19     string1, string2);
20
21 // stampa i caratteri finche' non si raggiunge il carattere nullo
22 for (size_t i = 0; i < SIZE && string1[i] != '\0'; ++i) {
23     printf("%c ", string1[i]);
24 }
25
26 puts("");
27 }
```

```

Enter a string (no longer than 19 characters): Hello there
string1 is: Hello
string2 is: string literal
string1 with spaces between characters is:
H e l l o
```

Figura 6.10 Trattare gli array di caratteri come stringhe.

6.6 Array locali statici e array locali automatici

Il Capitolo 5 ha esaminato lo specificatore della classe di memoria `static`. Una variabile locale `static` esiste per la *durata* del programma, ma è *visibile* soltanto nel corpo di una funzione. Possiamo applicare lo specificatore `static` alla definizione di un array locale in modo che l'array *non* debba essere creato e inizializzato ogni volta che la funzione è chiamata e che *non* venga distrutto ogni volta che si esce dalla funzione nel programma. Questo riduce il tempo di esecuzione del programma, soprattutto per i programmi con funzioni chiamate frequentemente e che contengono array grandi.

Prestazioni 6.2

In funzioni che contengono array automatici e che vengono attivate e terminate frequentemente, rendete gli array `static`, in modo che non debbano essere creati a ogni chiamata della funzione.

Gli array che sono `static` sono inizializzati una volta per tutte all'avvio del programma. Se non inizializzate esplicitamente un array `static`, gli elementi di quell'array vengono automaticamente inizializzati a zero.

La Figura 6.11 illustra la funzione `staticArrayInit` (righe 21–39) con un array locale `static` (riga 24) e la funzione `automaticArrayInit` (righe 42–60) con un array locale automatico (riga 45). La funzione `staticArrayInit` è chiamata due volte (righe 12 e 16). L'array locale `static` nella funzione è inizializzato a zero prima dell'avvio del programma (riga 24). La funzione stampa l'array, aggiunge 5 a ogni elemento e stampa di nuovo l'array. La seconda volta che la

funzione è chiamata, l'array locale **static** contiene i valori che sono stati memorizzati nel corso della prima chiamata della funzione.

Anche la funzione **automaticArrayInit** è chiamata due volte (righe 13 e 17). Gli elementi dell'array locale automatico nella funzione sono inizializzati con i valori 1, 2 e 3 (riga 45). La funzione stampa l'array, aggiunge 5 a ogni elemento e stampa di nuovo l'array. La seconda volta che la funzione è chiamata, gli elementi dell'array sono inizializzati di nuovo a 1, 2 e 3, perché l'array ha una permanenza in memoria automatica.



Errore comune di programmazione 6.6

Supporre che gli elementi di un array locale static siano inizializzati a zero ogni volta che viene chiamata la funzione in cui l'array è definito.

```
1 // Fig. 6.11: fig06_11.c
2 // Gli array statici sono automaticamente inizializzati a zero
3 #include <stdio.h>
4
5 void staticArrayInit(void); // prototipo di funzione
6 void automaticArrayInit(void); // prototipo di funzione
7
8 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
9 int main(void)
10 {
11     puts("First call to each function:");
12     staticArrayInit();
13     automaticArrayInit();
14
15     puts("\n\nSecond call to each function:");
16     staticArrayInit();
17     automaticArrayInit();
18 }
19
20 // funzione usata per illustrare un array locale statico
21 void staticArrayInit(void)
22 {
23     // inizializza gli elementi a 0 prima che la funzione sia chiamata
24     static int array1[3];
25
26     puts("\nValues on entering staticArrayInit:");
27
28     // invia in uscita i contenuti di array1
29     for (size_t i = 0; i <= 2; ++i) {
30         printf("array1[%u] = %d ", i, array1[i]);
31     }
32
33     puts("\nValues on exiting staticArrayInit:");
34
35     // modifica e invia in uscita i contenuti di array1
36     for (size_t i = 0; i <= 2; ++i) {
```

```

37     printf("array1[%u] = %d ", i, array1[i] += 5);
38 }
39 }
40
41 // funzione usata per illustrare un array locale automatico
42 void automaticArrayInit(void)
43 {
44     // inizializza gli elementi ogni volta che la funzione e' chiamata
45     int array2[3] = {1, 2, 3};
46
47     puts("\n\nValues on entering automaticArrayInit:");
48
49     // invia in uscita i contenuti di array2
50     for (size_t i = 0; i <= 2; ++i) {
51         printf("array2[%u] = %d ", i, array2[i]);
52     }
53
54     puts("\nValues on exiting automaticArrayInit:");
55
56     // modifica e invia in uscita i contenuti di array2
57     for (size_t i = 0; i <= 2; ++i) {
58         printf("array2[%u] = %d ", i, array2[i] += 5);
59     }
60 }
```

First call to each function:

Values on entering staticArrayInit:
array1[0] = 0 array1[1] = 0 array1[2] = 0
Values on exiting staticArrayInit:
array1[0] = 5 array1[1] = 5 array1[2] = 5

Values on entering automaticArrayInit:
array2[0] = 1 array2[1] = 2 array2[2] = 3
Values on exiting automaticArrayInit:
array2[0] = 6 array2[1] = 7 array2[2] = 8

Second call to each function:

Values on entering staticArrayInit:
array1[0] = 5 array1[1] = 5 array1[2] = 5 - valori preservati dall'ultima chiamata
Values on exiting staticArrayInit:
array1[0] = 10 array1[1] = 10 array1[2] = 10

Values on entering automaticArrayInit:
array2[0] = 1 array2[1] = 2 array2[2] = 3 - valori reinizializzati dopo l'ultima
chiamata
Values on exiting automaticArrayInit:
array2[0] = 6 array2[1] = 7 array2[2] = 8

Figura 6.11 Gli array statici sono inizializzati a zero se non sono esplicitamente inizializzati.

6.7 Passare gli array alle funzioni

Per passare come argomento un array a una funzione dovete specificare il nome dell'array senza alcuna parentesi. Ad esempio, se l'array `hourlyTemperatures` è stato definito come

```
int hourlyTemperatures[HOURS_IN_A_DAY];
```

la chiamata di funzione

```
modifyArray(hourlyTemperatures, HOURS_IN_A_DAY)
```

passa l'array `hourlyTemperatures` e la sua dimensione alla funzione `modifyArray`.

Ricordate che in C tutti gli argomenti sono passati *per valore*. Il C passa automaticamente gli array alle funzioni *per riferimento* (ancora una volta, vedremo nel Capitolo 7 che ciò *non* è una contraddizione). Le funzioni chiamate possono modificare i valori degli elementi negli array originali della funzione chiamante. Il nome dell'array ha come valore l'indirizzo del primo elemento dell'array. Poiché viene passato l'indirizzo di partenza dell'array, la funzione chiamata sa precisamente dove l'array è memorizzato. Di conseguenza, quando la funzione chiamata modifica nel suo corpo gli elementi dell'array, essa modifica gli effettivi elementi dell'array nelle loro *originarie* locazioni di memoria.

La Figura 6.12 fa vedere che "il valore del nome di un array" è realmente l'*indirizzo* del primo elemento dell'array attraverso la stampa di `array`, `&array[0]` e `&array` e usando lo specificatore di conversione `%p` per stampare indirizzi. Lo specificatore di conversione `%p` normalmente stampa gli indirizzi come numeri esadecimali, ma ciò dipende dal compilatore. I numeri esadecimali (in base 16) consistono nelle cifre da 0 a 9 e nelle lettere da A a F (queste lettere sono gli equivalenti esadecimali dei numeri decimali 10–15). L'Appendice C presenta un'analisi approfondita delle relazioni tra interi binari (in base 2), ottali (in base 8), decimali (in base 10; interi standard) ed esadecimali. L'output mostra che `array`, `&array` e `&array[0]` hanno lo stesso valore, e cioè 0031F930. L'output di questo programma è dipendente dal sistema, ma gli indirizzi sono sempre identici per una specifica esecuzione di questo programma su un particolare computer.



Prestazioni 6.3

Il passaggio degli array per riferimento ha senso per ragioni di prestazioni. Se gli array fossero passati per valore, verrebbe passata una copia di ogni elemento. Per array grandi, passati frequentemente, ciò consumerebbe significative quantità di tempo e memoria per copiare gli array.

```

1 // Fig. 6.12: fig06_12.c
2 // Il nome di un array coincide con l'indirizzo del suo primo elemento.
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main(void)
7 {
8     char array[5]; // definisci un array di dimensione 5
9
10    printf("    array = %p\n&array[0] = %p\n    &array = %p\n",
11          array, &array[0], &array);
12 }
```

```
array = 0031F930
&array[0] = 0031F930
&array = 0031F930
```

Figura 6.12 Il nome di un array coincide con l'indirizzo del primo elemento dell'array.



Osservazione di ingegneria del software 6.2

È possibile passare un array per valore (inserendolo in un costrutto *struct* come spiegheremo nel Capitolo 10).

Sebbene gli array interi vengano passati per riferimento, i singoli elementi dell'array sono passati per valore esattamente come le variabili. Tali semplici singoli elementi di dati (come i valori *int*, *float* e *char*) sono chiamati scalari. Per passare un elemento di un array a una funzione, usate il nome con indice dell'elemento dell'array come argomento nella chiamata della funzione. Nel Capitolo 7 mostreremo come passare gli scalari (cioè le variabili individuali e gli elementi di un array) alle funzioni per riferimento.

Perché una funzione riceva un array attraverso la chiamata di funzione, la lista dei parametri della funzione *deve* specificare che si dovrà ricevere un array. Ad esempio, l'intestazione di funzione per la funzione *modifyArray* (di cui abbiamo visto la chiamata precedentemente in questo paragrafo) si potrebbe scrivere come

```
void modifyArray(int b[], int size)
```

per indicare che *modifyArray* si aspetta di ricevere un array di interi nel parametro *b* e il numero di elementi dell'array nel parametro *size*. La dimensione dell'array *non* è richiesta tra le parentesi dell'array. Se essa è inclusa, il compilatore controlla che sia maggiore di zero e poi la ignora. Specificare una dimensione negativa provoca un errore di compilazione. Poiché gli array sono automaticamente passati per riferimento, quando la funzione chiamata userà il nome *b* dell'array si riferirà all'array nella funzione chiamante (l'array *hourlyTemperatures* nella chiamata precedente). Nel Capitolo 7 introdurremo altre notazioni per indicare che un array viene passato a una funzione. Come vedremo, queste notazioni si basano sull'intima relazione tra array e puntatori.

Differenza tra il passaggio di un intero array e il passaggio di un elemento di un array

La Figura 6.13 illustra la differenza tra il passaggio di un intero array e il passaggio di un singolo elemento di un array. Il programma dapprima stampa i cinque elementi dell'array di interi *a* (righe 19–21). In seguito, *a* e la sua dimensione vengono passati alla funzione *modifyArray* (riga 25), dove ognuno degli elementi di *a* è moltiplicato per 2 (righe 48–50). Quindi *a* è stampato di nuovo in *main* (righe 29–31). Come mostra l'output, gli elementi di *a* sono realmente modificati da *modifyArray*. Poi il programma stampa il valore di *a* [3] (riga 35) e lo passa alla funzione *modifyElement* (riga 37). La funzione *modifyElement* moltiplica il suo argomento per 2 (riga 58) e stampa il nuovo valore. Quando *a* [3] è ristampato in *main* (riga 40), esso *non* è stato modificato, perché gli elementi individuali dell'array sono passati per valore.

```
1 // Fig. 6.13: fig06_13.c
2 // Passaggio di array e di singoli elementi di array a funzioni.
3 #include <stdio.h>
```

```
4 #define SIZE 5
5
6 // prototipi di funzione
7 void modifyArray(int b[], size_t size);
8 void modifyElement(int e);
9
10 // La funzione main inizia l'esecuzione del programma
11 int main(void)
12 {
13     int a[SIZE] = {0, 1, 2, 3, 4}; // inizializza l'array a
14
15     puts("Effects of passing entire array by reference:\n\nThe "
16          "values of the original array are:");
17
18     // stampa l'array originario
19     for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
20         printf("%3d", a[i]);
21     }
22
23     puts(""); // stampa un newline
24
25     modifyArray(a, SIZE); // passa l'array "a" a modifyArray per riferimento
26     puts("The values of the modified array are:");
27
28     // stampa l'array modificato
29     for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
30         printf("%3d", a[i]);
31     }
32
33     // stampa il valore di a[3]
34     printf("\n\n\nEffects of passing array element "
35           "by value:\n\nThe value of a[3] is %d\n", a[3]);
36
37     modifyElement(a[3]); // passa l'elemento a[3] per valore
38
39     // stampa il valore di a[3]
40     printf("The value of a[3] is %d\n", a[3]);
41 }
42
43 // nella funzione modifyArray, "b" si riferisce all'array originario "a"
44 // in memoria
45 void modifyArray(int b[], size_t size)
46 {
47     // moltiplica ogni elemento dell'array per 2
48     for (size_t j = 0; j < size; ++j) {
49         b[j] *= 2; // modifica in realtà l'array originario
50     }
51 }
52 }
```

```

53 // nella funzione modifyElement, "e" e' una copia locale dell'elemento
54 // dell'array a[3] passato da main
55 void modifyElement(int e)
56 {
57     // moltiplica il parametro per 2
58     printf("Value in modifyElement is %d\n", e *= 2);
59 }

```

Effects of passing entire array by reference:

The values of the original array are:

0 1 2 3 4

The values of the modified array are:

0 2 4 6 8

Effects of passing array element by value:

The value of a[3] is 6

Value in modifyElement is 12

The value of a[3] is 6

Figura 6.13 Passaggio di array e di singoli elementi di array a funzioni.

Vi possono essere situazioni nei vostri programmi in cui a una funzione *non* deve essere permesso di modificare gli elementi di un array. Il C fornisce il qualificatore di tipo **const** (per “costante”) utilizzabile per prevenire modifiche ai valori di un array in una funzione. Quando il parametro di un array è preceduto dal qualificatore **const**, gli elementi dell’array diventano costanti nel corpo della funzione e qualsiasi tentativo di modificare un elemento dell’array nel corpo della funzione produce un errore in fase di compilazione.

Uso del qualificatore const con parametri array

La Figura 6.14 illustra la definizione di una funzione chiamata `tryToModifyArray` che è definita con il parametro `const int [b]` (riga 3), che specifica che l’array `b` è *costante* e *non può* essere modificato. Ognuno dei tentativi della funzione di modificare gli elementi dell’array produce un errore di compilazione. Il qualificatore **const** è esaminato in ulteriori contesti nel Capitolo 7.



Osservazione di ingegneria del software 6.3

Il qualificatore di tipo const può essere applicato a un parametro array nella definizione di una funzione per evitare che l’array originario venga modificato nel corpo della funzione. Questo è un altro esempio del principio del privilegio minimo. A una funzione non si deve dare la possibilità di modificare un array della funzione chiamante, a meno che non sia assolutamente necessario.

```

1 // nella funzione tryToModifyArray, l'array b e' const, per cui non lo si
2 // puo' usare per modificare il suo argomento array nella funzione chiamante
3 void tryToModifyArray(const int b[])
4 {

```

```

5   b[0] /= 2; // errore
6   b[1] /= 2; // errore
7   b[2] /= 2; // errore
8 }

```

Figura 6.14 Uso del qualificatore di tipo `const` con gli array.

6.8 Ordinamento di array

Ordinare i dati (cioè mettere i dati in ordine crescente o decrescente) è una delle più importanti applicazioni del calcolo. Una banca mette in ordine tutti gli assegni per numero di conto corrente, in modo che, alla fine di ogni mese, è in grado di preparare gli estratti conto bancari individuali. Le compagnie telefoniche ordinano gli elenchi dei clienti per cognome e, per ognuno di essi, per nome di battesimo in modo che sia facile trovare i numeri telefonici. Virtualmente, ogni organizzazione deve mettere in ordine dei dati, e in molti casi si tratta di enormi quantità. L'ordinamento di dati è un problema interessante che ha attirato alcuni degli sforzi di ricerca più intensi nel campo dell'informatica. In questo capitolo esaminiamo uno schema di ordinamento semplice. Nel Capitolo 12 e nell'Appendice D analizzeremo schemi più complessi che offrono prestazioni migliori.



Prestazioni 6.4

Spesso gli algoritmi più semplici hanno prestazioni scarse. Il loro pregio è quello di essere facili da scrivere, da testare e da correggere. Gli algoritmi più complessi sono spesso necessari per ottenere prestazioni elevate.

La Figura 6.15 ordina i valori negli elementi di un array `a` di 10 elementi (riga 10) in ordine crescente. La tecnica che usiamo è chiamata **bubble sort** (letteralmente “ordinamento a bolle”) o **sinking sort** (letteralmente “ordinamento per affondamento”), perché i valori più piccoli salgono verso la cima dell’array a poco a poco “come bolle”, come le bolle d’aria che si formano nell’acqua, mentre i valori più grandi scendono verso il fondo dell’array. La tecnica consiste nell’effettuare diverse passate lungo l’array. A ogni passata vengono confrontate le successive coppie di elementi (l’elemento 0 e l’elemento 1, poi l’elemento 1 e l’elemento 2, ecc.). Se una coppia è in ordine crescente (o se i valori sono identici), si lasciano i valori come sono. Se una coppia è in ordine decrescente, i valori vengono scambiati nell’array.

```

1 // Fig. 6.15: fig06_15.c
2 // Ordinare i valori di un array in ordine crescente.
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 10
5
6 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
7 int main(void)
8 {
9     // inizializza a
10    int a[SIZE] = {2, 6, 4, 8, 10, 12, 89, 68, 45, 37};
11
12    puts("Data items in original order");
13

```

```

14 // stampa l'array originario
15 for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
16     printf("%4d", a[i]);
17 }
18
19 // bubble sort
20 // ciclo per il numero di passate
21 for (unsigned int pass = 1; pass < SIZE; ++pass) {
22
23     // ciclo per il numero di confronti a ogni passata
24     for (size_t i = 0; i < SIZE - 1; ++i) {
25
26         // confronta due elementi adiacenti e scambiali se il primo
27         // elemento e' maggiore del secondo elemento
28         if (a[i] > a[i + 1]) {
29             int hold = a[i];
30             a[i] = a[i + 1];
31             a[i + 1] = hold;
32         }
33     }
34 }
35
36 puts("\nData items in ascending order");
37
38 // stampa l'array ordinato
39 for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
40     printf("%4d", a[i]);
41 }
42
43 puts("");
44 }

```

```

Data items in original order
 2  6  4  8 10 12 89 68 45 37
Data items in ascending order
 2  4  6  8 10 12 37 45 68 89

```

Figura 6.15 Ordinare i valori di un array in ordine crescente.

Dapprima il programma confronta $a[0]$ e $a[1]$, poi $a[1]$ e $a[2]$, quindi $a[2]$ e $a[3]$, e così via, finché completa la passata confrontando $a[8]$ e $a[9]$. Benché vi siano 10 elementi, sono eseguiti solo nove confronti. Per via del modo in cui sono fatti i successivi confronti, un valore grande si può muovere in giù lungo l'array di molte posizioni in una singola passata, ma un valore piccolo si può muovere in su solo di una posizione.

Alla prima passata è garantito che il valore più grande scenda giù fino all'elemento che sta al fondo dell'array, $a[9]$. Alla seconda passata è garantito che il secondo valore più grande scenda giù fino ad $a[8]$. Alla nona passata il nono valore più grande scende fino ad $a[1]$. Questo lascia il valore più piccolo in $a[0]$, così, pur essendovi dieci elementi, sono necessari solo nove passate per ordinare l'array.

L'ordinamento è eseguito dai cicli annidati `for` (righe 21–34). Se è necessario uno scambio, questo è eseguito con le tre assegnazioni

```
hold = a[i];
a[i] = a[i + 1];
a[i + 1] = hold;
```

dove la variabile extra `hold` memorizza *temporaneamente* uno dei due valori da scambiare. Lo scambio non può essere eseguito con le sole due assegnazioni

```
a[i] = a[i + 1];
a[i + 1] = a[i];
```

Se, ad esempio, `a[i]` è 7 e `a[i + 1]` è 5, dopo la prima assegnazione entrambi i valori saranno 5 e il valore 7 sarà perduto. Da qui la necessità di una variabile extra `hold`.

Il principale pregio del bubble sort consiste nella facilità di programmarlo. Tuttavia, esso opera lentamente, poiché ogni scambio sposta un elemento solo di una posizione verso la sua destinazione finale. Questo risulta evidente quando si ordinano array grandi. Negli esercizi esamineremo versioni più efficienti del bubble sort. Sono state sviluppate tecniche di ordinamento di gran lunga più efficienti del bubble sort. Analizzeremo altri algoritmi nell'Appendice D. I corsi più avanzati di informatica analizzano più approfonditamente l'ordinamento e la ricerca di elementi in array.

6.9 Caso pratico: calcolo di media, mediana e moda con gli array

Consideriamo ora un esempio più ampio. I computer sono comunemente usati per l'analisi dei dati di sondaggi per compilare e analizzare i risultati di rilevazioni e indagini demoscopiche. La Figura 6.16 usa l'array `response` inizializzato con 99 risposte ottenute in un sondaggio. Ogni risposta è un numero da 1 a 9. Il programma calcola la media, la mediana e la moda dei 99 valori. La Figura 6.17 mostra un'esecuzione del programma. L'esempio include la maggior parte delle manipolazioni comuni abitualmente richieste nei problemi con array, incluso il passaggio degli array a funzioni.

```
1 // Fig. 6.16: fig06_16.c
2 // Analisi dei dati di un sondaggio con l'uso di array:
3 // calcolo della media, della mediana e della moda dei dati.
4 #include <stdio.h>
5 #define SIZE 99
6
7 // prototipi di funzione
8 void mean(const unsigned int answer[]);
9 void median(unsigned int answer[]);
10 void mode(unsigned int freq[], unsigned const int answer[]);
11 void bubbleSort(int a[]);
12 void printArray(unsigned const int a[]);
13
14 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
15 int main(void)
```

```
16 {
17     unsigned int frequency[10] = {0}; // inizializza l'array frequency
18
19     // inizializza l'array response
20     unsigned int response[SIZE] =
21         {6, 7, 8, 9, 8, 7, 8, 9, 8, 9,
22          7, 8, 9, 5, 9, 8, 7, 8, 7, 8,
23          6, 7, 8, 9, 3, 9, 8, 7, 8, 7,
24          7, 8, 9, 8, 9, 8, 9, 7, 8, 9,
25          6, 7, 8, 7, 8, 7, 9, 8, 9, 2,
26          7, 8, 9, 8, 9, 8, 9, 7, 5, 3,
27          5, 6, 7, 2, 5, 3, 9, 4, 6, 4,
28          7, 8, 9, 6, 8, 7, 8, 9, 7, 8,
29          7, 4, 4, 2, 5, 3, 8, 7, 5, 6,
30          4, 5, 6, 1, 6, 5, 7, 8, 7};
31
32     // elabora le risposte
33     mean(response);
34     median(response);
35     mode(frequency, response);
36 }
37
38 // calcola la media di tutti i valori delle risposte
39 void mean(const unsigned int answer[])
40 {
41     printf("%s\n%s\n%s\n", "*****", " Mean", "*****");
42
43     unsigned int total = 0; // contiene la somma dei valori
44
45     // calcola il totale dei valori delle risposte
46     for (size_t j = 0; j < SIZE; ++j) {
47         total += answer[j];
48     }
49
50     printf( "The mean is the average value of the data\n"
51             "items. The mean is equal to the total of\n"
52             "all the data items divided by the number\n"
53             "of data items (%u). The mean value for\n"
54             "this run is: %u / %u = %.4f\n\n",
55             SIZE, total, SIZE, (double) total / SIZE);
56 }
57
58 // ordina l'array e determina il valore dell'elemento mediano
59 void median(unsigned int answer[])
60 {
61     printf("\n%s\n%s\n%s\n%s",
62           "*****", " Median", "*****",
63           "The unsorted array of responses is");
```

```
65     printArray(answer); // stampa l'array non ordinato
66
67     bubbleSort(answer); // ordina l'array
68
69     printf("%s", "\n\nThe sorted array is");
70     printArray(answer); // stampa l'array ordinato
71
72     // stampa l'elemento mediano
73     printf("\n\nThe median is element %u of\n"
74           "the sorted %u element array.\n"
75           "For this run the median is %u\n\n",
76           SIZE / 2, SIZE, answer[SIZE / 2]);
77 }
78
79 // determina la risposta più frequente
80 void mode(unsigned int freq[], const unsigned int answer[])
81 {
82     printf("\n%s\n%s\n%s\n", "*****", " Mode", "*****");
83
84     // inizializza le frequenze a 0
85     for (size_t rating = 1; rating <= 9; ++rating) {
86         freq[rating] = 0;
87     }
88
89     // calcola le frequenze
90     for (size_t j = 0; j < SIZE; ++j) {
91         ++freq[answer[j]];
92     }
93
94     // stampa le intestazioni per le colonne dei risultati
95     printf("%s%11s%19s\n\n%54s\n%54s\n\n",
96           "Response", "Frequency", "Histogram",
97           "1      1      2      2", "5      0      5      0      5");
98
99     // stampa i risultati
100    unsigned int largest = 0; // rappresenta la frequenza maggiore
101    unsigned int modeValue = 0; // rappresenta la risposta più frequente
102
103    for (rating = 1; rating <= 9; ++rating) {
104        printf("%8u%11u      ", rating, freq[rating]);
105
106        // cerca la moda e la frequenza maggiore
107        if (freq[rating] > largest) {
108            largest = freq[rating];
109            modeValue = rating;
110        }
111
112        // stampa una barra dell'istogramma
113        for (unsigned int h = 1; h <= freq[rating]; ++h) {
```

```

114         printf("%s", "*");
115     }
116
117     puts(""); // inizia una nuova riga di stampa
118 }
119
120 // stampa il valore della moda
121 printf("\nThe mode is the most frequent value.\n"
122     "For this run the mode is %u which occurred"
123     " %u times.\n", modeValue, largest);
124 }
125
126 // funzione che ordina un array con l'algoritmo bubble sort
127 void bubbleSort(unsigned int a[])
128 {
129     // ciclo per il numero delle passate
130     for (unsigned int pass = 1; pass < SIZE; ++pass) {
131
132         // ciclo per il numero di confronti a ogni passata
133         for (size_t j = 0; j < SIZE - 1; ++j) {
134
135             // scambia gli elementi se non sono in ordine
136             if (a[j] > a[j + 1]) {
137                 unsigned int hold = a[j];
138                 a[j] = a[j + 1];
139                 a[j + 1] = hold;
140             }
141         }
142     }
143 }
144
145 // stampa i contenuti dell'array (20 valori per riga)
146 void printArray(const unsigned int a[])
147 {
148     // stampa i contenuti dell'array
149     for (size_t j = 0; j < SIZE; ++j) {
150
151         if (j % 20 == 0) { // inizia una nuova riga ogni 20 valori
152             puts("");
153         }
154
155         printf("%2u", a[j]);
156     }
157 }
```

Figura 6.16 Analisi dei dati di un sondaggio con l'uso di array: calcolo di media, mediana e moda dei dati.

```
*****
Mean
*****
The mean is the average value of the data
items. The mean is equal to the total of
all the data items divided by the number
of data items (99). The mean value for
this run is: 681 / 99 = 6.8788
```

```
*****
Median
*****
The unsorted array of responses is
6 7 8 9 8 7 8 9 8 9 7 8 9 5 9 8 7 8 7 8
6 7 8 9 3 9 8 7 8 7 7 8 9 8 9 8 9 7 8 9
6 7 8 7 8 7 9 8 9 2 7 8 9 8 9 8 9 7 5 3
5 6 7 2 5 3 9 4 6 4 7 8 9 6 8 7 8 9 7 8
7 4 4 2 5 3 8 7 5 6 4 5 6 1 6 5 7 8 7
```

```
The sorted array is
1 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5
5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9
```

The median is element 49 of
the sorted 99 element array.
For this run the median is 7

```
*****
Mode
*****
Response Frequency Histogram
1 1 *
2 3 ***
3 4 ****
4 5 *****
5 8 *****
6 9 *****
7 23 *****
8 27 *****
9 19 *****
```

The mode is the most frequent value.
For this run the mode is 8 which occurred 27 times.

Figura 6.17 Esempio di esecuzione del programma dell'analisi dei dati di un sondaggio.

Media

La *media* è la *media aritmetica* dei 99 valori. La funzione `mean` (Figura 6.16, righe 39–56) calcola la media sommando i 99 elementi e dividendo il risultato per 99.

Mediana

La mediana è il valore *di mezzo*. La funzione `median` (righe 59–77) determina la mediana chiamando la funzione `bubbleSort` (definita nelle righe 127–143) per ordinare l'array delle risposte in ordine crescente e selezionando `answer[SIZE / 2]` (l'elemento centrale dell'array ordinato). Quando il numero di elementi è pari, la mediana deve essere calcolata come la media dei due elementi centrali. La funzione `median` non effettua in realtà questo ulteriore calcolo. La funzione `printArray` (righe 146–157) è chiamata per stampare l'array delle risposte `response`.

Moda

La *moda* è il *valore che ricorre più frequentemente* tra le 99 risposte. La funzione `mode` (righe 80–124) determina la moda contando il numero di risposte di ogni tipo e selezionando il valore con il conteggio maggiore. Questa versione della funzione `mode` non si occupa delle situazioni di parità (si veda l'Esercizio 6.14). La funzione `mode` produce anche un istogramma per permettere di determinare graficamente la moda.

6.10 Ricerca in array

Spesso lavorerete con una grande quantità di dati memorizzati negli array. Può essere necessario determinare se un array contiene un valore che corrisponda a un certo *valore chiave*. Il processo che permette di trovare un particolare elemento in un array è chiamato *ricerca*. In questo paragrafo esaminiamo due tecniche di ricerca: la tecnica semplice di *ricerca lineare* e la tecnica più efficiente (ma più complessa) di *ricerca binaria*. Gli Esercizi 6.32 e 6.33 vi chiedono di implementare le versioni *ricorsive* rispettivamente della ricerca lineare e della ricerca binaria.

6.10.1 Effettuare una ricerca in un array con la ricerca lineare

La ricerca lineare (Figura 6.18) confronta ogni elemento dell'array con la *chiave di ricerca*. Dal momento che l'array non è in un ordine particolare, è altrettanto probabile che il valore venga trovato nel primo elemento quanto nell'ultimo. In media, dunque, il programma dovrà confrontare la chiave di ricerca con *metà* degli elementi dell'array.

```

1 // Fig. 6.18: fig06_18.c
2 // Ricerca lineare in un array.
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 100
5
6 // prototipo di funzione
7 size_t linearSearch(const int array[], int key, size_t size);
8
9 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
10 int main( void )
11 {
12     int a[SIZE]; // crea l'array a
13 }
```

```

14 // crea alcuni dati
15 for (size_t x = 0; x < SIZE; ++x) {
16     a[x] = 2 * x;
17 }
18
19 printf("Enter integer search key: ");
20 int searchKey; // valore da localizzare nell'array a
21 scanf("%d", &searchKey);
22
23 // tenta di localizzare searchKey nell'array a
24 size_t index = linearSearch(a, searchKey, SIZE);
25
26 // stampa i risultati
27 if (index != -1) {
28     printf("Found value in element %d\n", index);
29 }
30 else {
31     puts("Value not found");
32 }
33 }
34
35 // confronta la chiave con ogni elemento dell'array;
36 // restituisci l'indice dell'elemento
37 // se la chiave viene trovata o -1 se la chiave non viene trovata
38 size_t linearSearch(const int array[], int key, size_t size)
39 {
40     // ciclo attraverso l'array
41     for (size_t n = 0; n < size; ++n) {
42
43         if (array[n] == key) {
44             return n; // restituisci la posizione della chiave
45         }
46     }
47
48     return -1; // chiave non trovata
49 }

```

Enter integer search key: 36
Found value at index 18

Enter integer search key: 37
Value not found

Figura 6.18 Ricerca lineare in un array.

6.10.2 Effettuare una ricerca in un array con la ricerca binaria

Il metodo della ricerca lineare funziona bene per array *piccoli* o *disordinati*. Tuttavia, per array *grandi* la ricerca lineare è *inefficiente*. Se l'array è ordinato, si può usare la tecnica molto veloce di ricerca binaria.

L'algoritmo di ricerca binaria elimina dalla ricerca *una metà* degli elementi di un array ordinato dopo ogni confronto. L'algoritmo localizza l'elemento *centrale* dell'array e lo confronta con la chiave di ricerca. Se sono uguali, l'elemento è stato trovato e viene restituito l'indice nell'array di quell'elemento. Se non sono uguali, il problema si riduce alla ricerca in *una metà* dell'array. Se la chiave di ricerca è minore dell'elemento centrale dell'array, l'algoritmo effettua una ricerca nella *prima metà* dell'array, altrimenti la effettua nella *seconda metà*. Se la chiave di ricerca non è l'elemento centrale della porzione dell'array originario specificata, l'algoritmo viene ripetuto su un quarto dell'array originario. La ricerca continua finché la chiave di ricerca non è uguale all'elemento centrale di una porzione dell'array, o finché tale porzione non è costituita da un solo elemento che non è uguale alla chiave di ricerca (ossia la chiave di ricerca non è stata trovata).

Nel peggior dei casi, effettuare una ricerca in un array di 1023 elementi richiede *soltanto* 10 confronti con la ricerca binaria. Dividere ripetutamente 1024 (potenza di 2 immediatamente superiore) per 2 produce i valori 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, 2 e 1. Il numero 1024 (2^{10}) viene diviso per due solo 10 volte per ottenere il valore 1. Ogni divisione per 2 corrisponde a un confronto nell'algoritmo di ricerca binaria. Un array di 1.048.575 ($2^{20}-1$) elementi richiede un massimo di *soli* 20 confronti per trovare la chiave di ricerca. Un array ordinato di un miliardo di elementi richiede un massimo di *soli* 30 confronti per trovare la chiave di ricerca. Questo è un miglioramento straordinario delle prestazioni rispetto alla ricerca lineare di un array ordinato, che richiede il confronto della chiave di ricerca in media con la metà degli elementi di un array. Per un array di un miliardo di elementi si ha una differenza tra una media di 500 milioni di confronti e un massimo di 30 confronti! Il massimo numero di confronti per qualunque array può essere determinato considerando la prima potenza di 2 maggiore del numero degli elementi dell'array.

La Figura 6.19 presenta la versione *iterativa* della funzione `binarySearch` (righe 40–68). La funzione riceve quattro argomenti: un array intero `b` su cui effettuare la ricerca, un valore `searchKey` intero e i due indici di array `low` e `high` (questi definiscono la porzione dell'array o *sottoarray* su cui effettuare la ricerca). Se la chiave di ricerca *non* corrisponde all'elemento centrale (individuato dall'indice `middle`) del sottoarray, l'indice `low` o l'indice `high` viene modificato, così da effettuare la ricerca in un sottoarray ancora più piccolo. Se la chiave di ricerca è *minore* dell'elemento centrale, l'indice `high` è impostato a `middle - 1` e la ricerca continua con gli elementi compresi tra `low` e `middle - 1`. Se la chiave di ricerca è *maggior*e dell'elemento centrale, l'indice `low` è impostato a `middle + 1` e la ricerca continua con gli elementi compresi tra `middle + 1` e `high`. Il programma usa un array di 15 elementi. La prima potenza di 2 maggiore del numero degli elementi in questo array è 16 (2^4), così non ci vogliono più di 4 confronti per trovare la chiave di ricerca. Il programma usa la funzione `printHeader` (righe 71–88) per stampare gli indici dell'array e la funzione `printRow` (righe 92–110) per stampare ogni sottoarray durante il processo di ricerca binaria. L'elemento centrale in ogni sottoarray è segnato con un asterisco (*) per indicare l'elemento con il quale viene confrontata la chiave di ricerca.

```

1 // Fig. 6.19: fig06_19.c
2 // Ricerca binaria in un array ordinato.
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 15
5
6 // prototipi di funzione
7 size_t binarySearch(const int b[], int searchKey, size_t low, size_t high);
8 void printHeader(void);
9 void printRow(const int b[], size_t low, size_t mid, size_t high);
10
11 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma

```

```
12 int main(void)
13 {
14     int a[SIZE]; // crea l'array a
15
16     // crea i dati
17     for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
18         a[i] = 2 * i;
19     }
20
21     printf("%s", "Enter a number between 0 and 28: ");
22     int key; // valore da localizzare nell'array a
23     scanf("%d", &key);
24
25     printHeader();
26
27     // cerca la chiave nell'array a
28     size_t result = binarySearch(a, key, 0, SIZE - 1);
29
30     // stampa i risultati
31     if (result != -1) {
32         printf("\n%d found at index %d\n", key, result);
33     }
34     else {
35         printf("\n%d not found\n", key);
36     }
37 }
38
39 // funzione che esegue la ricerca binaria su un array
40 size_t binarySearch(const int b[], int searchKey, size_t low, size_t high)
41 {
42     // ripeti finche' l'indice low non diventa maggiore dell'indice high
43     while (low <= high) {
44
45         // determina l'elemento centrale del sottoarray considerato
46         size_t middle = (low + high) / 2;
47
48         // stampa il sottoarray considerato in questa iterazione
49         printRow(b, low, middle, high);
50
51         // se l'elemento centrale e' searchKey, restituisci middle
52         if (searchKey == b[middle]) {
53             return middle;
54         }
55
56         // se searchKey e' minore, nuovo valore di high
57         else if (searchKey < b[middle]) {
58             high = middle - 1; // cerca nella parte bassa dell'array
59         }
60 }
```

```
61     // se searchKey e' maggiore, nuovo valore di low
62     else {
63         low = middle + 1; // cerca nella parte alta dell'array
64     }
65 } // fine di while
66
67 return -1; // searchKey non trovato
68 }
69
70 // Stampa l'intestazione per l'output
71 void printHeader(void)
72 {
73     puts("\nIndices:");
74
75     // stampa l'intestazione della colonna
76     for (unsigned int i = 0; i < SIZE; ++i) {
77         printf("%3u ", i);
78     }
79
80     puts(""); // inizia una nuova riga di stampa
81
82     // stampa una riga di caratteri -
83     for (unsigned int i = 1; i <= 4 * SIZE; ++i) {
84         printf("%s", "-");
85     }
86
87     puts(""); // inizia una nuova riga di stampa
88 }
89
90 // Stampa una riga dell'output che mostra la parte
91 // corrente dell'array ancora da processare.
92 void printRow(const int b[], size_t low, size_t mid, size_t high)
93 {
94     // ciclo attraverso l'intero array
95     for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
96
97         // stampa spazi se si e' al di fuori del sottoarray corrente
98         if (i < low || i > high) {
99             printf("%s", "   ");
100        }
101        else if (i == mid) { // stampa l'elemento centrale
102            printf("%3d*", b[i]); // marca il valore centrale
103        }
104        else { // stampa gli altri elementi del sottoarray
105            printf("%3d ", b[i]);
106        }
107    }
108
109    puts(""); // inizia una nuova riga di stampa
110 }
```

```
Enter a number between 0 and 28: 25
```

Indices:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	2	4	6	8	10	12	14*	16	18	20	22	24	26	28
							16	18	20	22*	24	26	28	
								24	26*	28				
									24*					

25 not found

```
Enter a number between 0 and 28: 8
```

Indices:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	2	4	6	8	10	12	14*	16	18	20	22	24	26	28
0	2	4	6*	8	10	12								
				8	10*	12								
					8*									

8 found at index 4

```
Enter a number between 0 and 28: 6
```

Indices:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	2	4	6	8	10	12	14*	16	18	20	22	24	26	28
0	2	4	6*	8	10	12								

6 found at index 3

Figura 6.19 Ricerca binaria in un array ordinato.

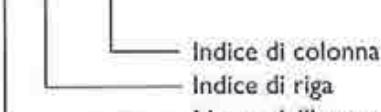
6.11 Array multidimensionali

Gli array in C possono avere diversi indici. Un uso comune degli array con diversi indici, che il C standard chiama **array multidimensionali**, è quello di rappresentare tabelle di valori che contengono informazioni disposte in *righe* e *colonne*. Per identificare un elemento particolare di una tabella, dobbiamo specificare due indici: il *primo* identifica (per convenzione) la *riga* dell'elemento e il *secondo* identifica (per convenzione) la *colonna*. Le tabelle o gli array che richiedono due indici per identificare un elemento specifico sono chiamati **array bidimensionali**. Gli array multidimensionali possono avere più di due indici.

6.11.1 Illustrare un array con due indici

La Figura 6.20 illustra un array bidimensionale, a. L'array contiene tre righe e quattro colonne, per cui è detto array 3 per 4. In generale, un array con *m* righe ed *n* colonne è chiamato **array *m* per *n***.

	Colonna 0	Colonna 1	Colonna 2	Colonna 3
Riga 0	a[0][0]	a[0][1]	a[0][2]	a[0][3]
Riga 1	a[1][0]	a[1][1]	a[1][2]	a[1][3]
Riga 2	a[2][0]	a[2][1]	a[2][2]	a[2][3]



The diagram shows a 3x4 grid representing a 2D array. The columns are labeled 'Colonna 0', 'Colonna 1', 'Colonna 2', and 'Colonna 3'. The rows are labeled 'Riga 0', 'Riga 1', and 'Riga 2'. Arrows point from the text labels to specific elements: one arrow points to 'a[0][0]' with the label 'Nome dell'array'; another arrow points to 'a[0][1]' with the label 'Indice di riga'; a third arrow points to 'a[0][0]' with the label 'Indice di colonna'.

Figura 6.20 Array bidimensionale con tre righe e quattro colonne.

Ogni elemento nell'array *a* è identificato nella Figura 6.20 da un nome di elemento della forma *a[i][j]*, dove *a* è il nome dell'array e *i* e *j* sono gli indici che identificano unicamente ogni elemento di *a*. I nomi degli elementi nella riga 0 hanno tutti il primo indice uguale a 0; i nomi degli elementi nella colonna 3 hanno tutti il secondo indice uguale a 3.



Errore comune di programmazione 6.7

Indicare l'elemento di un array bidimensionale con *a[x, y]* anziché con *a[x][y]* è un errore logico. Il C interpreta *a[x, y]* come *a[y]* (perché la virgola in questo contesto è trattata come un operatore virgola), per cui questo errore di programmazione non è un errore di sintassi.

6.11.2 Inizializzare un array con due indici

Un array multidimensionale si può inizializzare quando viene definito. Ad esempio, un array bidimensionale *int b[2][2]* si può definire e inizializzare con

```
int b[2][2] = {{1, 2}, {3, 4}};
```

I valori sono raggruppati per righe in parentesi graffe. I valori nella prima coppia di parentesi graffe inizializzano la riga 0 e i valori nella seconda coppia di parentesi graffe inizializzano la riga 1. Così i valori 1 e 2 inizializzano gli elementi, rispettivamente, *b[0][0]* e *b[0][1]*, e i valori 3 e 4 inizializzano rispettivamente gli elementi *b[1][0]* e *b[1][1]*. Se non vi sono abbastanza inizializzatori per una data riga, i restanti elementi di quella riga sono inizializzati a 0. In questo modo,

```
int b[2][2] = {{1}, {3, 4}};
```

inizializza *b[0][0]* a 1, *b[0][1]* a 0, *b[1][0]* a 3 e *b[1][1]* a 4. La Figura 6.21 illustra la definizione e l'inizializzazione di array con doppio indice.

```

1 // Fig. 6.21: fig06_21.c
2 // Inizializzazione di array multidimensionali.
3 #include <stdio.h>
4
5 void printArray(int a[][3]); // prototipo di funzione
6
```

```
7 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
8 int main(void)
9 {
10    int array1[2][3] = {{1, 2, 3}, {4, 5, 6}};
11    puts("Values in array1 by row are:");
12    printArray(array1);
13
14    int array2[2][3] = {1, 2, 3, 4, 5};
15    puts("Values in array2 by row are:");
16    printArray(array2);
17
18    int array3[2][3] = {{1, 2}, {4}};
19    puts("Values in array3 by row are:");
20    printArray(array3);
21 }
22
23 // funzione per stampare un array con due righe e tre colonne
24 void printArray(int a[][3])
25 {
26     // iterazione per righe
27     for (size_t i = 0; i <= 1; ++i) {
28
29         // stampa i valori delle colonne
30         for (size_t j = 0; j <= 2; ++j) {
31             printf("%d ", a[i][j]);
32         }
33
34         printf("\n"); // inizia una nuova riga di stampa
35     }
36 }
```

```
Values in array1 by row are:
1 2 3
4 5 6
Values in array2 by row are:
1 2 3
4 5 0
Values in array3 by row are:
1 2 0
4 0 0
```

Figura 6.21 Inizializzazione di array multidimensionali.

Definizione di array1

Il programma definisce tre array di due righe e tre colonne (sei elementi in ognuno). La definizione di `array1` (riga 10) contiene sei inizializzatori in due sottoliste. La prima sottolista inizializza la *riga 0* dell'array con i valori 1, 2 e 3; la seconda sottolista inizializza la *riga 1* dell'array con i valori 4, 5 e 6.

Definizione di array2

Se le parentesi graffe attorno a ogni sottolista vengono rimosse dalla lista degli inizializzatori di array1, il compilatore inizializza gli elementi della prima riga seguiti direttamente dagli elementi della seconda. La definizione di array2 (riga 14) contiene cinque inizializzatori. Questi sono assegnati alla prima riga, poi alla seconda. Gli elementi che *non* hanno un inizializzatore esplicito sono inizializzati automaticamente a zero, così array2[1][2] è inizializzato a 0.

Definizione di array3

La definizione di array3 (riga 18) fornisce tre inizializzatori in due sottoliste. La sottolista per la prima riga inizializza *esplicitamente* i primi due elementi della prima riga a 1 e a 2. Il terzo elemento è inizializzato a *zero*. La sottolista per la seconda riga inizializza esplicitamente il primo elemento a 4. Gli ultimi due elementi sono inizializzati a *zero*.

Funzione printArray

Il programma chiama printArray (righe 24–36) per stampare gli elementi di ogni array. La definizione della funzione specifica il parametro array come `int a[][][3]`. In un parametro array unidimensionale, le parentesi dell'array sono *vuote* nella lista dei parametri della funzione. Il primo indice di un array multidimensionale non è neppure necessario, mentre lo sono tutti gli indici successivi. Il compilatore usa questi indici per determinare le posizioni in memoria degli elementi di array multidimensionali. Tutti gli elementi di un array sono memorizzati consecutivamente nella memoria a prescindere dal numero di indici. In un array bidimensionale, la prima riga è memorizzata in memoria seguuta dalla seconda.

Fornire i valori degli indici nella dichiarazione di parametro permette al compilatore di dire alla funzione come localizzare ogni elemento nell'array. In un array bidimensionale ogni riga è fondamentalmente un array unidimensionale. Per localizzare un elemento in una riga specifica, il compilatore deve sapere *quanti elementi vi sono in ogni riga*, così che possa saltare il giusto numero di locazioni di memoria quando accede all'array. In questo modo, quando accede a `a[1][2]` nel nostro esempio, il compilatore sa che deve saltare i tre elementi della prima riga per raggiungere la seconda riga (riga 1). Quindi, il compilatore accede all'elemento 2 di quella riga.

6.11.3 Impostare l'elemento in una riga

Molte manipolazioni comuni di array usano l'istruzione di ripetizione `for`. Ad esempio, l'istruzione seguente pone a zero tutti gli elementi nella riga 2 dell'array a della Figura 6.20:

```
for (column = 0; column <= 3; ++column) {
    a[2][column] = 0;
}
```

Abbiamo specificato la riga 2, così il primo indice è sempre 2. Il ciclo fa variare soltanto il secondo indice (di colonna). La precedente istruzione `for` è equivalente alle istruzioni di assegnazione:

```
a[2][0] = 0;
a[2][1] = 0;
a[2][2] = 0;
a[2][3] = 0;
```

6.11.4 Calcolare il totale degli elementi in un array bidimensionale

La seguente istruzione for annidata calcola il totale di tutti gli elementi dell'array a.

```
total = 0
for (row = 0; row <= 2; ++row) {
    for (column = 0; column <= 3; ++column) {
        total += a[row][column];
    }
}
```

L'istruzione for annidata calcola il totale degli elementi dell'array una riga alla volta. L'istruzione for esterna inizia ponendo `row` (ossia l'indice di riga) a 0, in modo che gli elementi di quella riga possono essere sommati dall'istruzione for interna. L'istruzione for esterna incrementa quindi `row` a 1, in modo che gli elementi di quella riga possono essere sommati. Quindi, l'istruzione for esterna incrementa `row` a 2, in modo che gli elementi della terza riga possono essere sommati. Alla fine, `total` contiene la somma di tutti gli elementi dell'array a.

6.11.5 Manipolazioni di array bidimensionali

La Figura 6.22 presenta diverse altre manipolazioni comuni di array sull'array 3 per 4 `studentGrades` con l'uso dell'istruzione for. Ogni riga dell'array rappresenta uno studente e ogni colonna un voto a uno dei quattro esami che gli studenti hanno sostenuto durante il semestre. Le manipolazioni dell'array sono eseguite da quattro funzioni. La funzione `minimum` (righe 39–56) trova il voto più basso fra quelli di tutti gli studenti nel semestre. La funzione `maximum` (righe 59–76) trova il voto più alto fra quelli di tutti gli studenti nel semestre. La funzione `average` (righe 79–89) calcola la media nel semestre di ogni studente. La funzione `printArray` (righe 92–108) stampa l'array con doppio indice in un formato tabellare ordinato.

```
1 // Fig. 6.22: fig06_22.c
2 // Manipolazioni di array bidimensionale.
3 #include <stdio.h>
4 #define STUDENTS 3
5 #define EXAMS 4
6
7 // prototipi di funzioni
8 int minimum(const int grades[][EXAMS], size_t pupils, size_t tests);
9 int maximum(const int grades[][EXAMS], size_t pupils, size_t tests);
10 double average(const int setOfGrades[], size_t tests);
11 void printArray(const int grades[][EXAMS], size_t pupils, size_t tests);
12
13 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
14 int main(void)
15 {
16     // inizializza i voti per i tre studenti (righe)
17     int studentGrades[STUDENTS][EXAMS] =
18         { { 77, 68, 86, 73 },
19         { 96, 87, 89, 78 },
20         { 70, 90, 86, 81 } };
```

```
21 // stampa l'array studentGrades
22 puts("The array is:");
23 printArray(studentGrades, STUDENTS, EXAMS);
24
25 // determina i valori minimo e massimo dei voti
26 printf("\n\nLowest grade: %d\nHighest grade: %d\n",
27     minimum(studentGrades, STUDENTS, EXAMS),
28     maximum(studentGrades, STUDENTS, EXAMS));
29
30 // calcola la media dei voti per ogni studente
31 for (size_t student = 0; student < STUDENTS; ++student) {
32     printf("The average grade for student %u is %.2f\n",
33             student, average(studentGrades[student], EXAMS));
34 }
35 }
36 }
37
38 // Trova il voto minimo
39 int minimum(const int grades[][EXAMS], size_t pupils, size_t tests)
40 {
41     int lowGrade = 100; // voto più alto possibile
42
43     // ciclo per le righe di grades
44     for (size_t i = 0; i < pupils; ++i) {
45
46         // ciclo per le colonne di grades
47         for (size_t j = 0; j < tests; ++j) {
48
49             if (grades[i][j] < lowGrade) {
50                 lowGrade = grades[i][j];
51             }
52         }
53     }
54
55     return lowGrade; // restituisci il voto minimo
56 }
57
58 // Trova il voto massimo
59 int maximum(const int grades[][EXAMS], size_t pupils, size_t tests)
60 {
61     int highGrade = 0; // voto più basso possibile
62
63     // ciclo per le righe di grades
64     for (size_t i = 0; i < pupils; ++i) {
65
66         // ciclo per le colonne di grades
67         for (size_t j = 0; j < tests; ++j) {
68
69             if (grades[i][j] > highGrade) {
70                 highGrade = grades[i][j];
71             }
72         }
73     }
74
75     return highGrade; // restituisci il voto massimo
76 }
```

```
72     }
73 }
74
75     return highGrade; // restituisci il voto massimo
76 }
77
78 // Determina il voto medio per ogni studente
79 double average(const int setOfGrades[], size_t tests)
80 {
81     int total = 0; // somma dei voti degli esami
82
83     // totale di tutti i voti per uno studente
84     for (size_t i = 0; i < tests; ++i) {
85         total += setOfGrades[i];
86     }
87
88     return (double) total / tests; // media
89 }
90
91 // Stampa l'array
92 void printArray(const int grades[][EXAMS], size_t pupils, size_t tests)
93 {
94     // stampa le intestazioni delle colonne
95     printf("%s", " [0] [1] [2] [3]");
96
97     // stampa i voti in formato tabellare
98     for (size_t i = 0; i < pupils; ++i) {
99
100         // stampa l'etichetta per la riga
101         printf("\nstudentGrades[%u] ", i);
102
103         // stampa i voti per uno studente
104         for (size_t j = 0; j < tests; ++j) {
105             printf("%-5d", grades[i][j]);
106         }
107     }
108 }
```

The array is:

	[0]	[1]	[2]	[3]
studentGrades[0]	77	68	86	73
studentGrades[1]	96	87	89	78
studentGrades[2]	70	90	86	81

Lowest grade: 68

Highest grade: 96

The average grade for student 0 is 76.00

The average grade for student 1 is 87.50

The average grade for student 2 is 81.75

Figura 6.22 Manipolazione di array bidimensionale.

Le funzioni `minimum`, `maximum` e `printArray` ricevono ciascuna tre argomenti: l'array `studentGrades` (chiamato `grades` in ogni funzione), il numero di studenti (numero di righe dell'array) e il numero di esami (numero di colonne dell'array). Ogni funzione effettua un ciclo per tutto l'array `grades` usando istruzioni `for` annidate. La seguente istruzione `for` annidata è tratta dalla definizione della funzione `minimum`:

```
// ciclo per le righe di grades
for (i = 0; i < pupils; ++i) {
    // ciclo per le colonne di grades
    for (j = 0; j < tests; ++j) {
        if (grades[i][j] < lowGrade) {
            lowGrade = grades[i][j];
        }
    }
}
```

L'istruzione `for` esterna inizia il ciclo ponendo `i` (ossia l'indice di riga) a 0, in modo che gli elementi di quella riga (cioè i voti del primo studente) si possano confrontare con la variabile `lowGrade` nel corpo dell'istruzione `for` interna. L'istruzione `for` interna effettua un'iterazione per i quattro voti di una riga specifica e confronta ogni voto con `lowGrade`. Se un voto è minore di `lowGrade`, `lowGrade` diventa uguale a quel voto. L'istruzione `for` esterna incrementa quindi l'indice di riga a 1. Gli elementi di quella riga sono confrontati con la variabile `lowGrade`. L'istruzione `for` esterna incrementa poi l'indice di riga a 2 e gli elementi di quella riga sono anch'essi confrontati con la variabile `lowGrade`. Quando l'esecuzione dell'istruzione *annidata* è completa, `lowGrade` contiene il voto più piccolo nell'array bidimensionale. La funzione `maximum` opera allo stesso modo.

La funzione `average` (righe 79–89) prende due argomenti: un array bidimensionale dei risultati del test per un particolare studente, chiamato `setOfGrades`, e il numero dei risultati del test nell'array. Quando `average` è chiamata, a essa viene passato il primo argomento `studentGrades[student]`. Questo fa sì che sia passato ad `average` l'indirizzo di una riga dell'array bidimensionale. L'argomento `studentGrades[1]` è l'indirizzo di partenza della riga 1 dell'array. Ricordate che un array bidimensionale è fondamentalmente un array di array unidimensionali e che il nome di un array a singolo indice è l'indirizzo dell'array in memoria. La funzione `average` calcola la somma degli elementi dell'array, divide il totale per il numero dei risultati del test e restituisce il risultato in virgola mobile.

6.12 Array di lunghezza variabile²

Per ogni array che avete definito fin qui, ne avete specificato la dimensione al momento della compilazione. Ma cosa succede se non potete determinare la dimensione di un array fino al *momento dell'esecuzione*? In passato, per trattare questo caso si doveva usare l'allocazione dinamica di memoria (introdotta nel Capitolo 12). Nei casi in cui la dimensione di un array non è nota al momento della compilazione, C dispone di array di lunghezza variabile (VLA, *variable-length array*), ovvero array con lunghezze definite in termini di espressioni calcolate al *momento dell'esecuzione*. Il programma della Figura 6.23 dichiara e stampa diversi VLA.

² Questa funzionalità non è supportata dal Visual C++ di Microsoft.

```
1 // Fig. 6.23: fig06_23.c
2 // Uso degli array di lunghezza variabile in C99
3 #include <stdio.h>
4
5 // prototipi di funzioni
6 void print1DArray(size_t size, int array[size]);
7 void print2DArray(int row, int col, int array[row][col]);
8
9 int main(void)
10 {
11     printf("%s", "Enter size of a one-dimensional array: ");
12     int arraySize; // dimensione di un array 1-D
13     scanf("%d", &arraySize);
14
15     int array[arraySize]; // array 1-D di lunghezza variabile
16
17     printf("%s", "Enter number of rows and columns in another 2-D array: ");
18     int row1, col1; // numero di righe e colonne in un array 2-D
19     scanf("%d %d", &row1, &col1);
20
21     int array2D1[row1][col1]; // array 2-D di lunghezza variabile
22
23     printf("%s",
24         "Enter number of rows and columns in another 2-D array: ");
25     int row2, col2; // numero di righe e colonne in un array 2-D
26     scanf("%d %d", &row2, &col2);
27
28     int array2D2[row2][col2]; // array 2-D di lunghezza variabile
29
30     // test dell'operatore sizeof su VLA
31     printf("\nsizeof(array) yields array size of %d bytes\n",
32           sizeof(array));
33
34     // assegna dei valori agli elementi del VLA 1-D
35     for (size_t i = 0; i < arraySize; ++i) {
36         array[i] = i * i;
37     }
38
39     // assegna dei valori agli elementi del primo VLA 2-D
40     for (size_t i = 0; i < row1; ++i) {
41         for (size_t j = 0; j < col1; ++j) {
42             array2D1[i][j] = i + j;
43         }
44     }
45
46     // assegna dei valori agli elementi del secondo VLA 2-D
47     for (size_t i = 0; i < row2; ++i) {
48         for (size_t j = 0; j < col2; ++j) {
49             array2D2[i][j] = i + j;
50         }
51 }
```

```

51 }
52
53 puts("\nOne-dimensional array:");
54 print1DArray(arraySize, array); // VLA 1-D come argomento
55
56 puts("\nFirst two-dimensional array:");
57 print2DArray(row1, col1, array2D1); // VLA 2-D come argomento
58
59 puts("\nSecond two-dimensional array:");
60 print2DArray(row2, col2, array2D2); // VLA 2-D come argomento
61 }
62
63 void print1DArray(size_t size, int array[size])
64 {
65     // stampa i contenuti dell'array
66     for (size_t i = 0; i < size; i++) {
67         printf("array[%d] = %d\n", i, array[i]);
68     }
69 }
70
71 void print2DArray(size_t row, size_t col, int array[row][col])
72 {
73     // stampa i contenuti dell'array
74     for (size_t i = 0; i < row; ++i) {
75         for (size_t j = 0; j < col; ++j) {
76             printf("%5d", array[i][j]);
77         }
78         puts("");
79     }
80 }
81 }
```

```

Enter size of a one-dimensional array: 6
Enter number of rows and columns in a 2-D array: 2 5
Enter number of rows and columns in another 2-D array: 4 3
```

`sizeof(array)` yields array size of 24 bytes

One-dimensional array:

```

array[0] = 0
array[1] = 1
array[2] = 4
array[3] = 9
array[4] = 16
array[5] = 25
```

First two-dimensional array:

0	1	2	3	4
1	2	3	4	5

```
Second two-dimensional array:
```

0	1	2
1	2	3
2	3	4
3	4	5

Figura 6.23 Uso degli array di lunghezza variabile in C99.

Creare i VLA

Le righe 11–28 chiedono all’utente le dimensioni che desidera per un array unidimensionale e due array bidimensionali e usano i valori di input nelle righe 15, 21 e 28 per creare VLA. Le righe 15, 21 e 28 sono valide purché le variabili che rappresentano le dimensioni degli array siano di un tipo intero.

Operatore `sizeof` con VLA

Dopo aver creato gli array, usiamo l’operatore `sizeof` nelle righe 31–32 per assicurarci che il nostro VLA unidimensionale sia della lunghezza giusta. In versioni precedenti del C `sizeof` era sempre un’operazione della fase di compilazione, ma quando è applicata a un VLA, `sizeof` opera nella fase di esecuzione. La finestra dell’output mostra che l’operatore `sizeof` restituisce una dimensione di 24 byte, quattro volte quella del numero che abbiamo inserito, perché la dimensione di un `int` sulla nostra macchina è di 4 byte.

Assegnare valori a elementi di VLA

In seguito assegniamo valori agli elementi dei nostri VLA (righe 35–51). Usiamo `i < arraySize` come condizione di continuazione del ciclo quando riempiamo l’array unidimensionale. Come con gli array di lunghezza fissa, *non vi è protezione contro gli accessi al di fuori dei confini dell’array*.

Funzione `print1DArray`

Le righe 63–69 definiscono la funzione `print1DArray` che riceve un VLA *unidimensionale* e lo stampa sullo schermo. La sintassi per passare i VLA alle funzioni come parametri è la stessa dei normali array. Usiamo la variabile `size` nella dichiarazione del parametro `array`, ma è semplicemente una documentazione per il programmatore.

Funzione `print2DArray`

La funzione `print2DArray` (righe 71–81) riceve un VLA *bidimensionale* e lo stampa sullo schermo. Ricordate dal Paragrafo 6.11.2 che dovete specificare una dimensione per tutto tranne il primo indice di un parametro array multidimensionale. La stessa restrizione vale per i VLA, eccetto che le dimensioni possono essere specificate da variabili. Il valore iniziale di `col` passato alla funzione viene usato per determinare dove ogni riga inizia nella memoria, proprio come con un array dalla dimensione fissa. Cambiare il valore di `col` all’interno della funzione non provocherà alcun cambiamento all’indicizzazione, ma passare alla funzione un valore scorretto avrà effetti indesiderati.

6.13 Programmazione sicura in C

Controllo dei confini per gli indici di un array

È importante assicurarsi che ogni indice che si usa per accedere a un elemento di un array sia dentro i confini dell'array. Gli indici di un array unidimensionale devono essere maggiori o uguali a 0 e minori del numero di elementi dell'array. Gli indici di riga e di colonna di un array bidimensionale devono essere maggiori o uguali a 0 e minori dei numeri, rispettivamente, delle righe e delle colonne. Questo si estende anche agli array di ulteriori dimensioni.

Permettere ai programmi di leggere o scrivere negli elementi di un array al di fuori dei confini degli array stessi è un comune difetto di sicurezza. Leggere da elementi di un array al di fuori dei confini può fare arrestare il programma o perfino dare l'impressione che questo venga eseguito correttamente, mentre invece usa dati non validi. Scrivere in elementi al di fuori dei confini (noto come *overflow del buffer*) può corrompere i dati in memoria di un programma, arrestare un programma e permettere agli autori di un attacco di sfruttare il sistema ed eseguire il proprio codice.

Come abbiamo già osservato, *il C non fornisce alcun controllo automatico dei confini per gli array*, così dovete preoccuparvene voi. Per le tecniche che aiutano a evitare tali problemi, fate riferimento alla linea guida CERT ARR30-C al sito www.securecoding.cert.org.

scanf_s

Il controllo dei confini è pure importante nell'elaborazione di stringhe. Quando si legge una stringa ponendola in un array di char, `scanf` *non* previene gli overflow del buffer. Se il numero di caratteri in input è maggiore o uguale alla lunghezza dell'array, `scanf` scriverà caratteri – compreso il carattere nullo ('\0') di terminazione – oltre la fine dell'array. Essa potrebbe quindi sovrascrivere altri valori di variabili. Inoltre, se il programma scrive in quelle posizioni il valore di altre variabili, a sua volta potrebbe sovrascrivere il carattere '\0' della stringa.

Una funzione determina la terminazione delle stringhe cercando il loro carattere di terminazione '\0'. Ad esempio, ricordatevi che la funzione `printf` invia in uscita una stringa leggendo i caratteri dall'inizio della stringa in memoria fino a quando non incontra il carattere '\0' della stringa. Se il carattere '\0' manca, `printf` continua a leggere fino a incontrare qualche altro '\0' in memoria. Questo può portare a strani risultati o causare l'arresto di un programma.

L'Annex K *opzionale* del C standard fornisce nuove versioni più sicure di molte funzioni di elaborazione di stringhe e di input/output. Durante la lettura di una stringa in un array di caratteri la funzione `scanf_s` esegue ulteriori controlli per assicurarsi che *non* si scriva oltre la fine dell'array. Supponendo che `myString` sia un array di 20 caratteri, l'istruzione

```
scanf_s("%19s", myString, 20);
```

legge una stringa e la pone in `myString`. La funzione `scanf_s` richiede due argomenti per *ogni %s* nella stringa di formattazione:

- un array di caratteri in cui porre la stringa di input e
- il numero degli elementi dell'array.

La funzione usa il numero di elementi per evitare overflow del buffer. Ad esempio, è possibile fornire un'ampiezza di campo per %s troppo lunga per l'array di caratteri sottostante o semplicemente omettere completamente l'ampiezza del campo. Con `scanf_s`, se il numero dei caratteri in input più il carattere di terminazione nullo è *più grande* del numero degli elementi dell'array specificato, la conversione %s *fallisce*. Poiché l'istruzione precedente contiene soltanto uno specifikatore di conversione, `scanf_s` restituirebbe in tal caso 0, indicando che non sono state eseguite conversioni e l'array `myString` rimarrebbe inalterato.

In generale, se il vostro compilatore supporta le funzioni dell'Annex K opzionale del C standard, dovreste usarle. Esamineremo le ulteriori funzioni dell'Annex K nei successivi paragrafi sulla programmazione sicura in C.



Portabilità 6.1

Non tutti i compilatori supportano le funzioni dell'Annex K del C standard. Per i programmi la cui compilazione deve avvenire su più piattaforme e compilatori può essere necessaria la modifica del codice per utilizzare le versioni di `scanf_s` o `scanf` disponibili su ciascuna piattaforma. Il vostro compilatore potrebbe anche richiedere una specifica impostazione per consentirvi l'utilizzo delle funzioni dell'Annex K.

Non usate stringhe inserite dall'utente come stringhe di controllo della formattazione

Forse avete notato che in questo libro non usiamo istruzioni `printf` con un argomento singolo, e invece usiamo una delle seguenti forme:

- Quando dobbiamo inviare in uscita un '\n' dopo la stringa, usiamo la funzione `puts` (che automaticamente invia in uscita un '\n' dopo la stringa singola che ha come argomento), come in

```
puts("Welcome to C!");
```

- Quando abbiamo necessità che il cursore rimanga sulla stessa riga della stringa, usiamo la funzione `printf`, come in

```
printf("%s", "Enter first integer: ");
```

Poiché in questi esempi stampiamo stringhe letterali, avremmo potuto certamente usare la forma di `printf` con un argomento, come in

```
printf("Welcome to C\n");
printf("Enter first integer: ");
```

Quando `printf` valuta la stringa di controllo della formattazione nel suo primo (ed eventualmente unico) argomento, la funzione esegue dei compiti in base allo specificatore di conversione in quella stringa. Se la stringa di controllo del formato fosse ottenuta dall'utente, un autore di attacchi potrebbe fornire specificatori di conversione dannosi che verrebbero "eseguiti" dalla funzione per l'output formattato. Ora che sapete come leggere le stringhe per porle in *array di caratteri*, è importante sottolineare che non dovete mai usare come stringa di controllo della formattazione di una `printf` un array di caratteri che potrebbe contenere degli input dell'utente. Per maggiori informazioni, fate riferimento alla linea guida CERT FIO30-C al sito www.securecoding.cert.org.

Riepilogo

Paragrafo 6.1 Introduzione

- Gli array sono strutture di dati costituite da elementi di dati correlati dello stesso tipo.
- Gli array sono entità "statiche," in quanto rimangono della stessa dimensione per tutta l'esecuzione di un programma.

Paragrafo 6.2 Gli array

- Un array è un gruppo di locazioni di memoria correlate dal fatto che tutte hanno lo stesso nome e lo stesso tipo.
- Per riferirsi a una particolare locazione o elemento in un array, bisogna specificare il nome dell'array e il numero di posizione del particolare elemento nell'array.
- Il primo elemento in ogni array è l'elemento di posizione zero, per esempio quello con numero di posizione 0. Pertanto, il primo elemento dell'array `c` è indicato con `c[0]`, il secondo con `c[1]`, il settimo elemento con `c[6]` e, in generale, l'elemento *i*-mo con `c[i - 1]`.
- Il nome di un array, come altri nomi di variabili, può contenere solo lettere, cifre e sottolineature e non può iniziare con una cifra.
- Il numero di posizione contenuto fra parentesi quadre è chiamato più formalmente indice. Un indice deve essere un intero o un'espressione intera.
- Le parentesi usate per racchiudere l'indice di un array sono in realtà considerate in C un operatore. Esse hanno lo stesso livello di precedenza dell'operatore di chiamata di funzione.

Paragrafo 6.3 Definire gli array

- Gli array occupano spazio in memoria. Dovete specificare il tipo di ogni elemento e il numero di elementi nell'array così che il computer possa riservare la giusta quantità di memoria.
- Potete usare un array di tipo `char` per memorizzare una stringa di caratteri.

Paragrafo 6.4 Esempi di array

- Il tipo `size_t` rappresenta un tipo intero senza segno. Questo tipo è raccomandato per qualunque variabile che rappresenta la dimensione o gli indici di un array. L'intestazione `<stddef.h>` definisce `size_t` ed è spesso inclusa in altre intestazioni (come `<stdio.h>`).
- Gli elementi di un array possono essere inizializzati quando l'array è definito facendo seguire la definizione da un segno di uguale e da parentesi graffe, {}, contenenti una lista di inizializzatori separati da virgole. Se vi sono meno inizializzatori degli elementi nell'array, i restanti elementi sono inizializzati a zero.
- L'istruzione `int n[10] = {0};` inizializza esplicitamente il primo elemento a zero e inizializza i restanti nove elementi a zero, perché vi sono meno inizializzatori di quanti sono gli elementi nell'array. È importante ricordare che gli array automatici non sono inizializzati automaticamente a zero. Dovete inizializzare almeno il primo elemento a zero affinché i restanti siano automaticamente azzerati. Questo metodo di inizializzazione degli elementi di un array a 0 è eseguito prima dell'avvio del programma per gli array `static` e al momento dell'esecuzione per gli array automatici.
- Se la dimensione di un array viene omessa in una definizione con una lista di inizializzatori, il numero di elementi nell'array sarà il numero di elementi nella lista di inizializzatori.
- È possibile usare la direttiva per il preprocessore `#define` per definire una costante simbolica, un identificatore che il preprocessore sostituisce con un testo di sostituzione prima della compilazione del programma. Quando il programma è preprocessato, la costante simbolica viene sostituita con il testo di sostituzione tutte le volte che compare. L'uso di costanti simboliche per specificare le dimensioni di un array rende i programmi più modificabili.
- Il C non effettua il controllo dei confini di un array per evitare che un programma si riferisca a un elemento che non esiste. Così un programma che è in esecuzione può "andare oltre" la

fine di un array senza messaggi di avvertimento. Dovete assicurarvi che tutti i riferimenti all'array rimangano entro i confini dell'array.

Paragrafo 6.5 Uso di array di caratteri per memorizzare e manipolare stringhe

- Una stringa letterale come "hello" è in realtà un array di caratteri individuali in C.
- È possibile inizializzare un array di caratteri usando una stringa letterale. In questo caso, la dimensione dell'array è determinata dal compilatore in base alla lunghezza della stringa.
- Ogni stringa contiene un carattere speciale di terminazione chiamato carattere nullo. La costante di tipo carattere che rappresenta il carattere nullo è '\0'.
- Un array di caratteri che rappresenta una stringa deve sempre essere definito sufficientemente grande per contenere il numero dei caratteri nella stringa più il carattere nullo di terminazione.
- È possibile inizializzare gli array di caratteri anche con costanti individuali di tipo carattere in una lista di inizializzatori.
- Poiché una stringa è in realtà un array di caratteri, possiamo accedere ai suoi caratteri individuali usando direttamente la notazione con indice per gli array.
- Potete inserire una stringa direttamente nell'array di caratteri dalla tastiera usando `scanf` e lo specificatore di conversione `%s`. Il nome dell'array di caratteri è passato a `scanf` senza il carattere & che lo precede, usato con variabili diverse dagli array.
- La funzione `scanf` legge i caratteri dalla tastiera fino a incontrare il primo carattere di spaziatore. Essa non effettua un controllo sulla dimensione dell'array. Così `scanf` può scrivere oltre la fine dell'array.
- L'array di caratteri che rappresenta una stringa può essere inviato in uscita con `printf` e lo specificatore di conversione `%s`. I caratteri della stringa sono stampati fino a incontrare un carattere nullo di terminazione.

Paragrafo 6.6 Array locali statici e array locali automatici

- Una variabile locale `static` esiste per la durata del programma, ma è visibile solo nel corpo di una funzione. Possiamo applicare `static` alla definizione di un array locale così che l'array non sia creato e inizializzato a ogni chiamata della funzione e non sia distrutto ogni volta che si esce dalla funzione nel programma. Questo riduce il tempo di esecuzione del programma, particolarmente per i programmi con funzioni chiamate frequentemente che contengono array di grandi dimensioni.
- Gli array `static` sono automaticamente inizializzati una volta per tutte prima dell'avvio del programma. Se non inizializzate esplicitamente un array `static`, i suoi elementi sono inizializzati a zero dal compilatore.

Paragrafo 6.7 Passare gli array alle funzioni

- Per passare un argomento array a una funzione, specificate il nome dell'array senza parentesi.
- Diversamente dagli array di tipo `char` che contengono stringhe, gli altri tipi di array non hanno un terminatore speciale. Per questa ragione, anche la dimensione di un array va passata a una funzione, così che la funzione possa processare il numero appropriato di elementi.
- Il C passa automaticamente gli array alle funzioni per riferimento: la funzione chiamata può modificare i valori degli elementi negli array originari della funzione chiamante. Il nome di un array ha come valore l'indirizzo del primo elemento dell'array. Poiché viene passato l'indirizzo di partenza dell'array, la funzione chiamata sa esattamente dove l'array è memorizzato.

Pertanto, quando la funzione chiamata modifica all'interno del suo corpo gli elementi dell'array, modifica gli elementi effettivi dell'array nelle loro originarie locazioni di memoria.

- Sebbene interi array vengano passati per riferimento, i singoli elementi degli array sono passati per valore esattamente come una semplice variabile.
- Tali semplici singoli pezzi di dati (come singoli elementi di tipo `int`, `float` e `char`) sono chiamati scalari.
- Per passare un elemento di un array a una funzione, usate il nome con l'indice dell'elemento dell'array come argomento nella chiamata della funzione.
- Perché una funzione riceva un array tramite una chiamata di funzione, nella lista dei parametri della funzione si deve specificare che si dovrà ricevere un array. Non è necessaria la dimensione dell'array tra le parentesi dell'array. Se essa è inclusa, il compilatore controlla che sia maggiore di zero, poi la ignora.
- Quando un parametro array è preceduto dal qualificatore `const`, gli elementi dell'array diventano costanti nel corpo della funzione e ogni tentativo di modificare gli elementi dell'array nel corpo della funzione produce un errore in fase di compilazione.

Paragrafo 6.8 Ordinamento di array

- L'ordinamento di dati (ossia mettere i dati in un ordine particolare, come ad esempio crescente o decrescente) è una delle più importanti applicazioni del calcolo.
- Una tecnica di ordinamento è chiamata bubble sort o sinking sort, perché i valori più piccoli si assimilano a "bolle" che a poco a poco salgono verso la cima all'array, come le bolle d'aria che risalgono nell'acqua, mentre i valori più grandi scendono verso il fondo dell'array. La tecnica consiste nell'effettuare diverse passate lungo l'array. A ogni passata vengono confrontate le successive coppie di elementi. Se una coppia è in ordine crescente (o se i valori sono identici), si lasciano i valori come sono. Se una coppia è in ordine decrescente, i loro valori sono scambiati nell'array.
- Per via del modo in cui sono fatti i confronti successivi, un valore grande può essere spostato in giù lungo l'array di molte posizioni in una singola passata, ma un valore piccolo può essere spostato in su solo di una posizione.
- Il pregio principale del bubble sort consiste nell'essere facile da programmare. Tuttavia, esso è molto lento e ciò risulta evidente quando si ordinano array di grandi dimensioni.

Paragrafo 6.9 Caso pratico: calcolo di media, mediana e moda con gli array

- La media è la media aritmetica di un insieme di valori.
- La mediana è il "valore centrale" in un insieme ordinato di valori.
- La moda è il valore che ricorre più frequentemente in un insieme di valori.

Paragrafo 6.10 Ricerca in array

- Il processo che consiste nel trovare un particolare elemento in un array è chiamato ricerca.
- La ricerca lineare confronta ogni elemento dell'array con la chiave di ricerca. Dal momento che l'array non è in un ordine particolare, è altrettanto probabile che il valore cercato venga trovato nel primo elemento quanto nell'ultimo. In media, pertanto, la chiave di ricerca sarà confrontata con metà degli elementi dell'array.
- Il metodo della ricerca lineare funziona bene per gli array piccoli o disordinati. Per gli array ordinati si può usare la tecnica veloce di ricerca binaria.

- L'algoritmo di ricerca binaria elimina dalla ricerca una metà degli elementi in un array ordinato dopo ogni confronto. L'algoritmo localizza l'elemento centrale dell'array e lo confronta con la chiave di ricerca. Se sono uguali, la chiave di ricerca è stata trovata e viene restituito l'indice dell'array di quell'elemento. Se non sono uguali, il problema si riduce alla ricerca in una metà dell'array. Se la chiave di ricerca è minore dell'elemento centrale dell'array, viene effettuata la ricerca nella prima metà dell'array, altrimenti nella seconda. Se la chiave di ricerca non è uguale all'elemento centrale del sottoarray specificato (una parte dell'array originario), l'algoritmo è riapplicato a un quarto dell'array originario. La ricerca continua finché la chiave di ricerca non è uguale all'elemento centrale di un sottoarray, o finché il sottoarray non è costituito da un unico elemento che non è uguale alla chiave di ricerca (cioè la chiave di ricerca non è stata trovata).
- Nella ricerca binaria è possibile determinare il numero massimo di confronti richiesti per un array trovando la prima potenza di 2 maggiore del numero degli elementi dell'array.

Paragrafo 6.11 Array multidimensionali

- Un uso comune degli array multidimensionali è quello di rappresentare tabelle di valori costituite da informazioni disposte in righe e colonne. Per identificare un particolare elemento della tabella, dobbiamo specificare due indici: il primo identifica (per convenzione) la riga dell'elemento e il secondo identifica (per convenzione) la colonna dell'elemento.
- Le tabelle o gli array che richiedono due indici per identificare un elemento particolare sono chiamati array bidimensionali.
- Gli array multidimensionali possono avere più di due indici.
- È possibile inizializzare un array multidimensionale al momento della definizione, in modo analogo a un array unidimensionale. I valori in un array bidimensionale sono raggruppati per righe tra parentesi graffe. Se non vi è un numero di inizializzatori sufficiente per una data riga, i restanti elementi di quella riga sono inizializzati a 0.
- Il primo indice di una dichiarazione di parametro array multidimensionale non è necessario, mentre lo sono tutti quelli successivi. Il compilatore usa questi indici per determinare le locazioni in memoria degli elementi di array multidimensionali. Tutti gli elementi di un array sono memorizzati consecutivamente a prescindere dal numero degli indici. In un array bidimensionale, la prima riga viene memorizzata seguita dalla seconda.
- Fornire i valori degli indici nella dichiarazione di parametro permette al compilatore di dire alla funzione come localizzare un elemento dell'array. In un array bidimensionale, ogni riga è fondamentalmente un array bidimensionale. Per localizzare un elemento in una particolare riga, il compilatore deve sapere quanti elementi vi sono in ogni riga in modo da poter saltare il numero appropriato di locazioni di memoria quando accede all'array.

Paragrafo 6.12 Array di lunghezza variabile

- Un array di lunghezza variabile è un array la cui lunghezza, o dimensione, è definita in termini di un'espressione calcolata al momento dell'esecuzione.
- Quando è applicata a un array di lunghezza variabile, la funzione `sizeof` opera in fase di esecuzione.
- Come con gli array di lunghezza fissa, non vi è alcuna protezione contro gli accessi al di fuori dei confini dell'array per gli array di lunghezza variabile.
- La sintassi per passare gli array di lunghezza variabile come parametri a una funzione è la stessa di quella per un normale array di lunghezza fissa.

Esercizi di autovalutazione

- 6.1** Completate ciascuna delle seguenti frasi:
- Le liste e le tabelle di valori sono memorizzate in _____.
 - Il numero usato per riferirsi a un particolare elemento di un array è chiamato il suo _____.
 - Una _____ va usata per specificare la dimensione di un array perché rende il programma più modificabile.
 - Il processo di messa in ordine degli elementi di un array è chiamato _____ dell'array.
 - Determinare se un array contiene un certo valore chiave si dice _____ nell'array.
 - Un array che usa due indici è detto array _____.
- 6.2** Stabilite se le seguenti affermazioni sono *vere* o *false*. Se la risposta è *falso*, spiegate il perché.
- Un array può memorizzare molti tipi differenti di valori.
 - L'indice di un array può essere del tipo di dati *double*.
 - Se in una lista di inizializzatori vi sono meno inizializzatori del numero degli elementi nell'array, il C automaticamente inizializza i restanti elementi all'ultimo valore nella lista degli inizializzatori.
 - È un errore se una lista di inizializzatori contiene più inizializzatori di quanti sono gli elementi nell'array.
 - L'elemento individuale di un array che viene passato a una funzione come un argomento della forma *a[i]* e viene modificato nella funzione chiamata conterrà poi il valore modificato nella funzione chiamante.
- 6.3** Eseguite le istruzioni che seguono riguardanti un array chiamato *fractions*.
- Definite una costante simbolica *SIZE* da sostituire con il testo di sostituzione 10.
 - Definite un array con un numero uguale a *SIZE* di elementi di tipo *double* e inizializzate gli elementi a 0.
 - Indicate l'elemento 4 dell'array.
 - Assegnate il valore 1.667 all'elemento nove dell'array.
 - Assegnate il valore 3.333 al settimo elemento dell'array.
 - Stampate gli elementi 6 e 9 dell'array con due cifre di precisione alla destra del punto decimale e mostrate l'output che viene stampato sullo schermo.
 - Stampate tutti gli elementi dell'array usando un'istruzione di iterazione *for*. Supponete che la variabile intera *x* sia stata definita come una variabile di controllo per il ciclo. Mostrate l'output.
- 6.4** Scrivete istruzioni per effettuare le seguenti operazioni:
- Definite *table* come un array intero con 3 righe e 3 colonne. Supponete che la costante simbolica *SIZE* sia stata definita come valore 3.
 - Quanti elementi contiene l'array *table*? Stampate il numero totale di elementi.
 - Usate un'istruzione di iterazione *for* per inizializzare ogni elemento di *table* alla somma dei suoi indici. Supponete che le variabili intere *x* e *y* siano definite come variabili di controllo.
 - Stampate i valori di ogni elemento dell'array *table*. Supponete che l'array sia stato inizializzato con la definizione:

```
int table[SIZE][SIZE] =  
{ { 1, 8 }, { 2, 4, 6 }, { 5 } };
```

6.5 Trovate l'errore in ognuno dei seguenti segmenti di programma e correggetelo.

- a) `#define SIZE 100;`
- b) `SIZE = 10;`
- c) *Presupponete* `int b[10] = { 0 }, i;`
`for (i = 0; i <= 10; ++i) {`
`b[i] = 1;`
`}`
- d) `#include <stdio.h>;`
- e) *Presupponete* `int a[2][2] = { { 1, 2 }, { 3, 4 } };`
`a[1, 1] = 5;`
- f) `#define VALUE = 120`

Risposte agli esercizi di autovalutazione

- 6.1 a) array. b) indice. c) costante simbolica. d) ordinamento. e) ricerca. f) bidimensionale.
- 6.2 a) Falso. Un array può memorizzare solo valori dello stesso tipo.
b) Falso. L'indice di un array deve essere un intero o un'espressione intera.
c) Falso. Il C inizializza automaticamente i restanti elementi a zero.
d) Vero.
e) Falso. Gli elementi individuali di un array sono passati per valore. Se invece è passato l'intero array a una funzione, allora le modifiche agli elementi saranno riflesse nell'originale.
- 6.3 a) `#define SIZE 10`
b) `double fractions[SIZE] = { 0.0 };`
c) `fractions[4]`
d) `fractions[9] = 1.667;`
e) `fractions[6] = 3.333;`
f) `printf("%.2f %.2f\n", fractions[6], fractions[9]);`
Output: 3.33 1.67.
g) `for (x = 0; x < SIZE; ++x) {`
 `printf("fractions[%u] = %f\n", x, fractions[x]);`
}
Output:
`fractions[0] = 0.000000`
`fractions[1] = 0.000000`
`fractions[2] = 0.000000`
`fractions[3] = 0.000000`
`fractions[4] = 0.000000`
`fractions[5] = 0.000000`
`fractions[6] = 3.333000`
`fractions[7] = 0.000000`
`fractions[8] = 0.000000`
`fractions[9] = 1.667000`

6.4 a) int table[SIZE][SIZE];
 b) Nove elementi. printf("%d\n", SIZE * SIZE);
 c) **for** (*x* = 0; *x* < SIZE; ++*x*) {
 for (*y* = 0; *y* < SIZE; ++*y*) {
 table[*x*][*y*] = *x* + *y*;
 }
 }
 d) **for** (*x* = 0; *x* < SIZE; ++*x*) {
 for (*y* = 0; *y* < SIZE; ++*y*) {
 printf("table[%d][%d] = %d\n", *x*, *y*, table[*x*][*y*]);
 }
 }
Output:
 table[0][0] = 1
 table[0][1] = 8
 table[0][2] = 0
 table[1][0] = 2
 table[1][1] = 4
 table[1][2] = 6
 table[2][0] = 5
 table[2][1] = 0
 table[2][2] = 0

- 6.5 a) Errore: il punto e virgola alla fine della direttiva per il preprocessore `#define`.
 Correzione: eliminate il punto e virgola.
 b) Errore: assegnare un valore a una costante simbolica usando un'istruzione di assegnazione.
 Correzione: assegnate il valore alla costante simbolica in una direttiva per il preprocessore `#define` senza usare l'operatore di assegnazione, come in `#define SIZE 10`.
 c) Errore: fare riferimento a un elemento di un array al di fuori dei confini dell'array (`b[10]`).
 Correzione: cambiate il valore finale della variabile di controllo a 9.
 d) Errore: il punto e virgola alla fine della direttiva per il preprocessore `#include`.
 Correzione: eliminate il punto e virgola.
 e) Errore: indicizzazione dell'array fatta in modo scorretto.
 Correzione: cambiate l'istruzione in `a[1][1] = 5;`
 f) Errore: assegnare un valore a una costante simbolica usando un'istruzione di assegnazione.
 Correzione: assegnate un valore alla costante simbolica in una direttiva per il preprocessore `#define` senza usare l'operatore di assegnazione, come in `#define VALUE 120`.

Esercizi

- 6.6 Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti frasi:
 a) Il C memorizza liste di valori in _____.
 b) Gli elementi di un array sono correlati dal fatto che _____.
 c) Quando ci si riferisce all'elemento di un array, il numero della posizione contenuto entro le parentesi quadre è chiamato _____.

- d) I nomi dei cinque elementi dell'array `p` sono _____, _____, _____, _____ e _____.
- e) Il contenuto di un particolare elemento di un array è detto il _____ di quell'elemento.
- f) Denominare un array, determinare il suo tipo e specificare il numero di elementi nell'array è detto _____ dell'array.
- g) Il processo di porre gli elementi di un array o nell'ordine crescente o in quello decrescente è chiamato _____.
- h) In un array bidimensionale, il primo indice identifica la _____ di un elemento e il secondo la _____ di un elemento.
- i) Un array m per n contiene _____ righe, _____ colonne e _____ elementi.
- j) Il nome dell'elemento nella riga 3 e nella colonna 5 dell'array `d` è _____.
- 6.7** Stabilite quali delle seguenti affermazioni sono *vere* e quali *false*: se *false*, spiegate il perché.
- Per riferirci a una particolare locazione o a un elemento in un array, specifichiamo il nome dell'array e il valore del particolare elemento.
 - La definizione di un array riserva spazio per l'array.
 - Per indicare che per l'array intero `p` si devono riservare 100 locazioni, si scrive `p[100];`
 - Un programma in C che inizializza gli elementi di un array con 15 elementi a zero deve contenere un'istruzione `for`.
 - La media, la mediana e la moda dell'insieme di valori che segue sono rispettivamente 5, 6 e 7; 1, 2, 5, 6, 7, 7, 7.
- 6.8** Scrivete istruzioni per effettuare ognuna delle seguenti operazioni:
- Stampare il valore del settimo elemento di un array di caratteri `f`.
 - Inserire un valore nell'elemento 4 di un array `b` unidimensionale di elementi in virgola mobile.
 - Inizializzare ognuno dei cinque elementi di un array intero `g` con singolo indice a 8.
 - Sommare gli elementi dell'array `c` in virgola mobile di 100 elementi.
 - Copiare l'array `a` nella prima porzione dell'array `b`. Presupponete `double a[11], b[34];`.
 - Determinare e stampare il valore più piccolo e il valore più grande contenuti nell'array `w` in virgola mobile di 99 elementi.
- 6.9** Considerate un array intero `t` di dimensioni 2 per 5.
- Scrivete una definizione per `t`.
 - Quante righe ha `t`?
 - Quante colonne ha `t`?
 - Quanti elementi ha `t`?
 - Scrivete i nomi di tutti gli elementi nella seconda riga di `t`.
 - Scrivete i nomi di tutti gli elementi nella terza colonna di `t`.
 - Scrivete un'istruzione singola che imposti l'elemento di `t` nella riga 1 e nella colonna 2 a zero.
 - Scrivete una serie di istruzioni che inizializzi ogni elemento di `t` a zero. Non usate un'istruzione di iterazione.
 - Scrivete un'istruzione `for` annidata che inizializzi ogni elemento di `t` a zero.
 - Scrivete un'istruzione che faccia inserire i valori per gli elementi di `t` dal terminale.
 - Scrivete una serie di istruzioni che determinino e stampino il valore più piccolo nell'array `t`.

- I) Scrivete un’istruzione che stampi gli elementi della prima riga di t .
 m) Scrivete un’istruzione che sommi gli elementi della quarta colonna di t .
 n) Scrivete una serie di istruzioni che stampino l’array t in formato tabellare. Elencate gli indici di colonna come intestazioni al di sopra delle rispettive colonne ed elencate gli indici di riga alla sinistra delle rispettive righe.
- 6.10 (Commissioni sulle vendite)** Usate un array unidimensionale per risolvere il seguente problema. Una compagnia paga i suoi agenti di vendita su commissione. Gli agenti di vendita ricevono \$200 alla settimana più il 9% delle loro vendite lorde per quella settimana. Ad esempio, un agente di vendita che ottiene un introito lordo sulle vendite di \$3000 in una settimana riceve \$200 più il 9% di \$3000, ovvero un totale di \$470. Scrivete un programma in C (usando un array di contatori) che determini quanti agenti di vendita hanno avuto i loro guadagni in ognuno dei seguenti intervalli (supponete che il guadagno di ogni agente di vendita sia troncato a una quantità intera):
- a) \$200–299
 - b) \$300–399
 - c) \$400–499
 - d) \$500–599
 - e) \$600–699
 - f) \$700–799
 - g) \$800–899
 - h) \$900–999
 - i) \$1000 e oltre
- 6.11 (Bubble sort)** Il bubble sort presentato nella Figura 6.15 è inefficiente per array grandi. Apportate le seguenti semplici modifiche per migliorare le sue prestazioni.
- a) Dopo la prima passata, è garantito che il numero più grande si trova nell’elemento dell’array con l’indice più alto; dopo la secondo passata, i due numeri più grandi sono “al loro posto”, e così via. Invece di fare nove confronti a ogni passata, modificate il bubble sort per fare otto confronti alla seconda passata, sette alla terza passata e così via.
 - b) I dati nell’array possono già essere nell’ordine giusto o quasi giusto, allora perché fare nove passate se ne basterebbero di meno? Modificate l’algoritmo per controllare alla fine di ogni passata se sono stati fatti degli scambi. Se non ne sono stati fatti, allora i dati devono già essere nell’ordine giusto, così il programma dovrebbe terminare. Se sono stati fatti degli scambi, allora è necessaria almeno un’altra passata.
- 6.12** Scrivete dei cicli che effettuino ognuna delle seguenti operazioni su array con indice singolo:
- a) Inizializzare i 10 elementi dell’array intero `counts` a zero.
 - b) Aggiungere 1 a ognuno dei 15 elementi dell’array intero `bonus`.
 - c) Leggere i 12 valori dell’array in virgola mobile `monthlyTemperatures` dalla tastiera.
 - d) Stampare i cinque valori dell’array intero `bestScores` nel formato a colonne.
- 6.13** Trovate l’errore o gli errori in ognuna delle seguenti istruzioni:
- a) Presupponete: `char str[5];`
`scanf("%s", str); // L’utente scrive hello`
 - b) Presupponete: `int a[3];`
`printf("$d %d %d\n", a[1], a[2], a[3]);`
 - c) `double f[3] = { 1.1, 10.01, 100.001, 1000.0001 };`
 - d) Presupponete: `double d[2][10];`
`d[1, 9] = 2.345;`

- 6.14 (*Modifiche al programma per media, mediana e moda*) Modificate il programma della Figura 6.16 in modo che la funzione mode sia in grado di trattare situazioni di parità per il valore della moda. Modificate anche la funzione median in modo che venga calcolata la media dei due elementi centrali in un array con un numero pari di elementi.
- 6.15 (*Eliminazione di duplicati*) Usate un array unidimensionale per risolvere il seguente problema. Memorizzate 20 numeri, ognuno dei quali compreso tra 10 e 100, estremi inclusi. Quando un numero viene letto, stampatelo solo se non è un duplicato di un numero già letto. Tenete conto del “caso peggiore”, in cui tutti i 20 numeri sono differenti. Usate l’array più piccolo possibile per risolvere questo problema.
- 6.16 Etichettate gli elementi dell’array bidimensionale sales 3 per 5 per indicare l’ordine in cui sono posti a zero dal seguente segmento di programma:

```
for (row = 0; row <= 2; ++row) {
    for (column = 0; column <= 4; ++column) {
        sales[row][column] = 0;
    }
}
```

- 6.17 Cosa fa il seguente programma?

```
1 // ex06_17.c
2 // Cosa fa questo programma?
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 10
5
6 int whatIsThis(const int b[], size_t p); // prototipo di funzione
7
8 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
9 int main(void)
10 {
11     int x; // contiene il valore di ritorno della funzione whatIsThis
12
13     // inizializza l'array a
14     int a[SIZE] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 };
15
16     x = whatIsThis(a, SIZE);
17
18     printf("Result is %d\n", x);
19 }
20
21 // cosa fa questa funzione?
22 int whatIsThis(const int b[], size_t p)
23 {
24     // caso di base
25     if (1 == p) {
26         return b[0];
27     }
28     else { // passo di ricorsione
29         return b[p - 1] + whatIsThis(b, p - 1);
30     }
31 }
```

6.18 Cosa fa il seguente programma?

```

1 // ex06_18.c
2 // Cosa fa questo programma?
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 10
5
6 // prototipo di funzione
7 void someFunction(const int b[], size_t startIndex, size_t size);
8
9 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
10 int main(void)
11 {
12     int a[SIZE] = { 8, 3, 1, 2, 6, 0, 9, 7, 4, 5 }; // inizializza a
13
14     puts("Answer is:");
15     someFunction(a, 0, SIZE);
16     puts("");
17 }
18
19 // Cosa fa questa funzione?
20 void someFunction(const int b[], size_t startIndex, size_t size)
21 {
22     if (startIndex < size) {
23         someFunction(b, startIndex + 1, size);
24         printf("%d ", b[startIndex]);
25     }
26 }
```

- 6.19 (*Lancio dei dadi*) Scrivete un programma che simuli il lancio di due dadi. Il programma deve usare due volte `rand` per lanciare, rispettivamente, il primo dado e il secondo dado. Poi deve calcolare la somma dei due valori. [Nota: poiché ogni dado può mostrare sulla faccia superiore un valore intero da 1 a 6, la somma dei due valori varierà allora da 2 a 12, con 7 che è la somma più frequente e 2 e 12 che sono le somme meno frequenti.] La Figura 6.24 mostra 36 possibili combinazioni dei due dadi. Il vostro programma deve lanciare i due dadi 36.000 volte. Usate un array unidimensionale per annotare il numero delle volte in cui compare ogni possibile somma. Stampate i risultati in un formato tabellare. Stabilite inoltre se i totali sono ragionevoli; cioè, vi sono sei modi di ottenere un risultato 7, così, approssimativamente, un sesto di tutti i lanci deve avere come somma 7.

	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6	7	8
3	4	5	6	7	8	9
4	5	6	7	8	9	10
5	6	7	8	9	10	11
6	7	8	9	10	11	12

Figura 6.24 Risultati per il lancio dei dadi.

6.20 (*Gioco del craps*) Scrivete un programma che esegua 1000 volte il gioco del craps (senza alcun intervento umano) e risponda a ognuna delle seguenti domande:

- Quanti giochi vengono vinti al primo lancio, al secondo lancio, ..., al ventesimo lancio e oltre?
- Quanti giochi vengono persi al primo lancio, al secondo, ..., al ventesimo lancio e oltre?
- Quali sono le possibilità di vincere al craps? [Nota: dovreste scoprire che il craps è uno dei giochi da casinò più corretti. Cosa pensate che ciò significhi?]
- Qual è la lunghezza media di un gioco del craps?
- Le possibilità di vincere aumentano con la lunghezza del gioco?

6.21 (*Sistema di prenotazione per compagnie aeree*) Una piccola compagnia aerea ha appena acquistato un computer per il suo nuovo sistema automatico di prenotazione. Il presidente vi ha chiesto di programmare il nuovo sistema. Scriverete un programma per assegnare i posti su ogni volo dell'unico aereo della compagnia (capacità: 10 posti). Il vostro programma deve stampare il seguente menu di alternative:

Please type 1 for "first class"

Please type 2 for "economy"

Se la persona scrive 1, allora il vostro programma deve assegnare un posto in prima classe (posti da 1 a 5). Se la persona scrive 2, allora il vostro programma deve assegnare un posto in classe economy (posti da 6 a 10). Il vostro programma deve quindi stampare una carta d'imbarco indicante il numero del posto della persona e se questo si trova in prima classe o in classe economy.

Usate un array unidimensionale per rappresentare la mappa dei posti dell'aereo. Iniziate tutti gli elementi dell'array a 0 per indicare che tutti i posti sono vuoti. Quando ogni posto viene assegnato, ponete l'elemento corrispondente dell'array a 1 per indicare che il posto non è più disponibile.

Il vostro programma, naturalmente, non deve mai assegnare un posto che è già stato assegnato. Quando la prima classe è piena, il vostro programma deve domandare alla persona se è disposta ad accettare un posto in classe economy (e viceversa). Se lo è, assegnate il posto appropriato; se non lo è, stampate il messaggio "Next flight leaves in 3 hours."

6.22 (*Totale delle Vendite*) Usate un array con doppio indice per risolvere il seguente problema. Un'azienda ha quattro agenti di vendita (da 1 a 4) che vendono cinque differenti prodotti (da 1 a 5). Una volta al giorno, ogni agente di vendita consegna una distinta per ogni tipo differente di prodotto venduto. Ogni distinta contiene:

- il numero dell'agente di vendita
- il numero del prodotto
- il valore totale in dollari di quel prodotto venduto quel giorno.

In questo modo, ogni agente di vendita consegna tra 0 e 5 distinte di vendita al giorno. Supponete che siano disponibili le informazioni contenute in tutte le distinte per l'ultimo mese. Scrivete un programma che legga queste informazioni per le vendite dell'ultimo mese e riepiloghi le vendite totali per agente di vendita e per prodotto. Tutti i totali devono essere memorizzati nell'array bidimensionale sales. Dopo aver elaborato tutte le informazioni per l'ultimo mese, stampate i risultati in formato tabellare con ogni colonna che rappresenta uno specifico agente di vendita e ogni riga che rappresenta uno specifico prodotto. Calcolate il totale parziale di ogni riga per ottenere il totale delle vendite di ogni prodotto; calcolate il totale parziale di ogni colonna per ottenere il totale delle vendite realizzato da ogni agente di vendita. La vostra stampa tabellare deve includere questi totali parziali alla destra delle righe sommate e in fondo alle colonne sommate.

6.23 (Grafici a tartaruga) Il linguaggio Logo ha reso famoso il concetto dei *grafici a tartaruga*. Immaginate una tartaruga meccanica che cammini intorno in una stanza sotto il controllo di un programma in C. La tartaruga tiene una penna che può trovarsi in una di due posizioni, in su o in giù. Finché la penna sta in giù, la tartaruga traccia delle forme mentre si muove; finché la penna sta in su, la tartaruga si muove intorno liberamente senza scrivere nulla. In questo problema simulerete l'operazione della tartaruga e creerete anche un foglio da disegno computerizzato.

Usate un array `floor[50][50]` inizializzato a zero. Leggete i comandi da un array che li contiene. Tenete continuamente traccia della posizione corrente della tartaruga e della posizione della penna, in su o in giù. Supponete che la tartaruga parta sempre alla posizione 0, 0 del pavimento con la sua penna in su. L'insieme di comandi della tartaruga che il vostro programma deve elaborare è mostrato nella Figura 6.25. Supponete che la tartaruga sia da qualche parte vicino al centro del pavimento. Il seguente “programma” disegna e stampa un quadrato di 12 per 12:

```
2
5,12
3
5,12
3
5,12
3
5,12
1
6
9
```

Quando la tartaruga si muove con la penna in giù, ponete gli elementi appropriati dell'array `floor` a 1. Quando viene dato il comando 6 (stampa), ovunque vi sia un 1 nell'array stampate un asterisco o un altro carattere a vostra scelta. Ovunque vi sia uno zero, stampate uno spazio. Scrivete un programma per implementare le funzionalità dei grafici a tartaruga esaminate qui. Scrivete diversi programmi per grafici a tartaruga per disegnare forme interessanti. Aggiungete altri comandi per aumentare la potenza del vostro linguaggio per i grafici a tartaruga.

Comando	Significato
1	Penna in su
2	Penna in giù
3	Gira a destra
4	Gira a sinistra
5, 10	Spostati in avanti di 10 posizioni (o di un numero diverso da 10)
6	Stampa l'array 50 per 50
9	Fine dei dati (sentinella)

Figura 6.25 Comandi della tartaruga.

6.24 (Il Giro del Cavallo) Uno dei puzzle più interessanti per gli appassionati di scacchi è il problema del Giro del Cavallo, originariamente proposto dal matematico Eulero. Il problema è questo: può il pezzo degli scacchi chiamato “cavalllo” muoversi su una scacchiera vuota e

toccare ognuno dei 64 quadrati una volta e una volta soltanto? Studiamo qui in maniera approfondita questo intrigante problema.

Il cavallo compie movimenti a forma di L (facendo mosse di due quadrati in una direzione e poi di un quadrato in una direzione perpendicolare). In questo modo, da un quadrato al centro di una scacchiera vuota, il cavallo può compiere otto differenti mosse (numerate da 0 a 7) come mostrato nella Figura 6.26.

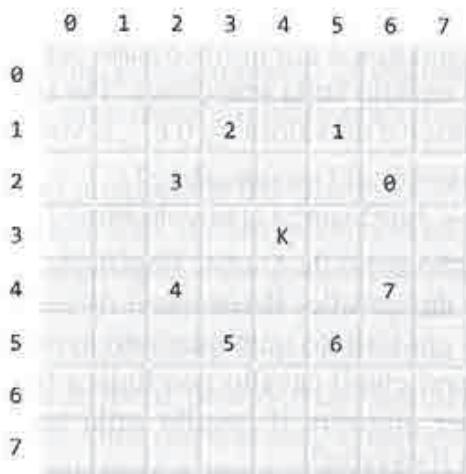


Figura 6.26 Le otto possibili mosse del cavallo.

- Disegnate su un foglio di carta una scacchiera 8 per 8 e tentate a mano un giro del cavallo. Mettete un 1 nel primo quadrato da cui vi muovete, un 2 nel secondo quadrato, un 3 nel terzo, e così via. Prima di iniziare il giro, fate una stima di fin dove pensate di arrivare, ricordando che un giro completo consta di 64 mosse. Fin dove siete arrivati? Vi siete avvicinati alla vostra stima?
- Ora sviluppiamo un programma che muova il cavallo su una scacchiera. La scacchiera stessa è rappresentata da un array bidimensionale board 8 per 8. Ogni quadrato è inizializzato a zero. Descriviamo ognuna delle otto possibili mosse in termini delle sue componenti sia orizzontali che verticali. Ad esempio, una mossa di tipo 0 come mostrato nella Figura 6.26 consiste nel muoversi di due quadrati orizzontalmente verso destra e di un quadrato verticalmente verso l'alto. La mossa 2 consiste nel muoversi di un quadrato orizzontalmente verso sinistra e due quadrati verticalmente verso l'alto. I movimenti orizzontali verso sinistra e i movimenti verticali verso l'alto sono indicati con numeri negativi. È possibile descrivere le otto mosse con due array con singolo indice, `horizontal` e `vertical`, come segue:

```
horizontal[0] = 2
horizontal[1] = 1
horizontal[2] = -1
horizontal[3] = -2
horizontal[4] = -2
horizontal[5] = -1
horizontal[6] = 1
horizontal[7] = 2
```

```

vertical[0] = -1
vertical[1] = -2
vertical[2] = -2
vertical[3] = -1
vertical[4] = 1
vertical[5] = 2
vertical[6] = 2
vertical[7] = 1

```

Usate le variabili `currentRow` e `currentColumn` per indicare la riga e la colonna della posizione corrente del cavallo sulla scacchiera. Per compiere una mossa di tipo `moveNumber`, dove `moveNumber` è un valore tra 0 e 7, il vostro programma userà le istruzioni:

```

currentRow += vertical[moveNumber];
currentColumn += horizontal[moveNumber];

```

Definite un contatore che conti da 1 a 64. Registrate il valore corrente del contatore in ogni quadrato visitato dal cavallo. Ricordatevi di verificare ogni mossa potenziale per vedere se il cavallo ha già visitato quel quadrato e, naturalmente, verificate ogni mossa potenziale per assicurarvi che il cavallo non finisca fuori della scacchiera. Adesso scrivete un programma per muovere il cavallo sulla scacchiera. Eseguite il programma. Quante mosse ha fatto il cavallo?

- c) Dopo aver tentato di scrivere e far eseguire un programma del Giro del Cavallo, avete probabilmente avuto alcune preziose intuizioni. Le useremo per costruire un'*euristica* (o strategia) per muovere il cavallo. L'euristica non garantisce il successo, ma un'euristica sviluppata con attenzione ne aumenta molto la possibilità. Forse avete osservato che i quadrati esterni sono in un certo senso più fastidiosi dei quadrati più vicini al centro della scacchiera. In realtà, i quadrati più fastidiosi, o inaccessibili, sono i quattro angoli.

L'intuizione può suggerire che dovete dapprima tentare di muovere il cavallo verso i quadrati più fastidiosi e lasciare liberi quelli più facili da raggiungere, in modo che, quando la scacchiera comincia a riempirsi verso la fine del giro, ci sia una maggiore possibilità di successo.

Sviluppiamo un “euristica di accessibilità” classificando ogni quadrato in base a quanto esso sia accessibile e spostando sempre il cavallo sul quadrato (fra i movimenti a forma di L del cavallo, naturalmente) più inaccessibile. Etichettiamo un array `accessibility` bidimensionale con numeri che indicano da quanti quadrati è accessibile ogni singolo quadrato. Su una scacchiera vuota i quadrati centrali ottengono una valutazione di 8, i quadrati degli angoli una valutazione di 2 e gli altri quadrati hanno numeri di accessibilità pari a 3, 4 o 6 come segue:

2	3	4	4	4	4	3	2
3	4	6	6	6	6	4	3
4	6	8	8	8	8	6	4
4	6	8	8	8	8	6	4
4	6	8	8	8	8	6	4
4	6	8	8	8	8	6	4
3	4	6	6	6	6	4	3
2	3	4	4	4	4	3	2

Adesso scrivete una versione del programma del Giro del Cavallo usando l'euristica di accessibilità. Ad ogni passo il cavallo deve spostarsi sul quadrato con il numero di accessibilità più basso. In caso di valori equivalenti, il cavallo può spostarsi su uno qualsiasi dei quadrati con lo stesso valore. Il giro può pertanto iniziare in uno qualsiasi dei quattro angoli. [Nota: mentre il cavallo si muove sulla scacchiera, il vostro programma deve ridurre i numeri di accessibilità man mano che vengono occupati sempre più quadrati. In questo modo, a un dato momento durante il giro, il numero di accessibilità per ogni quadrato disponibile sarà esattamente uguale al numero di quadrati da cui si può raggiungere quel quadrato.] Eseguite questa versione del vostro programma. Siete riusciti a compiere un giro completo? [Facoltativo: modificate il programma per eseguire 64 giri, uno da ogni quadrato della scacchiera. Quanti giri completi siete riusciti a fare?]

- d) Scrivete una versione del programma del Giro del Cavallo che, quando incontra lo stesso valore per due o più quadrati, decida quale quadrato scegliere guardando in avanti i valori di quei quadrati raggiungibili dai quadrati con lo stesso valore. Il vostro programma deve muovere il cavallo sul quadrato per il quale il movimento successivo porta a un quadrato con il numero più basso di accessibilità.

6.25 (Giro del Cavallo: approcci a forza bruta) Nell'Esercizio 6.24 abbiamo sviluppato una soluzione per il problema del Giro del Cavallo. L'approccio usato, chiamato "euristica di accessibilità", genera molte soluzioni e opera in maniera efficiente.

Man mano che i computer continuano a crescere in potenza, potremo risolvere molti problemi grazie alla loro potenza e con algoritmi relativamente non sofisticati. Chiamiamo questo approccio alla risoluzione di problemi "a forza bruta".

- a) Usate la generazione di numeri casuali per permettere al cavallo di muoversi sulla scacchiera (nei suoi movimenti permessi a forma di L, naturalmente) a caso. Il vostro programma deve eseguire un giro e stampare la scacchiera finale. Fino a dove arriva il cavallo?
- b) Molto probabilmente, tale programma produce giri relativamente brevi. Adesso modificate il vostro programma per provare 1000 giri. Usate un array unidimensionale per tenere traccia del numero di giri per ogni lunghezza. Quando il vostro programma finisce di provare i 1000 giri, deve stampare queste informazioni in un formato tabellare. Qual è stato il migliore risultato?
- c) Molto probabilmente, il precedente programma vi ha dato alcuni giri "rispettabili", ma non giri completi. Ora "eliminate tutti gli stop" e lasciate semplicemente eseguire il programma finché non produce un ciclo completo. [Precauzione: questa versione del programma potrebbe richiedere ore su un computer potente.] Una volta ancora, tenete una tabella per registrare il numero di giri di ogni lunghezza e stampate questa tabella quando viene trovato il primo giro completo. Quanti giri ha dovuto provare il vostro programma prima di produrre un giro completo? Quanto tempo ci è voluto?
- d) Confrontate la versione a forza bruta del Giro del Cavallo con la versione che usa l'euristica di accessibilità. Quale richiede uno studio più attento del problema? Quale algoritmo è stato più difficile da sviluppare? Quale ha richiesto più potenza del computer? Potremmo essere certi (in anticipo) di ottenere un giro completo con l'approccio euristico di accessibilità? Potremmo essere certi (in anticipo) di ottenere un giro completo con l'approccio a forza bruta? Discutete i pro e i contro della risoluzione dei problemi con la forza bruta in generale.

6.26 (Otto Regine) Un altro puzzle per gli appassionati di scacchi è il problema delle Otto Regine. Viene enunciato come segue: è possibile mettere otto regine su una scacchiera vuota, in modo che nessuna regina ne “attacchi” un’altra, cioè in modo che due regine non stiano sulla stessa riga, sulla stessa colonna o lungo la stessa diagonale? Usate il genere di approccio sviluppato nell’Esercizio 6.24 per formulare un’euristica per risolvere il problema delle Otto Regine. Eseguite il vostro programma. [Suggerimento: è possibile assegnare un valore numerico a ogni quadrato della scacchiera che indica quanti quadrati di una scacchiera vuota vanno “eliminati” una volta che una regina è posizionata in quel quadrato. Ad esempio, a ognuno dei quattro angoli sarebbe assegnato il valore 22, come nella Figura 6.27.]

Una volta che questi “numeri di eliminazione” sono assegnati a tutti i 64 quadrati, un approccio euristico potrebbe essere: posizionate la successiva regina nel quadrato con il numero di eliminazione più piccolo. Perché questa strategia è intuitivamente attraente?

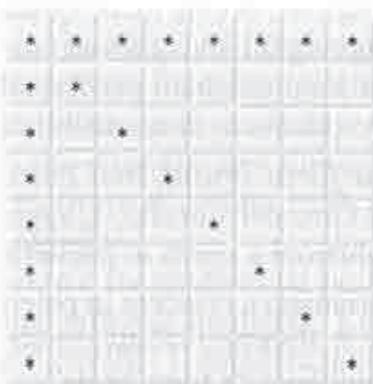


Figura 6.27 I 22 quadrati eliminati posizionando una regina nell’angolo superiore a sinistra.

6.27 (Otto Regine: approcci a forza bruta) In questo esercizio svilupperete diversi approcci a forza bruta per risolvere il problema delle Otto Regine introdotto nell’Esercizio 6.26.

- Risolvete il problema delle Otto Regine usando la tecnica casuale a forza bruta sviluppata nell’Esercizio 6.25.
- Usate una tecnica esaustiva (ossia, tentate tutte le possibili combinazioni delle otto regine sulla scacchiera).
- Perché ritenete che l’approccio esaustivo a forza bruta non possa essere appropriato per risolvere il problema delle Otto Regine?
- Mettete a confronto gli approcci a forza bruta casuali e gli approcci a forza bruta esaustivi in generale.

6.28 (Eliminazione di duplicati) Nel Capitolo 12 esploreremo la struttura di dati ad albero per la ricerca binaria ad alta velocità. Una caratteristica dell’albero di ricerca binaria è quella che i valori duplicati sono scartati quando vengono fatte inserzioni al suo interno. Questa è detta eliminazione dei duplicati. Scrivete un programma che produca 20 numeri a caso tra 1 e 20. Il programma deve memorizzare tutti i valori non duplicati nell’array. Usate l’array più piccolo possibile per eseguire questo compito.

6.29 (Giro del Cavallo: test di chiusura del giro) Nel Giro del Cavallo si ha un giro completo quando il cavallo compie 64 mosse toccando ogni quadrato della scacchiera una volta e una volta soltanto. Si ha un giro chiuso quando la 64^{ma} mossa posiziona il cavallo in una locazione lontana una mossa dalla locazione da cui ha iniziato il giro. Modificate il programma del Giro del Cavallo che avete scritto nell’Esercizio 6.24 per verificare se si è in presenza di un giro chiuso quando si ha un giro completo.

6.30 (Il Setaccio di Eratostene) Un numero primo è un intero maggiore di 1 divisibile solo per se stesso e per 1. Il Setaccio di Eratostene è un metodo per trovare i numeri primi. Esso opera come segue:

- Create un array con tutti gli elementi inizializzati a 1 (vero). Gli elementi dell'array con indici primi rimarranno con valore 1. Tutti gli altri elementi dell'array saranno alla fine posti a zero.
- Partendo dall'indice 2 dell'array (l'indice 1 non è primo), ogni volta che si trova un elemento dell'array il cui valore è 1, effettuate un'iterazione lungo il resto dell'array e ponete a zero ogni elemento il cui indice è un multiplo dell'indice dell'elemento con valore 1. Per l'indice 2 dell'array tutti gli elementi che seguono nell'array che sono multipli di 2 saranno posti a zero (quelli con gli indici 4, 6, 8, 10 e così via.). Per l'indice 3 dell'array, tutti gli elementi successivi nell'array che sono multipli di 3 saranno posti a zero (quelli con indici 6, 9, 12, 15 e così via.).

Al termine di questo processo, gli elementi dell'array che hanno ancora il valore 1 indicano che l'indice corrispondente è un numero primo. Scrivete un programma che usi un array di 1000 elementi per trovare e stampare i numeri primi tra 1 e 999. Ignorate l'elemento 0 dell'array.

Esercizi sulla ricorsione

6.31 (Palindromi) Un palindromo è una stringa che si scrive e si legge allo stesso modo in avanti e all'indietro. Alcuni esempi di palindromi sono: "radar", "able was i ere i saw elba" e, se ignorate gli spazi, "a man a plan a canal panama". Scrivete una funzione ricorsiva `testPalindrome` che restituisca 1 se la stringa memorizzata in un array è un palindromo e altrimenti 0. La funzione deve ignorare gli spazi e la punteggiatura nella stringa.

6.32 (Ricerca lineare) Modificate il programma della Figura 6.18 in modo da usare una funzione ricorsiva `linearSearch` per eseguire la ricerca lineare in un array. La funzione deve ricevere come argomenti un array intero, la dimensione dell'array e la chiave di ricerca. Se viene trovata la chiave di ricerca, essa deve restituire l'indice corrispondente dell'array, altrimenti -1.

6.33 (Ricerca binaria) Modificate il programma della Figura 6.19 in modo da usare una funzione ricorsiva `binarySearch` per eseguire la ricerca binaria in un array. La funzione deve ricevere come argomenti un array intero, gli indici di partenza e di fine dell'intervallo da considerare e la chiave di ricerca. Se viene trovata la chiave di ricerca, fate restituire l'indice corrispondente dell'array, altrimenti -1.

6.34 (Otto Regine) Modificate il programma delle Otto Regine che avete sviluppato nell'Esercizio 6.26 per risolvere il problema in maniera ricorsiva.

6.35 (Stampare un array) Scrivete una funzione ricorsiva `printArray` che riceva come argomenti un array e la dimensione dell'array, stampi l'array e non restituisca niente. La funzione deve arrestare l'elaborazione e tornare alla funzione chiamante quando essa riceve un array di dimensione zero.

6.36 (Stampare una stringa all'indietro) Scrivete una funzione ricorsiva `stringReverse` che riceva un array di caratteri come argomento, lo stampi all'indietro e non restituisca niente. La funzione deve arrestare l'elaborazione e tornare alla funzione chiamante quando incontra il carattere nullo di terminazione della stringa.

6.37 (Trovare il valore minimo in un array) Scrivete una funzione ricorsiva `recursiveMinimum` che riceva come argomenti un array intero e la dimensione dell'array e restituisca l'elemento più piccolo dell'array. La funzione deve arrestare l'elaborazione e tornare alla funzione chiamante quando riceve un array di un solo elemento.



OBIETTIVI

- Usare i puntatori e gli operatori per i puntatori.
- Usare i puntatori per passare gli argomenti per riferimento alle funzioni.
- Comprendere le varie collocazioni del qualificatore `const` e il modo in cui influiscono su ciò che è possibile fare con una variabile.
- Usare l'operatore `sizeof` con variabili e tipi.
- Usare l'aritmetica dei puntatori per elaborare gli elementi negli array.
- Comprendere le strette relazioni tra puntatori, array e stringhe.
- Definire e usare array di stringhe.
- Usare i puntatori a funzioni.
- Approfondire le questioni riguardanti la programmazione sicura in C relativamente ai puntatori.

7.1 Introduzione

In questo capitolo analizzeremo uno dei costrutti più potenti del linguaggio di programmazione C, il **puntatore**.¹ I puntatori fanno parte delle funzionalità del C più difficili da padroneggiare. Essi permettono ai programmi di realizzare il passaggio per riferimento, di passare le funzioni a funzioni e di creare e manipolare strutture dinamiche di dati, ossia quelle che possono crescere e contrarsi al momento dell'esecuzione, come liste collegate, code, pile e alberi. Questo capitolo spiegherà i concetti fondamentali sui puntatori. Nel Paragrafo 7.13 discuteremo varie questioni di sicurezza legate ai puntatori. Il Capitolo 10 esaminerà l'utilizzo di puntatori con le strutture. Il Capitolo 12 introdurrà le tecniche dinamiche di gestione della memoria e presenterà alcuni esempi su come creare e usare le strutture dinamiche di dati.

¹ I puntatori e le entità basate sui puntatori, come gli array e le stringhe, quando sono adoperati male, intenzionalmente o accidentalmente, possono portare a errori e a violazioni della sicurezza. Consultate il nostro Resource Center all'indirizzo www.deitel.com/SecureC/ per articoli, libri, white paper e forum su questo importante argomento.

7.2 Definizione e inizializzazione di variabili puntatore

I puntatori sono variabili i cui valori sono *indirizzi di memoria*. Normalmente, una variabile contiene direttamente un valore specifico. Un puntatore, tuttavia, contiene un *indirizzo* di una variabile che contiene un valore specifico. In questo senso, il nome di una variabile fa *direttamente* riferimento a un valore, mentre un puntatore fa *indirettamente* riferimento a un valore (Figura 7.1). Far riferimento a un valore per mezzo di un puntatore si dice *indirezione*.

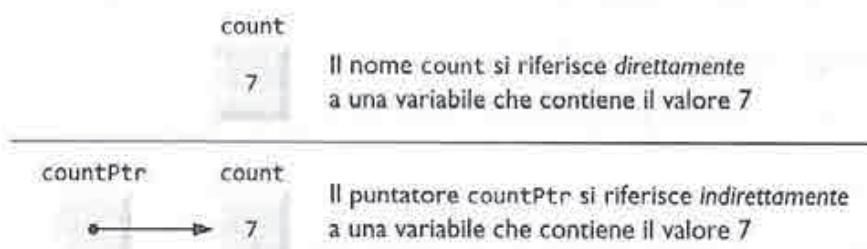


Figura 7.1 Riferimento diretto e indiretto a una variabile.

Dichiarare i puntatori

I puntatori, come tutte le variabili, devono essere definiti prima di essere utilizzati. La definizione

```
int *countPtr, count;
```

specificata che la variabile `countPtr` è del tipo `int *` (cioè un puntatore a un intero) e si legge (da destra a sinistra) “`countPtr` è un puntatore a un `int`” oppure “`countPtr` punta a un oggetto² di tipo `int`”. Inoltre, la variabile `count` è definita di tipo `int`, *non* come un puntatore a un `int`. Il simbolo `*` si applica nella definizione *solo* a `countPtr`. Quando il simbolo `*` è usato in questo modo in una definizione, indica che la variabile che viene definita è un puntatore. I puntatori possono essere definiti per puntare a oggetti di qualsiasi tipo. Per evitare l’ambiguità che si crea dichiarando nella stessa dichiarazione le variabili puntatore e non puntatore, come mostrato in precedenza, è opportuno dichiarare sempre soltanto una variabile per dichiarazione.



Errore comune di programmazione 7.1

La notazione con l’asterisco (*) usata per dichiarare le variabili puntatore non viene distribuita a tutti i nomi delle variabili in una dichiarazione. Ogni puntatore deve essere dichiarato con il simbolo * prefissato al nome; ad esempio, se desiderate dichiarare `xPtr` e `yPtr` come puntatori a oggetti di tipo `int`, usate `int *xPtr, *yPtr;`.



Buona pratica di programmazione 7.1

È preferibile includere le lettere `Ptr` nei nomi delle variabili puntatore per rendere chiaro che queste variabili sono puntatori e di conseguenza devono essere trattate adeguatamente.

² In C, un “oggetto” è un’area di memoria che può contenere un valore. Pertanto gli oggetti in C includono tipi primitivi come `int`, `float`, `char` e `double`, così come tipi aggregati come `array` e `struct` (che esamineremo nel Capitolo 10).

Inizializzare e assegnare valori ai puntatori

I puntatori devono essere inizializzati quando sono definiti, oppure assegnando loro un valore. Un puntatore può essere inizializzato a `NULL`, `0` o a un indirizzo. Un puntatore con il valore `NULL` non punta a *niente*. `NULL` è una *costante simbolica* definita nell'intestazione `<stddef.h>` (e in diverse altre intestazioni, come `<stdio.h>`). Inizializzare un puntatore a `0` equivale a inizializzare un puntatore a `NULL`, ma `NULL` è preferibile, poiché evidenzia il fatto che la variabile è di un tipo puntatore. Quando si assegna `0`, questo viene prima convertito a un puntatore del tipo appropriato. Il valore `0` è l'*unico* valore intero che si può assegnare direttamente a una variabile puntatore. L'assegnazione di un indirizzo di variabile a un puntatore sarà esaminata nel Paragrafo 7.3.



Prevenzione di errori 7.1

Inizializzate i puntatori per prevenire risultati inaspettati.

7.3 Operatori per i puntatori

In questo paragrafo presentiamo gli operatori di indirizzo (`&`) e di indirezione (`*`), e la relazione che intercorre tra essi.

Operatore di indirizzo `&`

L'operatore di indirizzo `&` è un operatore unario che restituisce l'*indirizzo* del suo operando. Ad esempio, presupponendo le definizioni

```
int y = 5;
int *yPtr;
```

l'istruzione

```
yPtr = &y;
```

assegna l'*indirizzo* della variabile `y` alla variabile puntatore `yPtr`. Si dice pertanto che la variabile `yPtr` "punta a" `y`. La Figura 7.2 mostra una rappresentazione schematica della memoria dopo l'esecuzione dell'assegnazione precedente.



Figura 7.2 Rappresentazione grafica di un puntatore che punta a una variabile intera in memoria.

Rappresentazione di un puntatore in memoria

La Figura 7.3 mostra la rappresentazione del puntatore precedente in memoria, supponendo che la variabile intera `y` sia memorizzata alla locazione `600000` e che la variabile puntatore `yPtr` sia memorizzata alla locazione `500000`. L'operando dell'operatore di indirizzo deve essere una variabile; l'operatore di indirizzo *non può* essere applicato a costanti o a espressioni.



Figura 7.3 Rappresentazione di `y` e `yPtr` in memoria.

Operatore di indirezione *

L'operatore unario *, comunemente detto operatore di indirezione o operatore di dereferenziazione, restituisce il valore dell'oggetto al quale punta il suo operando (un puntatore). Ad esempio, l'istruzione

```
printf("%d", *yPtr);
```

stampa il valore della variabile y, cioè 5. Usare l'operatore * in questo modo equivale a dereferenziare un puntatore.



Errore comune di programmazione 7.2

Dereferenziare un puntatore che non è stato correttamente inizializzato o a cui non è stato assegnato l'indirizzo di una specifica locazione di memoria è un errore. Ciò potrebbe determinare un errore irreversibile in fase di esecuzione o potrebbe causare la modifica accidentale di dati importanti, permettendo al programma di completare l'esecuzione con risultati scorretti.

Come funzionano gli operatori & e *

La Figura 7.4 illustra l'uso degli operatori & e *. Lo specifikatore di conversione %p di printf invia in uscita la locazione di memoria come un intero esadecimale sulla maggior parte delle piattaforme (si veda l'Appendice C per maggiori informazioni sugli interi esadecimali). Nell'output del programma, notate che l'indirizzo di a e il valore di aPtr sono identici nell'output, confermando così che l'indirizzo di a è davvero assegnato alla variabile puntatore aPtr (riga 8). Gli operatori & e * sono l'uno il complemento dell'altro: quando entrambi sono applicati consecutivamente ad aPtr in un ordine o nell'altro (riga 18), viene stampato lo stesso risultato. Gli indirizzi mostrati nell'output varieranno a seconda del sistema. La Figura 7.5 elenca la precedenza e l'associatività degli operatori introdotti fino a questo punto.

```

1 // Fig. 7.4: fig07_04.c
2 // Uso degli operatori & e *.
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     int a = 7;
8     int *aPtr = &a; // imposta aPtr all'indirizzo di a
9
10    printf("The address of a is %p"
11          "\n\tThe value of aPtr is %p", &a, aPtr);
12
13    printf("\n\nThe value of a is %d"
14          "\n\tThe value of *aPtr is %d", a, *aPtr);
15
16    printf("\n\nShowing that * and & are complements of "
17          "each other\n&*aPtr = %p"
18          "\n\t*(&aPtr) = %p\n", &*aPtr, *(&aPtr));
19 }
```

```
The address of a is 0028FEC0
The value of aPtr is 0028FEC0
The value of a is 7
The value of *aPtr is 7
Showing that * and & are complements of each other
&*aPtr = 0028FEC0
*&aPtr = 0028FEC0
```

Figura 7.4 Uso degli operatori & e *.

Operatori	Associatività	Tipo
() [] ++ (postfisso) -- (postfisso)	da sinistra a destra	postfisso
+ - ++ -- ! * & (tipo)	da destra a sinistra	unario
* / %	da sinistra a destra	moltiplicativo
+ -	da sinistra a destra	additivo
< <= > >=	da sinistra a destra	relazionale
== !=	da sinistra a destra	di uguaglianza
&&	da sinistra a destra	AND logico
	da sinistra a destra	OR logico
? :	da destra a sinistra	condizionale
= += -= *= /= %=	da destra a sinistra	di assegnazione
,	da sinistra a destra	virgola

Figura 7.5 Precedenza e associatività degli operatori discussi fin qui.

7.4 Passare argomenti a funzioni per riferimento

Vi sono due modi di passare argomenti a una funzione: **per valore** e **per riferimento**. Tutti gli argomenti in C sono passati per valore. Le funzioni spesso richiedono di poter modificare le variabili nella funzione chiamante o che venga passato un puntatore a un oggetto contenente grandi quantità di dati per evitare il sovraccarico causato dal passaggio dell'oggetto per valore (che comporta un consumo di tempo e di memoria per fare una copia dell'oggetto). Come abbiamo visto nel Capitolo 5, `return` si può usare per restituire un valore da una funzione chiamata a una chiamante (o per restituire il controllo da una funzione chiamata senza passare indietro un valore). È anche possibile usare un passaggio per riferimento per consentire a una funzione di “restituire” più valori alla sua funzione chiamante modificando variabili nella funzione chiamante.

Usare & e * per realizzare il passaggio per riferimento

In C si usano i puntatori e l'operatore di indirezione per *realizzare* il passaggio per riferimento. Quando si chiama una funzione con argomenti che devono essere modificati, vengono passati gli indirizzi degli argomenti. Ciò si realizza applicando l'operatore di indirizzo (&) alla variabile (nella funzione chiamante) il cui valore sarà modificato. Come abbiamo visto nel Capitolo 6, gli array non vengono passati usando l'operatore &, perché il C passa automaticamente la locazione iniziale nella memoria dell'array (il nome di un array è equivalente a `&arrayName[0]`). Quando l'indirizzo di una variabile viene passato a una funzione, si può usare nella funzione l'operatore di indirezione (*) per modificare il valore in quella locazione nella memoria della funzione chiamante.

Passaggio per valore

I programmi nelle Figure 7.6 e 7.7 presentano due versioni di una funzione che eleva al cubo un intero: `cubeByValue` e `cubeByReference`. Nella riga 14 della Figura 7.6, la funzione `main` passa per valore la variabile `number` alla funzione `cubeByValue`. La funzione `cubeByValue` eleva al cubo il suo argomento e passa il nuovo valore indietro a `main` usando un'istruzione `return`. Il nuovo valore è assegnato a `number` in `main` (riga 14).

```

1 // Fig. 7.6: fig07_06.c
2 // Eleva al cubo una variabile usando il passaggio per valore.
3 #include <stdio.h>
4
5 int cubeByValue(int n); // prototipo
6
7 int main(void)
8 {
9     int number = 5; // inizializza number
10
11    printf("The original value of number is %d", number);
12
13    // passa number per valore a cubeByValue
14    number = cubeByValue(number);
15
16    printf("\n\nThe new value of number is %d\n", number);
17 }
18
19 // calcola e restituisci il cubo di un argomento intero
20 int cubeByValue(int n)
21 {
22     return n * n * n; // restituisci il cubo di n
23 }
```

The original value of number is 5

The new value of number is 125

Figura 7.6 Calcolo del cubo di una variabile usando il passaggio per valore.

Passaggio per riferimento

Nella Figura 7.7 la funzione `main` passa la variabile `number` per riferimento (riga 15) – viene passato l'indirizzo di `number` – alla funzione `cubeByReference`. La funzione `cubeByReference` riceve come parametro un puntatore a un `int` chiamato `nPtr` (riga 21): la funzione *dereferenzia* il puntatore ed eleva al cubo il valore al quale punta `nPtr` (riga 23), quindi assegna il risultato a `*nPtr` (che è in realtà `number` in `main`), cambiando così il valore di `number` in `main`. Le Figure 7.8 e 7.9 analizzano graficamente passo per passo i programmi, rispettivamente, delle Figure 7.6 e 7.7.

```

1 // Fig. 7.7: fig07_07.c
2 // Eleva al cubo una variabile usando il passaggio per riferimento.
3
4 #include <stdio.h>
5
6 void cubeByReference(int *nPtr); // prototipo di funzione
7
```

```

8 int main(void)
9 {
10     int number = 5; // inizializza number
11
12     printf("The original value of number is %d", number);
13
14     // passa l'indirizzo di number a cubeByReference
15     cubeByReference(&number);
16
17     printf("\n\nThe new value of number is %d\n", number);
18 }
19
20 // eleva al cubo *nPtr; di fatto modifica number in main
21 void cubeByReference(int *nPtr)
22 {
23     *nPtr = *nPtr * *nPtr * *nPtr; // calcola il cubo di *nPtr
24 }
```

The original value of number is 5
 The new value of number is 125

Figura 7.7 Calcolo del cubo di una variabile usando il passaggio per riferimento con argomento puntatore.

Usare un parametro puntatore per ricevere un indirizzo

Una funzione che riceve un *indirizzo* come argomento deve essere definita con un *parametro puntatore* per ricevere l'*indirizzo*. Ad esempio, nella Figura 7.7 l'intestazione per la funzione *cubeByReference* (riga 21) è

```
void cubeByReference(int *nPtr)
```

L'intestazione specifica che *cubeByreference* *riceve l'indirizzo* di una variabile intera come argomento, memorizza l'*indirizzo* localmente in *nPtr* e non restituisce alcun valore.

Parametri puntatore nei prototipi di funzione

Il prototipo di funzione per *cubeByReference* (Figura 7.7, riga 6) specifica un parametro *int **. Come con altri tipi di variabili, *non* è necessario includere i nomi dei puntatori nei prototipi di funzione. I nomi inclusi per fini di documentazione sono ignorati dal compilatore C.

Funzioni che ricevono array unidimensionali

Per una funzione che si aspetta come argomento un array unidimensionale, il prototipo e l'intestazione della funzione possono usare la notazione usata per i puntatori mostrata nella lista dei parametri della funzione *cubeByReference* (riga 21). Il compilatore non distingue tra una funzione che riceve un puntatore e una che riceve un array unidimensionale. Ciò, naturalmente, significa che la funzione deve “sapere” quando riceve un array o semplicemente una variabile singola per la quale si sta eseguendo il passaggio per riferimento. Quando il compilatore incontra un parametro di funzione per un array unidimensionale della forma *int b[]*, il compilatore converte il parametro nella notazione per i puntatori *int *b*. Le due forme sono intercambiabili.

Passo 1: prima che main chiami cubeByValue:

```
int main(void)
{
    int number = 5;
    number = cubeByValue(number);
}
```

number
5

```
int cubeByValue(int n)
{
    return n * n * n;
}
```

n
indefinito

Passo 2: dopo che cubeByValue ha ricevuto la chiamata:

```
int main(void)
{
    int number = 5;
    number = cubeByValue(number);
}
```

number
5

```
int cubeByValue( int n )
{
    return n * n * n;
}
```

n
5

Passo 3: dopo che cubeByValue ha elevato al cubo il parametro n e prima che cubeByValue torni alla funzione main:

```
int main(void)
{
    int number = 5;
    number = cubeByValue(number);
}
```

number
5

```
int cubeByValue(int n)
{
    125
    return n * n * n;
}
```

n
5

Passo 4: dopo che cubeByValue è tornata alla funzione main e prima che si assegni il risultato a number:

```
int main(void)
{
    int number = 5;
    125
    number = cubeByValue(number);
}
```

number
5

```
int cubeByValue(int n)
{
    return n * n * n;
}
```

n
indefinito

Passo 5: dopo che main ha completato l'assegnazione a number:

```
int main(void)
{
    int number = 5;
    125
    125
    number = cubeByValue(number);
}
```

number
125

```
int cubeByValue(int n)
{
    return n * n * n;
}
```

n
indefinito

Figura 7.8 Analisi di un tipico passaggio per valore.

Passo 1: prima che main chiami cubeByReference:

```
int main(void)
{
    int number = 5;
    cubeByReference(&number);
}
```

number
5

```
void cubeByReference(int *nPtr)
{
    *nPtr = *nPtr * *nPtr * *nPtr;
}
```

nPtr
indefinito

Passo 2: dopo che cubeByReference ha ricevuto la chiamata e prima che *nPtr sia elevato al cubo:

```
int main(void)
{
    int number = 5;
    cubeByReference(&number);
}
```

number
5

```
void cubeByReference( int *nPtr )
{
    *nPtr = *nPtr * *nPtr * *nPtr;
}
```

nPtr
la chiamata imposta questo puntatore

Passo 3: dopo che *nPtr è stato elevato al cubo e prima che il controllo del programma torni alla funzione main:

```
int main(void)
{
    int number = 5;
    cubeByReference(&number);
}
```

number
125

```
void cubeByReference(int *nPtr)
{
    *nPtr = *nPtr * *nPtr * *nPtr;
}
```

nPtr
la funzione chiamata modifica la
variabile della funzione chiamante

Figura 7.9 Analisi di un tipico passaggio per riferimento con un argomento puntatore.



Prevenzione di errori 7.2

Usate il passaggio per valore per passare argomenti a una funzione, a meno che la funzione chiamante non necessiti esplicitamente che la funzione chiamata modifichi il valore della variabile dell'argomento nell'ambiente della stessa funzione chiamante. Ciò previene la modifica accidentale degli argomenti passati dalla funzione chiamante e costituisce inoltre un ulteriore esempio del principio del privilegio minimo.

7.5 Uso del qualificatore `const` con i puntatori

Il qualificatore `const` permette di informare il compilatore che il valore di una particolare variabile non deve essere modificato.



Osservazione di ingegneria del software 7.1

Il qualificatore `const` può essere usato per applicare il principio del privilegio minimo nella progettazione del software. Ciò può ridurre il tempo di debugging e gli effetti secondari indesiderati, rendendo un programma più facile da modificare e da mantenere.

Nel corso degli anni è stata scritta una grande quantità di codice vecchio stile o cosiddetto legacy (letteralmente “ereditato”) secondo le prime versioni del C che non usavano `const` perché non era disponibile. Per questo motivo esistono importanti opportunità di miglioramento tramite reingegnerizzazione del vecchio codice C.

Esistono sei possibilità di usare (o non usare) `const` con i parametri di funzione: due con il passaggio dei parametri per valore e quattro con il passaggio dei paramenti per riferimento. Come scegliere una delle sei? Lasciatevi guidare dal principio del privilegio minimo. Date sempre a una funzione un accesso ai dati nei suoi parametri sufficiente per portare a termine il suo compito specifico, ma assolutamente null’altro.

Valori e parametri costanti

Nel Capitolo 5 abbiamo spiegato che *in C tutte le chiamate di funzione ricevono passaggi di parametri per valore*: viene effettuata e passata alla funzione una copia dell’argomento nella chiamata della funzione. Se la copia viene modificata nella funzione, il valore originario nella funzione chiamante *non cambia*. In molti casi, un valore passato a una funzione viene modificato affinché la funzione possa eseguire il suo compito. Tuttavia, in alcuni casi, il valore *non* deve essere alterato nella funzione chiamata, anche se questa manipola soltanto una *copia* del valore originario.

Considerate una funzione che riceve un array con singolo indice e la sua dimensione come argomenti e stampa l’array. Una tale funzione deve effettuare un ciclo lungo l’array e inviare in uscita ogni elemento dell’array individualmente. La dimensione dell’array viene usata nel corpo della funzione per determinare quando il ciclo dovrebbe terminare. Né la dimensione dell’array né i suoi contenuti devono cambiare nel corpo della funzione.



Prevenzione di errori 7.3

Se una variabile non cambia (o non deve cambiare) nel corpo di una funzione alla quale viene passata, la variabile va dichiarata `const` per assicurarsi che non venga modificata accidentalmente.

Se si cerca di modificare un valore dichiarato `const`, il compilatore lo rileva ed emette un messaggio o di avvertimento o di errore, a seconda del particolare compilatore.



Errore comune di programmazione 7.3

Ignorare che una funzione si aspetta dei puntatori come argomenti per il passaggio per riferimento e passare gli argomenti per valore. Alcuni compilatori presumono che i valori siano puntatori e li dereferenziano come tali. Al momento dell’esecuzione si generano spesso violazioni di accesso alla memoria o anomalie legate a problemi di segmentazione. Altri compilatori rilevano la mancata corrispondenza di tipo tra argomenti e parametri e generano messaggi di errore.

Vi sono quattro modi per passare un puntatore a una funzione:

- un puntatore non costante a dati non costanti,
- un puntatore costante a dati non costanti,
- un puntatore non costante a dati costanti e
- un puntatore costante a dati costanti.

Ciascuna delle quattro combinazioni concede differenti privilegi d’accesso che saranno esaminati nei prossimi vari esempi.

7.5.1 Conversione di una stringa in maiuscolo usando un puntatore non costante a dati non costanti

Il livello più alto di accesso ai dati è concesso da un puntatore non costante a dati non costanti. In questo caso, i dati possono essere modificati per mezzo del puntatore dereferenziato e il puntatore può essere modificato per puntare ad altri dati. Una dichiarazione per un puntatore non costante a dati non costanti non include `const`. Un puntatore di questo genere può essere usato per ricevere una stringa come argomento a una funzione che elabora (e possibilmente modifica) ogni carattere nella stringa. La funzione `convertToUppercase` della Figura 7.10 dichiara il suo parametro, un *puntatore non costante a dati non costanti* chiamato `sPtr` (`char *sPtr`), nella riga 19. La funzione elabora l'array `string` (puntato da `sPtr`) un carattere alla volta. La funzione `toupper` (riga 22) dichiarata nel file di intestazione `<ctype.h>` della Libreria Standard del C è chiamata per convertire ogni carattere nel formato maiuscolo corrispondente. Se il carattere originario non è una lettera o è già in maiuscolo, `toupper` restituisce il carattere originario. La riga 23 muove il puntatore al carattere successivo nella stringa. Il Capitolo 8 presenta molte funzioni per l'elaborazione di caratteri e stringhe della Libreria Standard del C.

```

1 // Fig. 7.10: fig07_10.c
2 // Conversione di una stringa in maiuscolo usando un
3 // puntatore non costante a dati non costanti.
4 #include <stdio.h>
5 #include <ctype.h>
6
7 void convertToUppercase(char *sPtr); // prototipo
8
9 int main(void)
10 {
11     char string[] = "cHaRaCters and $32.98"; // inizializza l'array
12
13     printf("The string before conversion is: %s", string);
14     convertToUppercase(string);
15     printf("\nThe string after conversion is: %s\n", string);
16 }
17
18 // converti la stringa in lettere maiuscole
19 void convertToUppercase(char *sPtr)
20 {
21     while (*sPtr != '\0') { // il carattere corrente non e' '\0'
22         *sPtr = toupper(*sPtr); // converti in maiuscolo
23         ++sPtr; // fai puntare sPtr al carattere successivo
24     }
25 }
```

```
The string before conversion is: cHaRaCters and $32.98
The string after conversion is: CHARACTERS AND $32.98
```

Figura 7.10 Conversione di una stringa in maiuscolo usando un puntatore non costante a dati non costanti.

7.5.2 Stampa di una stringa un carattere alla volta usando un puntatore non costante a dati costanti

Un puntatore non costante a dati costanti può essere modificato per puntare a un elemento qualunque di dati del tipo appropriato, ma i dati a cui punta non possono essere modificati. Un tale puntatore potrebbe essere usato per passare un array come argomento a una funzione che elabora ogni elemento senza modificare i dati. Ad esempio, la funzione `printCharacters` (Figura 7.11) dichiara il parametro `sPtr` di tipo `const char *` (riga 21). La dichiarazione va letta da destra a sinistra come “`sPtr` è un puntatore a un carattere costante”. La funzione usa un’istruzione `for` per inviare in uscita ogni carattere nella stringa finché non incontra il carattere nullo. Dopo la stampa di ogni carattere, il puntatore `sPtr` è incrementato, e questo fa sì che il puntatore si sposti al carattere successivo nella stringa.

```

1 // Fig. 7.11: fig07_11.c
2 // Stampa di una stringa un carattere alla volta usando
3 // un puntatore non costante a dati costanti.
4
5 #include <stdio.h>
6
7 void printCharacters(const char *sPtr);
8
9 int main(void)
10 {
11     // inizializza l'array di caratteri
12     char string[] = "print characters of a string";
13
14     puts("The string is:");
15     printCharacters(string);
16     puts("");
17 }
18
19 // sPtr non puo' modificare il carattere al quale punta,
20 // cioe', sPtr e' un puntatore di "sola lettura"
21 void printCharacters(const char *sPtr)
22 {
23     // effettua un ciclo lungo l'intera stringa
24     for (; *sPtr != '\0'; ++sPtr) { // nessuna inizializzazione
25         printf("%c", *sPtr);
26     }
27 }
```

The string is:
print characters of a string

Figura 7.11 Stampa di una stringa un carattere alla volta usando un puntatore non costante a dati costanti.

La Figura 7.12 illustra il tentativo di compilare una funzione che riceve un puntatore non costante (`xPtr`) a dati costanti. Questa funzione tenta di modificare i dati puntati da `xPtr` nella riga 18, il che produce un errore di compilazione. Il particolare messaggio di errore che ricevete (in questo e in altri esempi) dipende dal compilatore. L’errore mostrato di seguito proviene dal compilatore Visual C++.

```

1 // Fig. 7.12: fig07_12.c
2 // Tentativo di modifica di dati con un
3 // puntatore non costante a dati costanti.
4 #include <stdio.h>
5 void f(const int *xPtr); // prototipo
6
7 int main(void)
8 {
9     int y; // definisci y
10    f(&y); // f tenta una modifica non permessa
11 }
12
13 // xPtr non puo' essere usato per modificare il
14 // valore della variabile alla quale punta
15 void f(const int *xPtr)
16 {
17     *xPtr = 100; // errore: non si puo' modificare un oggetto const
18 }
19

```

error C2166: l-value specifies const object

Figura 7.12 Tentativo di modifica di dati con un puntatore non costante a dati costanti.

Com'è noto, gli array sono tipi di dati aggregati che memorizzano elementi correlati dello stesso tipo sotto un solo nome. Nel Capitolo 10 esamineremo un'altra forma di tipo di dati aggregati chiamata **struttura** (talvolta chiamata **record** o **tupla** in altri linguaggi). Una struttura è in grado di memorizzare elementi di dati correlati dello stesso tipo di dati o di tipi *differenti* sotto un unico nome (es. memorizzare informazioni relative a ciascun impiegato di un'azienda). Quando una funzione è chiamata con un array come argomento, l'array viene automaticamente passato alla funzione *per riferimento*. Al contrario, le strutture vengono sempre passate per valore (viene passata una *copia* dell'intera struttura). Ciò richiede ulteriore tempo di esecuzione (overhead) per fare una copia di ogni elemento dei dati nella struttura e per memorizzarla nella *pila delle chiamate di funzione* del computer. Quando i dati di una struttura devono essere passati a una funzione, possiamo usare puntatori a dati costanti per ottenere le prestazioni del passaggio per riferimento e la protezione del passaggio per valore. Quando viene passato a una funzione un puntatore a una struttura, si deve fare soltanto una copia dell'*indirizzo* nel quale la struttura è memorizzata. Su una macchina con indirizzi a quattro byte viene fatta una copia di quattro byte di memoria invece che una copia di una struttura presumibilmente grande.



Prestazioni 7.1

Quando passate a funzioni oggetti di grandi dimensioni, come le strutture, utilizzate puntatori a dati costanti in modo da ottenere i benefici in termini di prestazioni del passaggio per riferimento e la sicurezza del passaggio per valore.

Se la memoria è poca e l'efficienza dell'esecuzione è un problema, usate i puntatori. Se la memoria è molta e l'efficienza non è un grosso problema, passate i dati per valore per applicare il principio del privilegio minimo. Ricordate che alcuni sistemi non applicano bene il qualificatore **const**, per cui il passaggio per valore è ancora il modo migliore per evitare che i dati vengano modificati.

7.5.3 Tentativo di modificare un puntatore costante a dati non costanti

Un puntatore costante a dati non costanti punta sempre alla stessa locazione di memoria e i dati in quella locazione *possono essere modificati* per mezzo del puntatore. Questa è la preimpostazione per il nome di un array. Il nome di un array è un puntatore costante all'inizio dell'array. È possibile accedere a tutti i dati nell'array e modificarli usando il nome e l'indice dell'array, ed è possibile usare un puntatore costante a dati non costanti per passare un array come argomento a una funzione che accede agli elementi dell'array usando solo la notazione con indice. I puntatori che sono dichiarati `const` devono essere inizializzati quando sono definiti (se il puntatore è il parametro di una funzione, è inizializzato con un puntatore che viene passato alla funzione). Il programma della Figura 7.13 tenta di modificare un puntatore costante. Il puntatore `ptr` è definito nella riga 12 di tipo `int * const`. La definizione è letta *da destra a sinistra* come “`ptr` è una costante che punta a un intero”. Il puntatore è inizializzato (riga 12) con l'indirizzo della variabile intera `x`. Il programma tenta di assegnare l'indirizzo di `y` a `ptr` (riga 15), ma il compilatore genera un messaggio di errore.

```

1 // Fig. 7.13: fig07_13.c
2 // Tentativo di modificare un puntatore costante a dati non costanti.
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     int x; // definisci x
8     int y; // definisci y
9
10    // ptr e' un puntatore costante a un intero che puo' essere
11    // modificato tramite ptr
12    int * const ptr = &x;
13
14    *ptr = 7; // permesso: *ptr non e' const
15    ptr = &y; // errore: ptr e' const
16 }
```

c:\examples\ch07\fig07_13.c(15) : error C2166: l-value specifies const object

Figura 7.13 Tentativo di modificare un puntatore costante a dati non costanti.

7.5.4 Tentativo di modificare un puntatore costante a dati costanti

Il privilegio di accesso *più basso* è quello concesso da un puntatore costante a dati costanti. Un tale puntatore punta sempre alla *stessa* locazione di memoria e i dati in quella locazione di memoria *non possono essere modificati*. Questo è il modo in cui un array deve essere passato a una funzione che legge soltanto l'array usando la notazione con indice e *non* lo modifica. La Figura 7.14 definisce la variabile `ptr` (riga 13) di tipo `const int *const`, che si legge *da destra a sinistra* come “`ptr` è una costante che punta a un intero costante”. La figura mostra il messaggio di errore generato quando si tenta di *modificare i dati* ai quali punta `ptr` (riga 16) e quando si tenta di *modificare l'indirizzo* memorizzato nella variabile puntatore (riga 17).

```

1 // Fig. 7.14: fig07_14.c
2 // Tentativo di modificare un puntatore costante a dati costanti.
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     int x = 5; // inizializza x
8     int y; // definisci y
9
10    // ptr e' un puntatore costante a un intero costante. ptr
11    // punta sempre alla stessa locazione; l'intero in quella locazione
12    // non puo' essere modificato
13    const int *const ptr = &x; // l'inizializzazione e' OK
14
15    printf("%d\n", *ptr);
16    *ptr = 7; // errore: *ptr e' const;
17    ptr = &y; // errore: ptr e' const;
18 }

```

```
c:\examples\ch07\fig07_14.c(16) : error C2166: l-value specifies const object
c:\examples\ch07\fig07_14.c(17) : error C2166: l-value specifies const object
```

Figura 7.14 Tentativo di modificare un puntatore costante a dati costanti.

7.6 Bubble sort³ che utilizza il passaggio per riferimento

Miglioriamo il programma per il bubble sort della Figura 6.15 con l'uso di due funzioni, bubbleSort e swap (Figura 7.15). La funzione bubbleSort ordina l'array e chiama la funzione swap (riga 46) per scambiare tra loro gli elementi array[j] e array[j + 1].

```

1 // Fig. 7.15: fig07_15.c
2 // Inserimento di valori in un array, ordinamento dei valori in
3 // ordine crescente e stampa dell'array risultante.
4 #include <stdio.h>
5 #define SIZE 10
6
7 void bubbleSort(int * const array, size_t size); // prototipo
8
9 int main(void)
10 {
11     // inizializza l'array a
12     int a[SIZE] = { 2, 6, 4, 8, 10, 12, 89, 68, 45, 37 };
13
14     puts("Data items in original order");
15
16     // effettua un ciclo lungo l'array a

```

³ Nel Capitolo 12 e nell'Appendice D esaminiamo gli schemi di ordinamento che producono le prestazioni migliori.

```
17    for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
18        printf("%4d", a[i]);
19    }
20
21    bubbleSort(a, SIZE); // ordina l'array
22
23    puts("\nData items in ascending order");
24
25    // effettua un ciclo lungo l'array a
26    for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
27        printf("%4d", a[i]);
28    }
29
30    puts("");
31 }
32
33 // ordina un array di interi usando l'algoritmo bubble sort
34 void bubbleSort(int * const array, const size_t size)
35 {
36     void swap(int *element1Ptr, int *element2Ptr); // prototipo
37
38     // ciclo di controllo delle iterazioni
39     for (unsigned int pass = 0; pass < size - 1; ++pass) {
40
41         // ciclo di controllo dei confronti durante ogni iterazione
42         for (size_t j = 0; j < size - 1; ++j) {
43
44             // scambia gli elementi adiacenti se non sono in ordine
45             if (array[j] > array[j + 1]) {
46                 swap(&array[j], &array[j + 1]);
47             }
48         }
49     }
50 }
51
52 // scambia i valori delle locazioni di memoria alle quali element1Ptr
53 // ed element2Ptr rispettivamente puntano
54 void swap(int *element1Ptr, int *element2Ptr)
55 {
56     int hold = *element1Ptr;
57     *element1Ptr = *element2Ptr;
58     *element2Ptr = hold;
59 }
```

```
Data items in original order
 2  6  4  8 10 12 89 68 45 37
Data items in ascending order
 2  4  6  8 10 12 37 45 68 89
```

Figura 7.15 Inserimento di valori in un array, ordinamento dei valori in ordine crescente e stampa dell'array risultante.

Funzione swap

Ricordate che il C applica il principio di *occultamento delle informazioni* alle interazioni tra funzioni, per cui swap non ha accesso agli elementi individuali dell'array in bubbleSort per default. Poiché bubbleSort vuole che swap abbia accesso agli elementi dell'array da scambiare, bubbleSort passa *per riferimento* ognuno di questi elementi a swap (l'*indirizzo* di ogni elemento dell'array è passato esplicitamente). Sebbene gli array nella loro interezza siano passati automaticamente per riferimento, i loro elementi individuali sono *scalari* e sono ordinariamente passati per valore. Pertanto, bubbleSort usa l'operatore di indirizzo (&) con ognuno degli elementi dell'array nella chiamata di swap (riga 46) per effettuare il passaggio per riferimento come segue:

```
swap(&array[j], &array[j + 1]);
```

La funzione swap riceve &array[j] in element1Ptr (riga 54). Anche se a swap – a causa dell'ocultamento delle informazioni – *non* è permesso conoscere il nome array[j], può usare *element1Ptr come *sinonimo* di array[j]. Quando swap accede a *element1Ptr, sta *in realtà* facendo riferimento ad array[j] in bubbleSort. Allo stesso modo, quando swap accede a *element2Ptr, sta *in realtà* facendo riferimento ad array[j + 1] in bubbleSort. Anche se nel corpo della funzione swap non è permesso scrivere

```
int hold = array[j];
array[j] = array[j + 1];
array[j + 1] = hold;
```

si ottiene esattamente lo *stesso* effetto con le righe dalla 56 alla 58:

```
int hold = *element1Ptr;
*element1Ptr = *element2Ptr;
*element2Ptr = hold;
```

Parametro array della funzione bubbleSort

Sono da notare diverse caratteristiche della funzione bubbleSort. L'intestazione della funzione (riga 34) dichiara array come `int * const array` invece che come `int array[]` per indicare che bubbleSort riceve un array unidimensionale come argomento (ancora, queste notazioni sono intercambiabili). Il parametro size è dichiarato `const` per applicare il principio del privilegio minimo. Sebbene il parametro size riceva una copia di un valore in main e una modifica della copia non possa cambiare il valore in main, bubbleSort *non* ha bisogno di alterare size per portare a termine il suo compito. La dimensione dell'array rimane fissa durante l'esecuzione della funzione bubbleSort. Pertanto, size è dichiarata `const` per essere sicuri che *non* venga modificata.

Prototipo della funzione swap nel corpo della funzione bubbleSort

Il prototipo per la funzione swap (riga 36) è incluso nel corpo della funzione bubbleSort perché bubbleSort è l'unica funzione che chiama swap. Mettere il prototipo in bubbleSort riduce le chiamate appropriate di swap solo a quelle fatte da bubbleSort (o qualsiasi funzione che appaia dopo swap nel codice sorgente). Altre funzioni che tentano di chiamare swap *non* hanno accesso al prototipo proprio della funzione, così il compilatore ne genera automaticamente uno. Ciò normalmente produce un prototipo che *non* corrisponde all'intestazione della funzione (il che genera un avvertimento o un errore di compilazione), perché il compilatore presume `int` come tipo del valore di ritorno e dei parametri.



Osservazione di ingegneria del software 7.2

Mettere i prototipi di funzione nelle definizioni di altre funzioni è un'applicazione del principio del privilegio minimo, perché ciò limita le chiamate appropriate di una funzione alle funzioni in cui compaiono i prototipi.

Parametro size della funzione bubbleSort

La funzione bubbleSort riceve la dimensione dell'array come parametro (riga 34). La funzione deve conoscere la dimensione dell'array per metterlo in ordine. Quando un array viene passato a una funzione, la funzione riceve l'indirizzo di memoria del primo elemento dell'array. L'indirizzo, naturalmente, *non* riporta il numero degli elementi nell'array. Pertanto, si deve passare alla funzione la dimensione dell'array. Un'altra pratica comune è quella di passare un puntatore all'inizio dell'array e un puntatore alla locazione appena oltre la fine dell'array. Come imparerete nel Paragrafo 7.8, la differenza tra i due puntatori è la lunghezza dell'array e il codice che ne risulta è più semplice.

Nel programma la dimensione dell'array viene passata esplicitamente alla funzione bubbleSort. Vi sono due principali benefici in questo approccio: *la riutilizzabilità del software* e *la corretta applicazione dei principi dell'ingegneria del software*. Definendo la funzione in modo che essa riceva la dimensione dell'array come argomento, facciamo sì che la funzione possa essere usata da un qualunque programma che debba ordinare array interi con singolo indice di qualsiasi dimensione.



Osservazione di Ingegneria del software 7.3

Quando passate un array a una funzione, passate anche la dimensione dell'array. Questo contribuisce a rendere la funzione riutilizzabile in molti programmi.

Avremmo potuto memorizzare la dimensione dell'array in una variabile globale accessibile all'intero programma. Ciò sarebbe più efficiente, poiché non sarebbe richiesta una copia della dimensione nel passaggio dell'argomento alla funzione. Tuttavia, altri programmi che richiedono di ordinare array interi potrebbero non avere la stessa variabile globale, per cui la funzione non può essere usata in quei programmi.



Osservazione di Ingegneria del software 7.4

Le variabili globali violano di solito il principio del privilegio minimo e possono portare a una Ingegneria del software di bassa qualità. Le variabili globali vanno usate solo per rappresentare risorse veramente condivise, come ad esempio il valore dell'ora del giorno.

È possibile impostare la dimensione dell'array direttamente nella funzione: ciò limiterebbe l'uso della funzione ad array di una dimensione specifica e ridurrebbe significativamente la sua riutilizzabilità. Solo i programmi che elaborano array interi unidimensionali della dimensione specifica codificata nella funzione potrebbero usare quest'ultima.

7.7 Operatore sizeof

Il C fornisce lo speciale operatore unario **sizeof** per determinare la dimensione in byte di un array (o di un qualunque altro tipo di dati). Questo operatore viene applicato al momento della compilazione, a meno che l'operando sia un array di lunghezza variabile (Paragrafo 6.12). Quando è applicato al nome di un array come nella Figura 7.16 (riga 15), l'operatore sizeof

restituisce il numero totale di byte nell'array come tipo `size_t`.⁴ Le variabili di tipo `float` sul nostro computer sono memorizzate in 4 byte di memoria e `array` è definito di 20 elementi. Vi sono quindi in totale 80 byte in `array`.



Prestazioni 7.2

`sizeof` è un operatore della fase di compilazione, quindi non causa alcun sovraccarico riguardo al tempo di esecuzione.

```

1 // Fig. 7.16: fig07_16.c
2 // L'applicazione di sizeof al nome di un array restituisce
3 // il numero di byte nell'array.
4 #include <stdio.h>
5 #define SIZE 20
6
7 size_t getSize(float *ptr); // prototipo
8
9 int main(void)
10 {
11     float array[SIZE]; // crea l'array
12
13     printf("The number of bytes in the array is %u"
14         "\nThe number of bytes returned by getSize is %u\n",
15         sizeof(array), getSize(array));
16 }
17
18 // restituisce la dimensione di ptr
19 size_t getSize(float *ptr)
20 {
21     return sizeof(ptr);
22 }
```

```
The number of bytes in the array is 80
The number of bytes returned by getSize is 4
```

Figura 7.16 L'applicazione di `sizeof` al nome di un array restituisce il numero di byte nell'array.

Il numero degli elementi in un array si può anche determinare con `sizeof`. Ad esempio, considerate la seguente definizione di array:

```
double real[ 22 ];
```

Le variabili di tipo `double` sono normalmente memorizzate in 8 byte di memoria. Pertanto, l'array `real` contiene un totale di 176 byte.

⁴ Ricordate che su un Mac `size_t` rappresenta `unsigned long`. Xcode presenta avvertimenti quando stampate un `unsigned long` usando "%u" in una `printf`. Per eliminare l'avvertimento, usate invece "%lu".

Per determinare il numero degli elementi nell'array si può usare la seguente espressione:

```
sizeof(real) / sizeof(real[0])
```

L'espressione determina il numero di byte nell'array `real` e divide quel valore per il numero dei byte usati per memorizzare il primo elemento dell'array (un valore `double`).

Anche se la funzione `getSize` riceve un array di 20 elementi come argomento, il parametro `ptr` della funzione è semplicemente un puntatore al primo elemento dell'array. Quando usate `sizeof` con un puntatore, esso restituisce la *dimensione del puntatore*, non la dimensione dell'elemento al quale punta. Sui nostri sistemi di test Windows e Linux, la dimensione di un puntatore sul nostro sistema è 4 byte, per cui `getSize` restituisce 4; sui nostri Mac, la dimensione di un puntatore sul nostro sistema è 8 byte, per cui `getSize` restituisce 8. Inoltre, il calcolo mostrato in precedenza per determinare il numero degli elementi dell'array con l'uso di `sizeof` funziona solo quando viene usato l'array vero e proprio, *non* quando viene usato un puntatore all'array.

Determinare le dimensioni dei tipi standard, di un array e di un puntatore

Il programma della Figura 7.17 calcola il numero di byte usati per memorizzare ognuno dei tipi di dati standard. I risultati di questo programma sono dipendenti dall'implementazione e spesso differiscono fra le varie piattaforme e talvolta fra i diversi compilatori sulla stessa piattaforma. L'output mostra i risultati del nostro sistema Windows usando il compilatore Visual C++. La dimensione di un `long double` era 12 byte sul nostro sistema Linux usando il compilatore GNU gcc. La dimensione di un `long` era 8 byte e la dimensione di un `long double` era 16 byte sul nostro sistema Mac usando il compilatore LLVM di Xcode.

```

1 // Fig. 7.17: fig07_17.c
2 // Uso dell'operatore sizeof con i tipi di dati standard.
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     char c;
8     short s;
9     int i;
10    long l;
11    long long ll;
12    float f;
13    double d;
14    long double ld;
15    int array[20]; // crea un array di 20 elementi int
16    int *ptr = array; // crea un puntatore all'array
17
18    printf( "      sizeof c = %u\nsizeof(char) = %u"
19           "\n      sizeof s = %u\nsizeof(short) = %u"
20           "\n      sizeof i = %u\nsizeof(int) = %u"
21           "\n      sizeof l = %u\nsizeof(long) = %u"
22           "\n      sizeof ll = %u\nsizeof(long long) = %u"
23           "\n      sizeof f = %u\nsizeof(float) = %u"
24           "\n      sizeof d = %u\nsizeof(double) = %u"
25           "\n      sizeof ld = %u\nsizeof(long double) = %u"
26           "\n sizeof array = %u"
```

```

27     "\n    sizeof ptr = %u\n",
28     sizeof c, sizeof(char), sizeof s, sizeof(short), sizeof i,
29     sizeof(int), sizeof l, sizeof(long), sizeof ll,
30     sizeof(long long), sizeof f, sizeof(float), sizeof d,
31     sizeof(double), sizeof ld, sizeof(long double),
32     sizeof array, sizeof ptr);
33 }

sizeof c = 1      sizeof(char)   = 1
sizeof s = 2      sizeof(short)  = 2
sizeof i = 4      sizeof(int)    = 4
sizeof l = 4      sizeof(long)   = 4
sizeof ll = 8     sizeof(long long) = 8
sizeof f = 4      sizeof(float)  = 4
sizeof d = 8      sizeof(double) = 8
sizeof ld = 8     sizeof(long double) = 8
sizeof array = 80
sizeof ptr = 4

```

Figura 7.17 Uso dell'operatore `sizeof` per determinare le dimensioni dei tipi di dati standard.



Portabilità 7.1

Il numero di byte usati per memorizzare un particolare tipo di dati può variare tra i sistemi di computer. Quando scrivete programmi che dipendono dalle dimensioni dei tipi di dati e che saranno eseguiti su diversi sistemi, usate `sizeof` per determinare il numero di byte usati per memorizzare i vari tipi di dati.

L'operatore `sizeof` può essere applicato a un qualsiasi nome di variabile, tipo o valore (compreso il valore di un'espressione). Quando è applicato al nome di una variabile (che *non* è il nome di un array) o a una costante, viene restituito il numero di byte usati per memorizzare il tipo specifico della variabile o della costante. Le parentesi sono necessarie quando l'operando di `sizeof` è un tipo di dati.

7.8 Espressioni con puntatori e aritmetica dei puntatori

I puntatori sono operandi validi nelle espressioni aritmetiche, nelle espressioni di assegnazione e nelle espressioni di confronto. Tuttavia, non tutti gli operatori normalmente usati in queste espressioni sono validi in combinazione con le variabili puntatore. Questo paragrafo descrive gli operatori che possono avere puntatori come operandi e il modo in cui tali operatori possono essere usati.

7.8.1 Operatori utilizzabili per l'aritmetica dei puntatori

È possibile *incrementare* (`++`) o *decrementare* (`--`) un puntatore, *aggiungere* un intero a un puntatore (`+ o +=`), *sottrarre* un intero da un puntatore (`- o -=`) e *sottrarre* un puntatore da un altro puntatore. Quest'ultima operazione ha senso solo quando *entrambi* i puntatori puntano agli elementi dello stesso array.

7.8.2 Indirizzare un puntatore a un array

Supponete che sia stato definito l'array `int v[5]` e che il suo primo elemento sia alla locazione 3000 nella memoria. Supponete che il puntatore `vPtr` sia stato inizializzato in modo da puntare a `v[0]` (ossia il valore di `vPtr` è 3000). La Figura 7.18 illustra questa situazione per una macchina con interi di 4 byte.

La variabile `vPtr` può essere inizializzata per puntare all'array `v` con l'una o l'altra delle istruzioni

```
vPtr = v;
vPtr = &v[0];
```

Portabilità 7.2

 Poiché i risultati dell'aritmetica dei puntatori dipendono dalla dimensione degli oggetti a cui punta un puntatore, l'aritmetica dei puntatori è dipendente dalla macchina e dal compilatore.

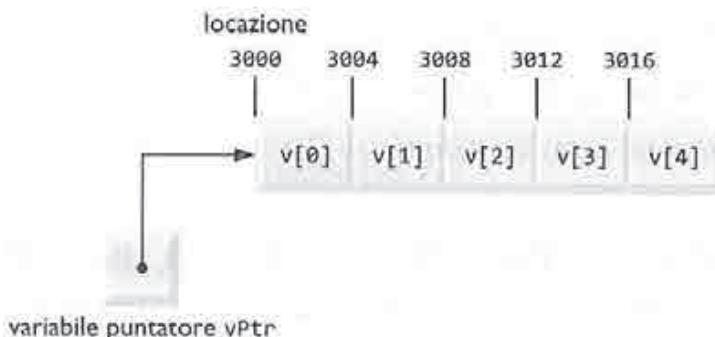


Figura 7.18 L'array `v` e la variabile puntatore `vPtr` che punta a `v`.

7.8.3 Aggiungere un intero a un puntatore

Nell'aritmetica convenzionale, $3000 + 2$ produce il valore 3002. Questo *non* avviene normalmente con l'aritmetica dei puntatori. Quando un intero è sommato o sottratto da un puntatore, il puntatore *non* è incrementato o decrementato semplicemente di quell'intero, ma di quell'intero moltiplicato per le dimensioni dell'oggetto a cui il puntatore si riferisce. Il numero di byte dipende dal tipo di dati dell'oggetto. Ad esempio, l'istruzione

```
vPtr += 2;
```

darebbe il valore 3008 ($3000 + 2 * 4$), supponendo che un intero sia memorizzato in 4 byte di memoria. Nell'array `v`, `vPtr` punterebbe adesso a `v[2]` (Figura 7.19). Se un intero fosse memorizzato in 2 byte di memoria, il calcolo precedente darebbe la locazione di memoria 3004 ($3000 + 2 * 2$). Se l'array fosse di un tipo differente di dati, l'istruzione precedente incrementerebbe il puntatore di due volte il numero di byte che gli occorrono per memorizzare un oggetto di quel tipo di dati. Quando si usa l'aritmetica dei puntatori con un array di caratteri, i risultati saranno coerenti con l'aritmetica regolare, perché ogni carattere è lungo 1 byte.

Errore comune di programmazione 7.4

 Usare l'aritmetica dei puntatori per un puntatore che non fa riferimento a un elemento in un array.

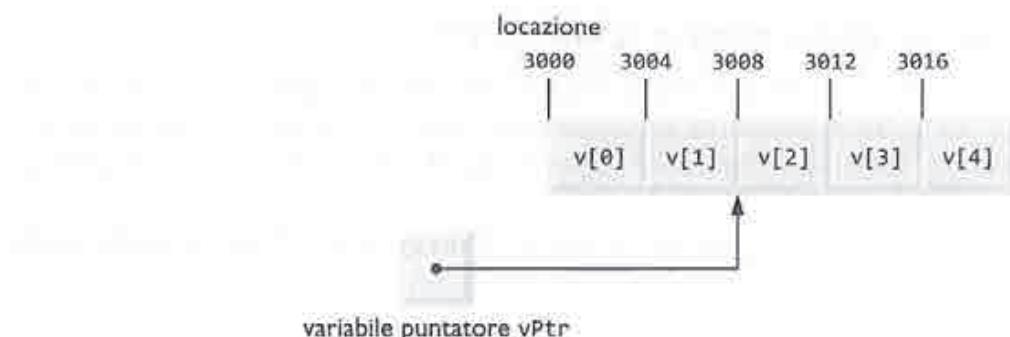


Figura 7.19 Il puntatore `vPtr` dopo l'applicazione dell'aritmetica dei puntatori.

7.8.4 Sottrarre un intero da un puntatore

Se `vPtr` fosse stato incrementato fino a 3016, il che significa che punterebbe a `v[4]`, l'istruzione

```
vPtr -= 4;
```

riporterebbe `vPtr` al valore 3000, cioè all'inizio dell'array.



Errore comune di programmazione 7.5

Uscire fuori dai limiti di un array quando si usa l'aritmetica dei puntatori.

7.8.5 Incrementare e decrementare un puntatore

Se un puntatore è incrementato o decrementato di uno, è possibile usare gli operatori di incremento (`++`) e di decremento (`--`). Entrambe le istruzioni

```
++vPtr;  
vPtr++;
```

incrementano il puntatore facendolo puntare alla locazione successiva nell'array. Tutte e due le istruzioni

```
--vPtr;  
vPtr--;
```

decrementano il puntatore facendolo puntare all'elemento precedente dell'array.

7.8.6 Sottrarre un puntatore da un altro

Le variabili puntatore possono essere sottratte l'una dall'altra. Ad esempio, se `vPtr` contiene l'indirizzo 3000 e `v2Ptr` contiene l'indirizzo 3008, l'istruzione

```
x = v2Ptr - vPtr;
```

assegnerebbe a `x` il *numero degli elementi dell'array* da `vPtr` a `v2Ptr`, in questo caso 2 (non 8). L'aritmetica dei puntatori è indefinita, a meno che non sia eseguita su un array. Non possiamo presumere che due variabili dello stesso tipo siano memorizzate in modo contiguo nella memoria, a meno che non siano elementi adiacenti di un array.



Errore comune di programmazione 7.6

Sottrarre o confrontare due puntatori che non fanno riferimento a elementi nello stesso array.

7.8.7 Assegnare puntatori ad altri puntatori

Un puntatore può essere assegnato a un altro puntatore se entrambi hanno lo stesso tipo. L'eccezione a questa regola è costituita dal puntatore a void (cioè `void *`), il quale è un puntatore generico che può rappresentare *qualsiasi* tipo di puntatore. A tutti i tipi di puntatore è possibile assegnare un puntatore a void e a un puntatore a void è possibile assegnare un puntatore di qualsiasi tipo (compreso un altro puntatore a void). In entrambi i casi *non* è necessaria alcuna operazione di cast.

7.8.8 Puntatore a void

Un puntatore a void *non può* essere dereferenziato. Si può fare infatti la seguente considerazione: il compilatore sa che un puntatore a int fa riferimento a 4 byte di memoria su una macchina con interi a 4 byte, ma un puntatore a void contiene semplicemente una locazione di memoria per un tipo di dati *sconosciuto* (il numero esatto di byte a cui il puntatore fa riferimento *non* è conosciuto dal compilatore). Il compilatore *dove* deve conoscere il tipo di dati per determinare il numero di byte che rappresentano il valore di riferimento.



Errore comune di programmazione 7.7

Assegnare un puntatore di un tipo a un puntatore di un altro tipo se nessuno dei due è del tipo `void *` è un errore di sintassi.



Errore comune di programmazione 7.8

Dereferenziare un puntatore `void *` è un errore di sintassi.

7.8.9 Confrontare i puntatori

È possibile confrontare i puntatori usando gli operatori di uguaglianza e relazionali, ma tali confronti non hanno senso, a meno che i puntatori non puntino a elementi dello *stesso* array. I confronti di puntatori comparano gli indirizzi memorizzati nei puntatori. Un confronto di due puntatori che puntano a elementi nello stesso array potrebbe evidenziare, ad esempio, che un puntatore punta a un elemento dell'array con indice più alto rispetto all'altro puntatore. Il confronto di puntatori è comunemente usato per determinare se un puntatore è `NULL`.



Errore comune di programmazione 7.9

Confrontare due puntatori che non fanno riferimento a elementi nello stesso array.

7.9 Relazioni tra puntatori e array

Array e puntatori sono intimamente correlati in C e spesso possono essere usati in maniera intercambiabile. Al nome di un array si può pensare come a un puntatore costante. I puntatori possono essere usati per fare qualsiasi operazione che implichi l'indicizzazione di un array.

Supponete le seguenti definizioni:

```
int b[5];
int *bPtr;
```

Poiché il nome dell'array `b` (senza indice) è un puntatore al primo elemento dell'array, possiamo rendere `bPtr` uguale all'indirizzo del primo elemento nell'array `b` con l'istruzione

```
bPtr = b;
```

Questa istruzione è equivalente all'assegnazione a `bPtr` dell'indirizzo del primo elemento dell'array, cioè:

```
bPtr = &b[0];
```

7.9.1 Notazione puntatore/offset

All'elemento `b[3]` dell'array si può fare alternativamente riferimento con l'espressione con puntatori

```
*(bPtr + 3)
```

Il `3` nell'espressione è l'`offset` (letteralmente “scarto”) rispetto al puntatore. Quando `bPtr` punta al primo elemento di un array, l'`offset` indica a quale elemento dell'array si fa riferimento e il suo valore coincide con l'indice dell'array. Questa notazione è detta **notazione puntatore/offset**. Le parentesi sono necessarie perché la precedenza dell'operatore `*` è maggiore della precedenza dell'operatore `+`. Senza le parentesi, l'espressione precedente aggiungerebbe `3` al valore dell'espressione `*bPtr` (cioè il `3` verrebbe aggiunto a `b[0]`, supponendo che `bPtr` punti all'inizio dell'array). Così come si può fare riferimento all'elemento dell'array con un'espressione con puntatori, l'indirizzo

```
&b[3]
```

può essere scritto con la seguente espressione con puntatori:

```
bPtr + 3
```

È possibile trattare lo stesso array come un puntatore e usarlo nell'aritmetica dei puntatori. Ad esempio, l'espressione

```
*(b + 3)
```

fa riferimento anch'essa all'elemento `b[3]` dell'array. In generale, è possibile scrivere con un puntatore e un offset tutte le espressioni con array indicizzati. In questo caso, la notazione puntatore/offset è stata usata con il nome dell'array come puntatore. L'istruzione precedente non modifica in alcun modo il nome dell'array; `b` punta ancora al primo elemento nell'array.

7.9.2 Notazione puntatore/indice

I puntatori possono essere indicizzati come gli array. Se `bPtr` ha il valore di `b`, l'espressione

```
bPtr[1]
```

si riferisce all'elemento `b[1]` dell'array. Questa è chiamata **notazione puntatore/indice**.

7.9.3 Non è possibile modificare il nome di un array con aritmetica dei puntatori

Ricordate che il nome di un array è essenzialmente un puntatore costante; esso punta sempre all'inizio dell'array. Pertanto, l'espressione

```
b += 3
```

è scorretta poiché tenta di modificare il valore del nome dell'array con l'aritmetica dei puntatori.



Errore comune di programmazione 7.10

Tentare di modificare il valore del nome di un array con l'aritmetica dei puntatori genera un errore di compilazione.

7.9.4 Dimostrare indicizzazione e offset con un puntatore

Il programma della Figura 7.20 usa i quattro metodi che abbiamo esaminato per il riferimento agli elementi di un array (indicizzazione di un array, puntatore/offset con il nome dell'array come puntatore, indicizzazione di un puntatore e puntatore/offset con un puntatore) per stampare i quattro elementi dell'array intero b.

```

1 // Fig. 7.20: fig07_20.c
2 // Uso delle notazioni con indice e con puntatori per gli array.
3 #include <stdio.h>
4 #define ARRAY_SIZE 4
5
6 int main(void)
7 {
8     int b[] = {10, 20, 30, 40}; // crea e inizializza l'array b
9     int *bPtr = b; // crea bPtr e fallo puntare all'array b
10
11    // stampa l'array b usando la notazione degli array con indice
12    puts("Array b printed with:\nArray index notation");
13
14    // effettua un ciclo lungo l'array b
15    for (size_t i = 0; i < ARRAY_SIZE; ++i) {
16        printf("b[%u] = %d\n", i, b[i]);
17    }
18
19    // stampa l'array b con il nome e la notazione puntatore/offset
20    puts("\nPointer/offset notation where\n"
21         "the pointer is the array name");
22
23    // effettua un ciclo lungo l'array b
24    for (size_t offset = 0; offset < ARRAY_SIZE; ++offset) {
25        printf("*(%u + %u) = %d\n", offset, *(b + offset));
26    }
27
28    // stampa l'array b con bPtr e la notazione degli array con indice

```

```

29     puts("\nPointer subscript notation");
30
31     // effettua un ciclo lungo l'array b
32     for (size_t i = 0; i < ARRAY_SIZE; ++i) {
33         printf("bPtr[%u] = %d\n", i, bPtr[i]);
34     }
35
36     // stampa l'array b usando bPtr e la notazione puntatore/offset
37     puts("\nPointer/offset notation");
38
39     // effettua un ciclo lungo l'array b
40     for (size_t offset = 0; offset < ARRAY_SIZE; ++offset) {
41         printf("*(%s + %u) = %d\n", bPtr, offset, *(bPtr + offset));
42     }
43 }
```

Array b printed with:

Array subscript notation
 $b[0] = 10$
 $b[1] = 20$
 $b[2] = 30$
 $b[3] = 40$

Pointer/offset notation where
the pointer is the array name
 $*(b + 0) = 10$
 $*(b + 1) = 20$
 $*(b + 2) = 30$
 $*(b + 3) = 40$

Pointer subscript notation
 $bPtr[0] = 10$
 $bPtr[1] = 20$
 $bPtr[2] = 30$
 $bPtr[3] = 40$

Pointer/offset notation
 $*(bPtr + 0) = 10$
 $*(bPtr + 1) = 20$
 $*(bPtr + 2) = 30$
 $*(bPtr + 3) = 40$

Figura 7.20 Uso delle notazioni con indice e con puntatori per accedere a un array.

7.9.5 Copiare stringhe con array e puntatori

Per illustrare ulteriormente l'intercambiabilità fra array e puntatori, esaminiamo le due funzioni che copiano stringhe, `copy1` e `copy2`, nel programma della Figura 7.21. Entrambe le funzioni copiano una stringa in un array di caratteri. Da un confronto dei prototipi di funzione per `copy1` e `copy2`, le funzioni appaiono identiche. Esse eseguono lo stesso compito, ma sono implementate in maniera diversa.

```
1 / Fig. 7.21: fig07_21.c
2 // Copia di una stringa usando le notazioni con array e con puntatori.
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 10
5
6 void copy1(char * const s1, const char * const s2); // prototipo
7 void copy2(char *s1, const char *s2); // prototipo
8
9 int main(void)
10 {
11     char string1[SIZE]; // crea l'array string1
12     char *string2 = "Hello"; // crea un puntatore a una stringa
13
14     copy1(string1, string2);
15     printf("string1 = %s\n", string1);
16
17     char string3[SIZE]; // crea l'array string3
18     char string4[] = "Good Bye"; // crea un puntatore a una stringa
19
20     copy2(string3, string4);
21     printf("string3 = %s\n", string3);
22 }
23
24 // copia s2 in s1 usando la notazione con array
25 void copy1(char * const s1, const char * const s2)
26 {
27     // effettua un ciclo lungo le stringhe
28     for (size_t i = 0; (s1[i] = s2[i]) != '\0'; ++i) {
29         ; // non fare niente nel corpo
30     }
31 }
32
33 // copia s2 in s1 usando la notazione con puntatori
34 void copy2(char *s1, const char *s2)
35 {
36     // effettua un ciclo lungo le stringhe
37     for (; (*s1 = *s2) != '\0'; ++s1, ++s2) {
38         ; // non fare niente nel corpo
39     }
40 }

string1 = Hello
string3 = Good Bye
```

Figura 7.21 Copia di una stringa usando le notazioni con array e con puntatori.

Copiare con la notazione degli array con indice

La funzione copy1 usa la notazione degli array con indice per copiare la stringa in s2 nell'array di caratteri s1. La funzione definisce la variabile contatore i come indice dell'array. L'intestazione dell'istruzione for (riga 28) esegue l'intera operazione di copiatura (il suo corpo è l'istruzione

vuota). L'intestazione specifica che *i* è inizializzata a zero e viene incrementata di uno a ogni iterazione del ciclo. L'espressione *s1[i] = s2[1]* copia un carattere da *s2* a *s1*. Quando in *s2* si incontra il carattere nullo, questo viene assegnato a *s1* e il valore dell'intera assegnazione diventa il valore assegnato all'operando sinistro (*s1*). Il ciclo termina proprio quando il carattere nullo viene assegnato a *s1* da *s2* (falso).

Copiare con puntatori e aritmetica dei puntatori

La funzione *copy2* usa i *puntatori* e l'*aritmetica dei puntatori* per copiare la stringa in *s2* nell'array di caratteri *s1*. Ancora, l'intestazione dell'istruzione *for* (riga 37) esegue l'intera operazione di copiatura. L'intestazione non include alcuna inizializzazione della variabile. Come nella funzione *copy1*, l'espressione *(*s1 = *s2)* esegue l'operazione di copiatura. Il puntatore *s2* è dereferenziato e il carattere risultante è assegnato al puntatore dereferenziato **s1*. Dopo l'assegnazione nella condizione, i puntatori sono incrementati per puntare, rispettivamente, all'elemento successivo dell'array *s1* e al carattere successivo della stringa *s2*. Quando in *s2* si incontra il carattere nullo, esso è assegnato al puntatore dereferenziato *s1* e il ciclo termina.

Note riguardanti le funzioni *copy1* e *copy2*

Il primo argomento sia per copy1 che per copy2 deve essere un array grande abbastanza da contenere la stringa fornita come secondo argomento. Altrimenti, può verificarsi un errore in seguito al tentativo di scrivere in una locazione di memoria che non fa parte dell'array. Inoltre, in entrambe le funzioni, il secondo argomento è *copiato* nel primo argomento – i caratteri sono letti da esso uno alla volta, ma non vengono *mai modificati*. Pertanto, il secondo parametro è dichiarato come puntatore a una stringa costante, in modo che venga applicato il *principio del privilegio minimo*: nessuna delle due funzioni richiede la modifica della stringa nel secondo argomento.

7.10 Array di puntatori

Gli array possono contenere puntatori. Un uso comune di un **array di puntatori** è quello di realizzare un **array di stringhe**. Ogni elemento nell'array è una stringa, ma in C una stringa è essenzialmente un puntatore al suo primo carattere. Pertanto ogni elemento in un array di stringhe è in realtà un puntatore al primo carattere di una stringa. Considerate la definizione dell'array di stringhe *suit*, che potrebbe essere utile per rappresentare un mazzo di carte da gioco.

```
const char *suit[4] = {"Hearts", "Diamonds", "Clubs", "Spades"};
```

La parte *suit[4]* della definizione indica un array di 4 elementi. La parte *char ** della dichiarazione indica che ogni elemento dell'array *suit* è del tipo “puntatore a *char*”. Il qualificatore *const* indica che le stringhe puntate da ogni elemento non saranno modificate. I quattro valori da inserire nell'array sono *“Hearts”*, *“Diamonds”*, *“Clubs”* e *“Spades”*. Ognuno è memorizzato in memoria come una *stringa di caratteri terminata da null*, che è di un carattere più lunga del numero dei caratteri tra le virgolette. Le quattro stringhe sono lunghe, rispettivamente, 7, 9, 6 e 7 caratteri. Sebbene sembri che queste stringhe vengano inserite nell'array *suit*, di fatto solo i puntatori sono memorizzati nell'array (Figura 7.22). Ogni puntatore punta al primo carattere della stringa corrispondente. Così, anche se l'array *suit* è *fisso* come dimensione, fornisce l'accesso a stringhe di caratteri di *qualsiasi lunghezza*. Questa flessibilità è un esempio delle potenti capacità di strutturazione dei dati del linguaggio C.



Figura 7.22 Rappresentazione grafica dell'array *suit*.

I semi delle carte da gioco avrebbero potuto essere rappresentati con un array bidimensionale, nel quale ogni riga avrebbe rappresentato un seme e ogni colonna una lettera del nome di un seme. Una tale struttura di dati avrebbe un numero fisso di colonne per riga e quel numero dovrebbe essere grande tanto quanto la stringa più grande. Potrebbe dunque andare sprecata una memoria considerevole quando si memorizza un grande numero di stringhe di cui la maggior parte è più breve della stringa più lunga. Nel prossimo paragrafo useremo array di stringhe per rappresentare un mazzo di carte.

7.11 Caso pratico: mescolare le carte e simularne la distribuzione

In questo paragrafo usiamo la generazione di numeri casuali per sviluppare un programma che mescola le carte e ne simula la distribuzione. Questo programma può quindi essere usato per implementare programmi per specifici giochi di carte. Per evidenziare alcuni sottili problemi di prestazioni, abbiamo intenzionalmente usato algoritmi subottimi per mescolare e distribuire le carte. Negli esercizi di questo capitolo e nel Capitolo 10 svilupperemo algoritmi più efficienti.

Usando l'approccio top-down con affinamento graduale, svilupperemo un programma che mescola un mazzo di 52 carte da gioco e poi le distribuisce. L'approccio top-down è particolarmente utile per affrontare problemi più grandi e più complessi di quelli che avete visto nei precedenti capitoli.

Rappresentare un mazzo di carte come array bidimensionale

Usiamo l'array *deck* bidimensionale 4 per 13 per rappresentare il mazzo di carte da gioco (Figura 7.23). Le righe corrispondono ai *semi*: la riga 0 corrisponde ai cuori, la riga 1 ai quadri, la riga 2 ai fiori e la riga 3 alle picche. Le colonne corrispondono ai valori relativi alle *figure* delle carte: le colonne da 0 a 9 corrispondono, rispettivamente, alle figure dall'asso al dieci e le colonne da 10 a 12 corrispondono al fante, alla regina e al re. Caricheremo l'array di stringhe *suit* con le stringhe di caratteri che rappresentano i quattro semi, e l'array di stringhe *face* con stringhe che rappresentano i tredici valori delle figure delle carte.

Mescolare l'array bidimensionale

Questo mazzo di carte simulato può essere *mescolato* come segue. Dapprima l'array viene azzerato. Quindi, vengono scelte *a caso* una riga (row: 0–3) e una colonna (column: 0–12). Viene inserito il numero 1 nell'elemento dell'array *deck*[row][column] per indicare che questa carta sarà la prima del mazzo mescolato a essere distribuita.

	Asso	Due	Tre	Quattro	Cinque	Sei	Sette	Otto	Nove	Dieci	Fante	Regina	Re
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cuori	0												
Quadri	1												
Flori	2												
Picche	3												

deck[2][12] rappresenta il Re di Fiori

Figura 7.23 Rappresentazione di un mazzo di carte da gioco con un array bidimensionale.

Questo processo continua con i numeri 2, 3, ..., 52 che vengono inseriti a caso nell'array `deck` per indicare quali carte sono da porre come seconda, terza, ... e cinquantaduesima nel mazzo mescolato. Quando l'array `deck` comincia a essere pieno di numeri di carte, è possibile che una carta venga selezionata di nuovo, cioè, quando viene selezionato, `deck[row][column]` risulta già diverso da zero. Questa selezione viene semplicemente ignorata e si scelgono ripetutamente a caso altre righe e colonne, finché non viene trovata una carta *non ancora selezionata*. Alla fine, i numeri da 1 a 52 occupano i 52 spazi dell'array `deck`. A questo punto il mazzo di carte è completamente mescolato.

Possibilità di posposizione indefinita

Questo algoritmo per mescolare le carte può venire eseguito *indefinitamente* se le carte che sono già state mescolate vengono ripetutamente selezionate a caso. Questo fenomeno è noto come **posposizione indefinita**. Negli esercizi di questo capitolo esamineremo un algoritmo migliore per mescolare le carte, che elimina la possibilità della posposizione indefinita.



Prestazioni 7.3

A volte un algoritmo che viene individuato in un modo "naturale" può presentare sottili problemi di prestazioni, come la posposizione indefinita. Cercate algoritmi che la evitino.

Distribuire le carte dall'array bidimensionale

Per distribuire la prima carta cerchiamo nell'array l'elemento `deck[row][column]` uguale a 1. Ciò si realizza con istruzioni `for` annidate che fanno variare `row` da 0 a 3 e `column` da 0 a 12. A quale carta corrisponde quell'elemento dell'array? L'array `suit` è stato precaricato con i quattro semi, per cui, per ottenere il seme, stampiamo la stringa di caratteri `suit[row]`. In modo simile, per ottenere il valore relativo alla figura della carta, stampiamo la stringa di caratteri `face[column]`. Stampiamo anche la stringa di caratteri " of ". La stampa di queste informazioni nell'ordine corretto ci permette di stampare ogni carta nella forma "King of Clubs", "Ace of Diamonds" e così via.

Sviluppare la logica del programma con il processo top-down di affinamento graduale

Procediamo con il processo top-down di affinamento graduale. Il *top* è semplicemente

Mescola e distribuisci le 52 carte

Il nostro *primo affinamento* produce:

Inizializza l'array dei semi
Inizializza l'array delle figure
Inizializza l'array del mazzo
Mescola il mazzo
Distribuisci le 52 carte

“Mescola il mazzo” può essere espanso come segue:

Per ognuna delle 52 carte
Inserisci il numero d'ordine della carta in un elemento non occupato
e selezionato a caso dell'array del mazzo

“Distribuisci le 52 carte” può essere espanso come segue:

Per ognuna delle 52 carte
Trova il numero d'ordine della carta nell'array del mazzo
e stampa la figura e il seme della carta

Accorpando queste espansioni si ottiene il nostro secondo affinamento completo:

Inizializza l'array dei semi
Inizializza l'array delle figure
Inizializza l'array del mazzo
Per ognuna delle 52 carte
Inserisci il numero d'ordine della carta in un elemento non occupato
e selezionato a caso dell'array del mazzo
Per ognuna delle 52 carte
Trova il numero d'ordine della carta nell'array del mazzo
e stampa la figura e il seme della carta

“Inserisci il numero d'ordine della carta in un elemento non occupato e selezionato a caso dell'array del mazzo” può essere espanso come:

Scegli a caso un elemento dell'array del mazzo
Finché l'elemento scelto dell'array del mazzo risulta già precedentemente scelto
Scegli a caso un elemento dell'array del mazzo
Inserisci il numero d'ordine della carta nell'elemento scelto dell'array del mazzo

“Trova il numero d'ordine della carta nell'array del mazzo e stampa la figura e il seme della carta” può essere espanso come:

Per ogni elemento dell'array del mazzo
Se l'elemento contiene il numero d'ordine della carta
Stampa la figura e il seme della carta

Accorpando queste espansioni si ottiene il nostro *terzo affinamento*:

Inizializza l'array dei semi
Inizializza l'array delle figure
Inizializza l'array del mazzo

Per ognuna delle 52 carte

Scegli a caso un elemento dell'array del mazzo

Finché l'elemento scelto dell'array del mazzo risulta già precedentemente scelto

Scegli a caso un elemento dell'array del mazzo

Inserisci il numero d'ordine della carta nell'elemento scelto dell'array del mazzo

Per ognuna delle 52 carte

Per ogni elemento dell'array del mazzo

Se l'elemento contiene il numero d'ordine della carta

Stampa la figura e il seme della carta

Questo completa il processo di affinamento. Questo programma risulta più efficiente se le porzioni dell'algoritmo che mescolano e distribuiscono le carte sono combinate in modo che ogni carta venga distribuita non appena è inserita nel mazzo. Abbiamo scelto di programmare queste operazioni separatamente, perché normalmente le carte vengono distribuite dopo, e non durante, il loro mescolamento.

Implementare il programma che mescola e distribuisce le carte

Il programma che mescola e distribuisce le carte è mostrato nella Figura 7.24 e un esempio di esecuzione è mostrato nella Figura 7.25. Si usa lo specificatore di conversione %s nelle chiamate a printf per stampare stringhe di caratteri. L'argomento corrispondente nella chiamata a printf deve essere un puntatore a char (o a un array char). La specificazione di formato "%5s of %-8s" (riga 68) stampa una stringa di caratteri *allineata a destra* in un campo di cinque caratteri seguita da " of " e da una stringa di caratteri *allineata a sinistra* in un campo di otto caratteri. Il *segno meno* in %-8s significa allineamento a sinistra.

C'è un punto di debolezza nell'algoritmo per distribuire le carte. Una volta che viene localizzata la carta cercata, le due istruzioni for interne continuano ancora la ricerca nei restanti elementi del mazzo. Correggeremo tale difetto negli esercizi di questo capitolo e in un caso pratico del Capitolo 10.

```

1 // Fig. 7.24: fig07_24.c
2 // Mescolare e distribuire le carte.
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5 #include <time.h>
6
7 #define SUITS 4
8 #define FACES 13
9 #define CARDS 52
10
11 // prototipi
12 void shuffle(unsigned int wDeck[][FACES]);
13 void deal(unsigned int wDeck[][FACES], const char *wFace[],
14           const char *wSuit[]);
```

```
15
16 int main(void)
17 {
18     // inizializza l'array deck
19     unsigned int deck[SUITS][FACES] = {0};
20
21     srand(time(NULL)); // seme per i numeri casuali
22     shuffle(deck); // mescola il mazzo
23
24     // inizializza l'array suit
25     const char *suit[SUITS] =
26         {"Hearts", "Diamonds", "Clubs", "Spades"};
27
28     // inizializza l'array face
29     const char *face[FACES] =
30         {"Ace", "Deuce", "Three", "Four",
31         "Five", "Six", "Seven", "Eight",
32         "Nine", "Ten", "Jack", "Queen", "King"};
33
34     deal(deck, face, suit); // distribuisci il mazzo
35 }
36
37 // mescola le carte nel mazzo
38 void shuffle(unsigned int wDeck[][FACES])
39 {
40     // per ogni carta, scegli a caso un elemento dell'array del mazzo
41     for (size_t card = 1; card <= CARDS; ++card) {
42         size_t row; // numero della riga
43         size_t column; // numero della colonna
44
45         // scegli una locazione a caso non occupata
46         do {
47             row = rand() % SUITS;
48             column = rand() % FACES;
49         } while(wDeck[row][column] != 0);
50
51         // inserisci il numero d'ordine della carta nell'elemento scelto
52         wDeck[row][column] = card;
53     }
54 }
55
56 // distribuisci le carte nel mazzo
57 void deal(unsigned int wDeck[][FACES], const char *wFace[],
58           const char *wSuit[])
59 {
60     // distribuisci ognuna delle carte
61     for (size_t card = 1; card <= CARDS; ++card) {
62         // effettua un ciclo lungo le righe di wDeck
63         for (size_t row = 0; row < SUITS; ++row) {
64             // effettua un ciclo lungo le colonne di wDeck
```

```

65     for (size_t column = 0; column < FACES; ++column) {
66         // se l'elemento contiene la carta corrente, stampala
67         if (wDeck[row][column] == card) {
68             printf("%5s of %s", wFace[column], wSuit[row],
69                   card % 2 == 0 ? '\n' : '\t'); // formato a 2 colonne
70         }
71     }
72 }
73 }
74 }
```

Figura 7.24 Mescolare e distribuire le carte.

Nine of Hearts	Five of Clubs
Queen of Spades	Three of Spades
Queen of Hearts	Ace of Clubs
King of Hearts	Six of Spades
Jack of Diamonds	Five of Spades
Seven of Hearts	King of Clubs
Three of Clubs	Eight of Hearts
Three of Diamonds	Four of Diamonds
Queen of Diamonds	Five of Diamonds
Six of Diamonds	Five of Hearts
Ace of Spades	Six of Hearts
Nine of Diamonds	Queen of Clubs
Eight of Spades	Nine of Clubs
Deuce of Clubs	Six of Clubs
Deuce of Spades	Jack of Clubs
Four of Clubs	Eight of Clubs
Four of Spades	Seven of Spades
Seven of Diamonds	Seven of Clubs
King of Spades	Ten of Diamonds
Jack of Hearts	Ace of Hearts
Jack of Spades	Ten of Clubs
Eight of Diamonds	Deuce of Diamonds
Ace of Diamonds	Nine of Spades
Four of Hearts	Deuce of Hearts
King of Diamonds	Ten of Spades
Three of Hearts	Ten of Hearts

Figura 7.25 Esempio di esecuzione del programma che distribuisce le carte.

7.12 Puntatori a funzioni

Un puntatore a una funzione contiene l'*indirizzo* della funzione nella memoria. Nel Capitolo 6 abbiamo visto che il nome di un array è in realtà l'*indirizzo* in memoria del primo elemento dell'array. In modo simile, il nome di una funzione è in realtà l'*indirizzo* in memoria di partenza del codice che esegue il compito della funzione. I puntatori a funzioni possono essere *passati* alle funzioni, *restituiti* dalle funzioni, *memorizzati* negli array e *assegnati* ad altri puntatori a funzioni.

7.12.1 Ordinamento crescente o decrescente

Per illustrare l'uso dei puntatori a funzioni, la Figura 7.26 presenta una versione modificata del programma per il bubble sort della Figura 7.15. La nuova versione consiste nella funzione main e nelle funzioni bubble, swap, ascending e descending. La funzione bubble riceve come argomento un puntatore a una funzione – o alla funzione ascending o alla funzione descending – in aggiunta a un array di interi e alla dimensione dell'array. Il programma richiede all'utente di scegliere se l'array deve essere ordinato in ordine *crescente* o *decrescente*. Se l'utente inserisce 1, viene passato alla funzione bubble un puntatore alla funzione ascending, facendo sì che l'array venga ordinato in ordine *crescente*. Se l'utente inserisce 2, viene passato alla funzione bubble un puntatore alla funzione descending, facendo sì che l'array venga ordinato in ordine *decrescente*. L'output del programma è mostrato nella Figura 7.27.

```
1 // Fig. 7.26: fig07_26.c
2 // Programma multifunzione di ordinamento che usa puntatori a funzioni.
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 10
5
6 // prototipi
7 void bubble(int work[], size_t size, int (*compare)(int a, int b) );
8 int ascending(int a, int b);
9 int descending(int a, int b);
10
11 int main(void)
12 {
13     // inizializza l'array a non ordinato
14     int a[SIZE] = { 2, 6, 4, 8, 10, 12, 89, 68, 45, 37 };
15
16     printf("%s", "Enter 1 to sort in ascending order,\n"
17           "Enter 2 to sort in descending order: ");
18     int order: // 1 per l'ordine crescente o 2 per l'ordine decrescente
19     scanf("%d", &order);
20
21     puts("\nData items in original order");
22
23     // invia in uscita l'array originario
24     for (size_t counter = 0; counter < SIZE; ++counter) {
25         printf("%5d", a[counter]);
26     }
27
28     // ordina l'array in ordine crescente; passa la funzione ascending
29     // come argomento per specificare l'ordine crescente dell'ordinamento
30     if (order == 1) {
31         bubble(a, SIZE, ascending);
32         puts("\nData items in ascending order");
33     }
34     else { // passa la funzione descending
35         bubble(a, SIZE, descending);
36         puts("\nData items in descending order");
37     }
38 }
```

```

39 // invia in uscita l'array ordinato
40 for (size_t counter = 0; counter < SIZE; ++counter) {
41     printf("%5d", a[counter]);
42 }
43
44 puts("\n");
45 }
46
47 // bubble sort multifunzione; il parametro compare e' un puntatore
48 // alla funzione di confronto che determina il tipo di ordinamento
49 void bubble(int work[], size_t size, int (*compare)(int a, int b))
50 {
51     void swap(int *element1Ptr, int *element2Ptr); // prototipo
52
53     // ciclo di controllo per le iterazioni
54     for (unsigned int pass = 1; pass < size; ++pass) {
55
56         // ciclo di controllo per il numero di confronti per iterazione
57         for (size_t count = 0; count < size - 1; ++count) {
58
59             // se elementi adiacenti non sono in ordine, scambiali
60             if ((*compare)(work[count], work[count + 1])) {
61                 swap(&work[count], &work[count + 1]);
62             }
63         }
64     }
65 }
66
67 // scambia i valori alle locazioni di memoria a cui puntano
68 // element1Ptr ed element2Ptr
69 void swap(int *element1Ptr, int *element2Ptr)
70 {
71     int hold = *element1Ptr;
72     *element1Ptr = *element2Ptr;
73     *element2Ptr = hold;
74 }
75
76 // determina se gli elementi non sono in ordine per un ordinamento
77 // di tipo crescente
78 int ascending(int a, int b)
79 {
80     return b < a; // si deve effettuare lo scambio se b e' minore di a
81 }
82
83 // determina se gli elementi non sono in ordine per un ordinamento
84 // di tipo decrescente
85 int descending(int a, int b)
86 {
87     return b > a; // si deve effettuare lo scambio se b e' maggiore di a
88 }

```

Figura 7.26 Programma multifunzione di ordinamento che usa puntatori a funzioni.

```

Enter 1 to sort in ascending order,
Enter 2 to sort in descending order: 1

Data items in original order
2   6   4   8   10  12   89   68   45   37
Data items in ascending order
2   4   6   8   10  12   37   45   68   89

```

```

Enter 1 to sort in ascending order,
Enter 2 to sort in descending order: 2

Data items in original order
2   6   4   8   10  12   89   68   45   37
Data items in descending order
89   68   45   37   12   10    8    6    4    2

```

Figura 7.27 Gli output del programma per il bubble sort della Figura 7.26.

Il seguente parametro è dichiarato nell'intestazione della funzione `bubble` (riga 49)

```
int (*compare)(int a, int b)
```

Questa dichiarazione dice a `bubble` che deve aspettarsi un parametro (`compare`) che è un puntatore a una funzione che riceve due parametri interi e restituisce un risultato intero. Sono necessarie le parentesi attorno a `*compare` per associare `*` a `compare` e indicare che `compare` è un *puntatore*. Se non avessimo messo le parentesi, la dichiarazione sarebbe stata

```
int *compare(int a, int b)
```

che dichiara una funzione che riceve due interi come parametri e restituisce un puntatore a un intero.

La riga 7 contiene il prototipo di funzione per `bubble`. Il terzo parametro nel prototipo avrebbe potuto essere scritto come

```
int (*)(int, int)
```

senza il nome del puntatore a funzione e senza i nomi dei parametri.

La funzione passata a `bubble` viene chiamata in un'istruzione `if` (riga 60) come segue:

```
if ((*compare)(work[count], work[count + 1]))
```

Proprio come un puntatore a una variabile è dereferenziato per accedere al valore della variabile, un *puntatore a una funzione* è *dereferenziato per usare la funzione*.

La chiamata alla funzione avrebbe potuto essere fatta senza dereferenziare il puntatore come in

```
if (compare(work[count], work[count + 1]))
```

che usa il puntatore direttamente come nome della funzione. Preferiamo il primo metodo per chiamare una funzione per mezzo di un puntatore, perché esso fa vedere esplicitamente che `compare` è un puntatore a una funzione che è dereferenziato per chiamare la funzione. Il secondo metodo per chiamare una funzione per mezzo di un puntatore fa sì che `compare` sembri una funzione *vera*. Ciò può essere fonte di confusione per un programmatore che legge il codice, il quale si aspetterebbe una definizione della funzione `compare`, mentre essa non è mai definita nel file.

7.12.2 Uso dei puntatori a funzioni per realizzare un sistema guidato da menu

Un uso comune dei puntatori a funzioni si ha nei *sistemi guidati da menu* di tipo testuale. A un utente è richiesto di selezionare un'opzione da un menu (per esempio, da 1 a 5) scrivendo il numero dell'elemento del menu. Ogni opzione è realizzata da una funzione differente. I puntatori alle funzioni sono memorizzati in un array di puntatori a funzioni. La scelta dell'utente è usata come indice dell'array e i puntatori nell'array sono usati per chiamare le funzioni.

La Figura 7.28 fornisce un esempio generico dei meccanismi utilizzati per definire e usare un array di puntatori a funzioni. Definiamo tre funzioni – `function1`, `function2` e `function3` – che ricevono ciascuna un argomento intero e non restituiscono niente. Memorizziamo i puntatori a queste tre funzioni nell'array `f`, definito nella riga 14. La definizione si legge iniziando dall'insieme di parentesi più a sinistra, “`f` è un array di 3 puntatori a funzioni che ricevono ognuna un `int` come argomento e restituiscono `void`”. L'array è inizializzato con i nomi delle tre funzioni. Quando l'utente inserisce un valore tra 0 e 2, il valore viene usato come indice nell'array dei puntatori alle funzioni. Nella chiamata di funzione (riga 25), `f[choice]` seleziona il puntatore nella locazione `choice` nell'array. Il puntatore è *dereferenziato per chiamare la funzione* e `choice` viene passato come argomento alla funzione. Ogni funzione stampa il valore del suo argomento e il suo nome per confermare che la funzione è stata chiamata correttamente. Negli esercizi di questo capitolo svilupperete diversi sistemi guidati da menu di tipo testuale.

```

1 // Fig. 7.28: fig07_28.c
2 // Esempio di un array di puntatori a funzioni.
3 #include <stdio.h>
4
5 // prototipi
6 void function1(int a);
7 void function2(int b);
8 void function3(int c);
9
10 int main(void)
11 {
12     // inizializza un array di 3 puntatori a funzioni che ricevono
13     // ognuna un argomento int e restituiscono void
14     void (*f[3])(int) = { function1, function2, function3 };
15
16     printf("%s", "Enter a number between 0 and 2, 3 to end: ");
17     size_t choice; // variabile che contiene la scelta dell'utente
18     scanf("%u", &choice);
19
20     // elabora la scelta dell'utente
21     while (choice >= 0 && choice < 3) {
22
23         // invoca la funzione alla locazione choice nell'array f e passa
24         // choice come argomento
25         (*f[choice])(choice);
26
27         printf("%s", "Enter a number between 0 and 2, 3 to end: ");
28         scanf("%u", &choice);
29     }

```

```

30
31     puts("Program execution completed.");
32 }
33
34 void function1(int a)
35 {
36     printf("You entered %d so function1 was called\n\n", a);
37 }
38
39 void function2(int b)
40 {
41     printf("You entered %d so function2 was called\n\n", b);
42 }
43
44 void function3(int c)
45 {
46     printf("You entered %d so function3 was called\n\n", c);
47 }

```

Enter a number between 0 and 2, 3 to end: 0
 You entered 0 so function1 was called

Enter a number between 0 and 2, 3 to end: 1
 You entered 1 so function2 was called

Enter a number between 0 and 2, 3 to end: 2
 You entered 2 so function3 was called

Enter a number between 0 and 2, 3 to end: 3
 Program execution completed.

Figura 7.28 Esempio di un array di puntatori a funzioni.

7.13 Programmazione sicura in C

printf_s, scanf_s e altre funzioni sicure

I precedenti paragrafi sulla programmazione sicura in C hanno presentato `printf_s` e `scanf_s` e hanno menzionato altre versioni più sicure delle funzioni della Libreria Standard descritte dall'Annex K del C standard. Una caratteristica chiave delle funzioni come `printf_s` e `scanf_s`, che le rende più sicure, è quella di avere *restrizioni in fase di esecuzione* che richiedono che i loro argomenti puntatore siano non-NULL. Le funzioni controllano queste restrizioni in fase di esecuzione prima di provare a usare i puntatori. Qualunque argomento che sia un puntatore NULL, considerato una *violazione alla restrizione*, fa fallire la funzione e le fa restituire una notifica del suo stato. In una `scanf_s`, se uno qualsiasi degli argomenti puntatore (compresa la stringa di controllo del formato) è NULL, la funzione restituisce EOF. In una `printf_s`, se la stringa di controllo del formato o un argomento che corrisponde a un %s è NULL, la funzione arresta l'invio in uscita dei dati e restituisce un numero negativo. Per i dettagli completi delle funzioni dell'Annex K, consultate il documento del C standard o la documentazione della libreria del vostro compilatore.

Altre linee guida del CERT riguardanti i puntatori

L'uso scorretto dei puntatori porta oggi a molte delle più comuni vulnerabilità nella sicurezza dei sistemi. Il CERT fornisce varie linee guida per aiutare a evitare tali problemi. Se avete intenzione di costruire sistemi in C a livello industriale, dovete familiarizzare con il *CERTC Secure Coding Standard* al sito www.securecoding.cert.org. Le seguenti linee guida si applicano alle tecniche di programmazione con puntatori che abbiamo presentato in questo capitolo:

- EXP34-C: dereferenziare i puntatori NULL causa tipicamente l'arresto anomalo dei programmi, ma il CERT ha individuato situazioni in cui dereferenziare i puntatori NULL può permettere agli autori di un attacco di far eseguire del codice.
- DCL13-C: il Paragrafo 7.5 ha esaminato l'uso di `const` con i puntatori. Se il parametro di una funzione punta a un valore che non verrà cambiato dalla funzione, si deve usare `const` per indicare che i dati sono costanti. Ad esempio, per rappresentare un puntatore a una stringa che non verrà modificata, usate `const char *` come tipo del parametro puntatore, come nella riga 21 della Figura 7.11.
- MSC16-C: questa linea guida esamina le tecniche per criptare i puntatori a funzioni, in modo da evitare che autori di attacchi li sovrascrivano e facciano eseguire il loro codice.

Riepilogo

Paragrafo 7.2 Definizione e inizializzazione di variabili puntatore

- Un puntatore contiene un indirizzo di un'altra variabile che contiene un valore. In questo senso, il nome di una variabile fa riferimento *direttamente* a un valore e un puntatore fa riferimento *indirettamente* a un valore.
- Fare riferimento a un valore per mezzo di un puntatore si dice indirezione.
- I puntatori possono essere definiti per puntare a oggetti di qualsiasi tipo.
- I puntatori vanno inizializzati o quando sono definiti o in un'istruzione di assegnazione. Un puntatore si può inizializzare a NULL, a 0 oppure a un indirizzo. Un puntatore con il valore NULL non punta a niente. Inizializzare un puntatore a 0 equivale a inizializzarlo a NULL, ma NULL è preferibile per chiarezza. Il valore 0 è l'unico valore intero che può essere assegnato direttamente a una variabile puntatore.
- NULL è una costante simbolica definita nel file di intestazione `<stddef.h>` (e in diversi altri file di intestazione).

Paragrafo 7.3 Operatori per i puntatori

- L'operatore di indirizzo & è un operatore unario che restituisce l'indirizzo del suo operando.
- L'operando dell'operatore di indirizzo deve essere una variabile.
- L'operatore di indirezione * restituisce il valore dell'oggetto al quale punta il suo operando.
- Lo specificatore di conversione %p di `printf` invia in uscita un indirizzo di memoria rappresentato con un intero esadecimale su gran parte delle piattaforme.

Paragrafo 7.4 Passare argomenti a funzioni per riferimento

- Tutti gli argomenti in C sono passati per valore.
- I programmi in C compiono il passaggio per riferimento usando i puntatori e l'operatore di indirezione. Per passare una variabile per riferimento, applicate l'operatore di indirizzo (&) al nome della variabile.

- Quando l'indirizzo di una variabile viene passato a una funzione, è possibile usare l'operatore di indirezione (*) nella funzione per modificare il valore a quell'indirizzo di memoria nella funzione chiamante.
- Una funzione che riceve come argomento un indirizzo deve definire un parametro puntatore per riceverlo.
- Il compilatore non distingue fra una funzione che riceve un puntatore e una che riceve un array unidimensionale. Una funzione deve "sapere" quando deve ricevere un array invece di una singola variabile passata per riferimento.
- Quando il compilatore incontra il parametro di una funzione per un array unidimensionale della forma `int b[]` lo converte nella notazione con puntatore `int *b`.

Paragrafo 7.5 Uso del qualificatore `const` con i puntatori

- Il qualificatore `const` indica che il valore di una particolare variabile non va modificato.
- Se si prova a modificare un valore dichiarato `const`, il compilatore lo rileva ed emette un avvertimento o un errore, a seconda del particolare compilatore.
- Vi sono quattro modi di passare un puntatore a una funzione: un puntatore non costante a dati non costanti, un puntatore costante a dati non costanti, un puntatore non costante a dati costanti e un puntatore costante a dati costanti.
- Con un puntatore non costante a dati non costanti, è possibile modificare i dati per mezzo del puntatore dereferenziato e modificare il puntatore per puntare ad altri dati.
- È possibile modificare un puntatore non costante a dati costanti per puntare a un qualunque dato di tipo appropriato, ma non è possibile modificare i dati a cui punta.
- Un puntatore costante a dati non costanti punta sempre alla stessa locazione di memoria ed è possibile modificare i dati in quella locazione tramite il puntatore. Questa è la preimpostazione per il nome di un array.
- Un puntatore costante a dati costanti punta sempre alla stessa locazione di memoria e non è possibile modificare i dati in quella locazione di memoria attraverso il puntatore. Questo è il default per il nome di un array.

Paragrafo 7.7 Operatore `sizeof`

- L'operatore unario `sizeof` determina la dimensione in byte di una variabile o di un tipo in fase di compilazione.
- Quando è applicato al nome di un array, `sizeof` restituisce il numero totale di byte nell'array.
- È possibile applicare l'operatore `sizeof` al nome, al tipo o al valore di una qualsiasi variabile.

Paragrafo 7.8 Espressioni con puntatori e aritmetica dei puntatori

- È possibile eseguire sui puntatori un insieme limitato di operazioni aritmetiche. È possibile incrementare (++) o decrementare (--) un puntatore, sommare un intero a un puntatore (+ o +=), sottrarre un intero da un puntatore (- o -=) e sottrarre un puntatore da un altro.
- Quando un intero è sommato a un puntatore o sottratto da esso, il puntatore è incrementato o decrementato di una quantità pari a quell'intero moltiplicato per le dimensioni dell'oggetto a cui il puntatore si riferisce.
- Due puntatori a elementi dello stesso array possono essere sottratti l'uno dall'altro per determinare il numero di elementi tra loro.

- È possibile assegnare un puntatore a un altro puntatore se entrambi hanno lo stesso tipo. Fa eccezione il puntatore di tipo `void *` che può rappresentare qualsiasi tipo di puntatore. È possibile assegnare un puntatore `void *` a tutti i tipi di puntatori e un puntatore di qualsiasi tipo a un puntatore `void *`.
- Un puntatore `void *` non può essere dereferenziato.
- È possibile confrontare i puntatori usando gli operatori di uguaglianza e relazionali, ma tali confronti non hanno senso, a meno che i puntatori non puntino a elementi dello stesso array. I confronti fra puntatori confrontano gli indirizzi memorizzati nei puntatori.
- Un uso comune del confronto fra puntatori è quello di determinare se un puntatore è `NULL`.

Paragrafo 7.9 Relazioni tra puntatori e array

- Array e puntatori sono intimamente correlati in C e spesso possono essere usati in maniera interscambiabile.
- Al nome di un array si può pensare come a un puntatore costante.
- I puntatori possono essere usati per compiere qualsiasi operazione che implichi l'indicizzazione di un array.
- Quando un puntatore punta all'inizio di un array, aggiungere un offset al puntatore indica a quale elemento dell'array si deve fare riferimento e il valore dell'offset è identico all'indice dell'array. Questa è detta notazione puntatore/offset.
- Il nome di un array può essere trattato come un puntatore e usato nelle espressioni dell'aritmetica dei puntatori che non tentano di modificare l'indirizzo del puntatore.
- È possibile indicizzare i puntatori esattamente come gli array. Questa è chiamata notazione puntatore/indice.
- Un parametro di tipo `const char *` tipicamente rappresenta una stringa costante.

Paragrafo 7.10 Array di puntatori

- Gli array possono contenere puntatori. Un uso comune di un array di puntatori è quello di formare un array di stringhe. Ogni elemento nell'array è una stringa, ma in C una stringa è essenzialmente un puntatore al suo primo carattere. Così, ogni elemento in un array di stringhe è in realtà un puntatore al primo carattere di una stringa.

Paragrafo 7.12 Puntatori a funzioni

- Un puntatore a una funzione contiene l'indirizzo della funzione in memoria. Il nome di una funzione è in realtà l'indirizzo di partenza in memoria del codice che esegue il compito della funzione.
- I puntatori a funzioni possono essere passati a funzioni, restituiti da funzioni, memorizzati in array e assegnati ad altri puntatori di funzioni.
- Un puntatore a una funzione viene dereferenziato per chiamare la funzione. Il puntatore a una funzione può essere usato direttamente come nome della funzione quando si chiama la funzione.
- Un uso comune dei puntatori a funzioni si ha nei sistemi guidati da menu di tipo testuale.

Esercizi di autovalutazione

7.1 Completate ciascuna delle seguenti frasi:

- Una variabile puntatore contiene come suo valore l'_____ di un'altra variabile.
- I tre valori che si possono usare per inizializzare un puntatore sono _____, _____ e _____.
- L'unico intero che si può assegnare a un puntatore è _____.

7.2 Stabilite se le seguenti affermazioni sono *vere* o *false*. Se la risposta è *falso*, spiegate il perché.

- Un puntatore dichiarato `void` può essere dereferenziato.
- I puntatori a tipi differenti non possono essere assegnati l'uno all'altro senza un operatore `cast`.

7.3 Eseguite ognuna delle seguenti operazioni e rispondete alle domande. Supponete che i numeri in virgola mobile con precisione singola siano memorizzati in 4 byte e che l'indirizzo di partenza dell'array sia alla locazione di memoria 1002500. Ogni parte dell'esercizio deve usare i risultati delle parti precedenti dove è opportuno.

- Definite un array di tipo `float` chiamato `numbers` con 10 elementi e inizializzate gli elementi ai valori 0.0, 1.1, 2.2, ..., 9.9. Supponete che la costante simbolica `SIZE` sia stata definita come 10.
- Definite un puntatore, `nPtr`, che punta a un oggetto di tipo `float`.
- Stampate gli elementi dell'array `numbers` usando la notazione con indice per gli array. Usate un'istruzione `for`. Stampate ogni numero con 1 posizione di precisione alla destra del punto decimale.
- Scrivete due diverse istruzioni che assegnino l'indirizzo di partenza dell'array `numbers` alla variabile puntatore `nPtr`.
- Stampate gli elementi dell'array `numbers` usando la notazione puntatore/offset con il puntatore `nPtr`.
- Stampate gli elementi dell'array `numbers` usando la notazione puntatore/offset con il nome dell'array come puntatore.
- Stampate gli elementi dell'array `numbers` indicizzando il puntatore `nPtr`.
- Fate riferimento all'elemento 4 dell'array `numbers` usando la notazione con indice per gli array, la notazione puntatore/offset con il nome dell'array come puntatore, la notazione con indice per i puntatori con `nPtr` e la notazione puntatore/offset con `nPtr`.
- Supponendo che `nPtr` punti all'inizio dell'array `numbers`, a quale indirizzo si fa riferimento con `nPtr + 8`? Quale valore è memorizzato in quella locazione?
- Supponendo che `nPtr` punti a `numbers[5]`, a quale indirizzo si fa riferimento con `nPtr - 4`? Qual è il valore memorizzato in quella locazione?

7.4 Per ognuna delle seguenti operazioni, scrivete un'istruzione che la esegua. Supponete che le variabili in virgola mobile `number1` e `number2` siano state definite e che `number1` sia inizializzato a 7.3.

- Definire la variabile `fPtr` come puntatore a un oggetto di tipo `float`.
- Assegnare l'indirizzo della variabile `number1` alla variabile puntatore `fPtr`.
- Stampare il valore dell'oggetto puntato da `fPtr`.
- Assegnare il valore dell'oggetto puntato da `fPtr` alla variabile `number2`.
- Stampare il valore di `number2`.
- Stampare l'indirizzo di `number1`. Usate lo specificatore di conversione `%p`.
- Stampare l'indirizzo memorizzato in `fPtr`. Usare lo specificatore di conversione `%p`. Il valore stampato è lo stesso dell'indirizzo di `number1`?

7.5 Eseguite ognuna delle seguenti operazioni:

- Scrivete l'intestazione per una funzione chiamata `exchange` che riceve come parametri due puntatori ai numeri in virgola mobile `x` e `y` e non restituisce alcun valore.
- Scrivete il prototipo di funzione per la funzione di cui alla voce a).
- Scrivete l'intestazione per una funzione chiamata `evaluate` che restituisce un intero e che riceve come parametri l'intero `x` e un puntatore alla funzione `poly`. La funzione `poly` riceve un parametro intero e restituisce un intero.
- Scrivete il prototipo di funzione per la funzione di cui alla voce c).

7.6 Trovate l'errore in ognuno dei seguenti segmenti di programma. Presupponete le seguenti dichiarazioni e inizializzazioni:

- ```

int *zPtr; // zPtr fara' riferimento all'array z
int *aPtr = NULL;
void *sPtr = NULL;
int number;
int z[5] = {1, 2, 3, 4, 5};
sPtr = z;

a) ++zPtr;
b) // usa il puntatore per ottenere il primo valore dell'array;
 // si suppone che zPtr sia inizializzato
 number = zPtr;
c) // assegna l'elemento 2 dell'array (il valore 3) a number;
 // si suppone che zPtr sia inizializzato
 number = *zPtr[2];
d) // stampa l'intero array z; si suppone che zPtr sia inizializzato
 for (size_t i = 0; i <= 5; ++i) {
 printf("%d ", zPtr[i]);
 }
e) // assegna a number il valore a cui punta sPtr
 number = *sPtr;
f) ++z;

```

## Risposte agli esercizi di autovalutazione

- 7.1 a) indirizzo. b) 0, NULL, un indirizzo. c) 0.
- 7.2 a) Falso. Un puntatore a `void` non può essere dereferenziato, perché non c'è modo di sapere esattamente quanti byte di memoria dereferenziare. b) Falso. È possibile assegnare puntatori di altri tipi ai puntatori di tipo `void` e puntatori di tipo `void` a puntatori di altri tipi.
- 7.3 a) `float numbers[SIZE] = {0.0, 1.1, 2.2, 3.3, 4.4, 5.5, 6.6, 7.7, 8.8, 9.9};`  
b) `float *nPtr;`  
c) `for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {`  
 `printf("%.1f ", numbers[i]);`  
`}`  
d) `nPtr = numbers;`  
`nPtr = &numbers[0];`

- e) `for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {  
 printf("%.1f ", *(nPtr + i));  
}`
- f) `for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {  
 printf("%.1f ", *(numbers + i));  
}`
- g) `for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {  
 printf("%.1f ", nPtr[i]);  
}`
- h) `numbers[4]  
*(numbers + 4)  
nPtr[4]  
*(nPtr + 4)`
- i) L'indirizzo è  $1002500 + 8 * 4 = 1002532$ . Il valore è 8.8.
- j) L'indirizzo di `numbers[5]` è  $1002500 + 5 * 4 = 1002520$ .  
 L'indirizzo di `nPtr -= 4` è  $1002520 - 4 * 4 = 1002504$ .  
 Il valore in quella locazione è 1.1.
- 7.4 a) `float *fPtr;`  
 b) `fPtr = &number1;`  
 c) `printf("The value of *fPtr is %f\n", *fPtr);`  
 d) `number2 = *fPtr;`  
 e) `printf("The value of number2 is %f\n", number2);`  
 f) `printf("The address of number1 is %p\n", &number1);`  
 g) `printf("The address stored in fptr is %p\n", fPtr);`  
 Sì, il valore è lo stesso.
- 7.5 a) `void exchange(float *x, float *y)`  
 b) `void exchange(float *x, float *y)`  
 c) `int evaluate(int x, int (*poly)(int))`  
 d) `int evaluate(int x, int (*poly)(int));`
- 7.6 a) Errore: `zPtr` non è stato inizializzato.  
 Correzione: inizializzate `zPtr` con `zPtr = z`; prima di usare l'aritmetica dei puntatori.
- b) Errore: il puntatore non è dereferenziato.  
 Correzione: cambiate l'istruzione in `number = *zPtr;`
- c) Errore: `zPtr[2]` non è un puntatore e non va dereferenziato.  
 Correzione: cambiate `*zPtr[2]` in `zPtr[2]`.
- d) Errore: fare riferimento a un elemento al di fuori dei confini dell'array con l'indicizzazione del puntatore.  
 Correzione: cambiate l'operatore `<=` nella condizione del `for` in `<`.
- e) Errore: dereferenziare un puntatore `void`.  
 Correzione: per dereferenziare il puntatore si deve prima effettuare un cast a un puntatore intero. Cambiate l'istruzione in `number = *((int *) sPtr);`
- f) Errore: cercare di modificare il valore del nome di un array con l'aritmetica dei puntatori.  
 Correzione: usate una variabile puntatore invece del nome dell'array per applicare l'aritmetica dei puntatori, oppure indicizzate il nome dell'array per riferirvi a uno specifico elemento.

## Esercizi

- 7.7 Completate ciascuna delle seguenti frasi:
- L'operatore \_\_\_\_\_ restituisce la locazione in memoria dove è memorizzato il suo operando.
  - L'operatore \_\_\_\_\_ restituisce il valore dell'oggetto al quale punta il suo operando.
  - Per compiere il passaggio per riferimento, quando una variabile diversa da un array viene passata a una funzione, è necessario passare alla funzione l'\_\_\_\_\_ della variabile.
- 7.8 Stabilite se le seguenti affermazioni sono *vere* o *false*. Se *false*, spiegate perché.
- Non ha senso confrontare due puntatori che puntano ad array differenti.
  - Dal momento che il nome di un array è un puntatore al primo elemento dell'array, i nomi degli array possono essere manipolati precisamente alla stessa maniera dei puntatori.
- 7.9 Eseguite ognuna delle seguenti operazioni e rispondete alle domande. Supponete che gli interi senza segno siano memorizzati in 2 byte e che l'indirizzo di partenza dell'array sia alla locazione in memoria 1002500.
- Definite un array di tipo `unsigned int` chiamato `values` con cinque elementi e inizializzate gli elementi con gli interi pari da 2 a 10. Supponete che la costante simbolica `SIZE` sia stata definita come 5.
  - Definite un puntatore `vPtr` che punta a un oggetto di tipo `unsigned int`.
  - Stampate gli elementi dell'array `values` usando la notazione con indice degli array. Usate un'istruzione `for` e supponete che la variabile di controllo intera `i` sia stata definita.
  - Scrivete due istruzioni separate che assegnino l'indirizzo di partenza dell'array `values` alla variabile puntatore `vPtr`.
  - Stampate gli elementi dell'array `values` usando la notazione puntatore/offset.
  - Stampate gli elementi dell'array `values` usando la notazione puntatore/offset con il nome dell'array come puntatore.
  - Stampate gli elementi dell'array `values` usando il puntatore all'array con indice.
  - Fate riferimento all'elemento 5 dell'array `values` usando la notazione con indice degli array, la notazione puntatore/offset con il nome dell'array come puntatore, la notazione con indice che usa il puntatore e la notazione puntatore/offset.
  - A quale indirizzo si fa riferimento con `vPtr + 3`? Quale valore è memorizzato in quella locazione?
  - Supponendo che `vPtr` punti a `values[4]`, a quale indirizzo si fa riferimento con `vPtr - 4`? Quale valore è memorizzato in quella locazione?
- 7.10 Per ognuna delle seguenti operazioni, scrivete un'istruzione singola che la esegua. Supponete che le variabili intere di tipo `long` `value1` e `value2` siano state definite e che `value1` sia stata inizializzata a 200000.
- Definire la variabile `lPtr` come puntatore a un oggetto di tipo `long`.
  - Assegnare l'indirizzo della variabile `value1` alla variabile puntatore `lPtr`.
  - Stampare il valore dell'oggetto puntato da `lPtr`.
  - Assegnare il valore dell'oggetto puntato da `lPtr` alla variabile `value2`.
  - Stampare il valore di `value2`.
  - Stampare l'indirizzo di `value1`.
  - Stampare l'indirizzo memorizzato in `lPtr`. Il valore stampato è lo stesso dell'indirizzo di `value1`?

**7.11** Eseguite ognuna delle seguenti operazioni:

- Scrivete l'intestazione per la funzione `zero`, la quale riceve il parametro array intero `long bigIntegers` e non restituisce alcun valore.
- Scrivete il prototipo di funzione per la funzione di cui alla voce a).
- Scrivete l'intestazione per la funzione `add1AndSum`, che riceve il parametro array intero `oneTooSmall` e restituisce un intero.
- Scrivete il prototipo di funzione per la funzione di cui alla voce c).

*Nota: gli Esercizi 7.12–7.15 sono ragionevolmente impegnativi. Una volta risolti questi problemi, dovreste essere in grado di implementare facilmente i più popolari giochi di carte.*

**7.12 (Mescolare e distribuire le carte)** Modificate il programma nella Figura 7.24, in modo che la funzione che distribuisce le carte distribuisca una mano di poker di cinque carte. Poi scrivete ulteriori funzioni per eseguire le seguenti operazioni:

- Determinare se tra le cinque carte c'è una coppia.
- Determinare se tra le cinque carte vi sono due coppie.
- Determinare se tra le cinque carte ve ne sono tre dello stesso tipo (es. tre fanti).
- Determinare se tra le cinque carte ve ne sono quattro dello stesso tipo (es. quattro assi).
- Determinare se le cinque carte formano un colore (cioè, se tutte e cinque le carte sono dello stesso seme).
- Determinare se le cinque carte formano una scala (cioè se le cinque carte presentano i valori delle figure in sequenza).

**7.13 (Progetto: mescolare e distribuire le carte)** Usate le funzioni sviluppate nell'Esercizio 7.12 per scrivere un programma che distribuisce due mani di poker di cinque carte, le valuta e determina qual è la mano migliore.

**7.14 (Progetto: mescolare e distribuire le carte)** Modificate il programma sviluppato nell'Esercizio 7.13 in modo che possa simulare la persona che distribuisce. Le cinque carte sono distribuite "a faccia in giù" cosicché l'altro giocatore non possa vederle. Il programma deve quindi valutare la mano del giocatore simulato che distribuisce e, basandosi sulla bontà della mano, questo giocatore deve prendere una, due o tre carte per sostituire un numero corrispondente di carte non buone della mano originaria. Il programma deve poi valutare di nuovo le carte di chi distribuisce. [Avvertimento: si tratta di un problema difficile!]

**7.15 (Progetto: mescolare e distribuire le carte)** Modificate il programma sviluppato nell'Esercizio 7.14 in modo che possa gestire automaticamente le carte del distributore, mentre al giocatore è consentito decidere quali carte sostituire. Il programma deve quindi valutare entrambe le mani e determinare chi vince. Ora usate questo nuovo programma per giocare 20 partite contro il computer. Chi vince più partite, voi o il computer? Fate giocare 20 partite contro il computer a un vostro amico. Chi vince più partite? Basandovi sui risultati di queste partite, fate le opportune modifiche per affinare il vostro programma di gioco del poker (anche questo è un problema difficile). Giocate altre 20 partite. Il vostro programma modificato gioca una partita migliore?

**7.16 (Modifica al programma per mescolare e distribuire le carte)** Nel programma che mescola e distribuisce le carte della Figura 7.24 abbiamo intenzionalmente usato un algoritmo inefficiente per mescolare le carte che introduceva la possibilità di posposizione indefinita. In questo esercizio svilupperete un algoritmo a elevate prestazioni per mescolare le carte che evita la posposizione indefinita.

Modificate il programma della Figura 7.24 come segue. Cominciate inizializzando l'array `deck` come mostrato nella Figura 7.29. Modificate la funzione `shuffle` per effettuare un'iterazione riga per riga e colonna per colonna lungo l'array, visitando i vari elementi una volta soltanto. Ogni elemento deve essere scambiato con un elemento dell'array selezionato a caso. Stampate l'array risultante per verificare se il mazzo di carte è mescolato in modo soddisfacente (come mostrato, ad esempio, nella Figura 7.30). Per assicurarvi che sia mescolato in modo soddisfacente, fate sì che il vostro programma chiami diverse volte la funzione `shuffle`.

| Array deck non mescolato |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                          | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| 0                        | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1                        | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 2                        | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
| 3                        | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 |

**Figura 7.29** Array deck non mescolato.

| Esempio di array deck mescolato |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| 0                               | 19 | 40 | 27 | 25 | 36 | 46 | 10 | 34 | 35 | 41 | 18 | 2  | 44 |
| 1                               | 13 | 28 | 14 | 16 | 21 | 30 | 8  | 11 | 31 | 17 | 24 | 7  | 1  |
| 2                               | 12 | 33 | 15 | 42 | 43 | 23 | 45 | 3  | 29 | 32 | 4  | 47 | 26 |
| 3                               | 50 | 38 | 52 | 39 | 48 | 51 | 9  | 5  | 37 | 49 | 22 | 6  | 20 |

**Figura 7.30** Esempio di array deck mescolato.

Sebbene l'approccio descritto in questo problema migliori l'algoritmo per mescolare le carte, l'algoritmo di distribuzione richiede ancora la ricerca nell'array `deck` per la carta 1, poi per la carta 2, poi per la carta 3 e così via. Peggio ancora, anche dopo che l'algoritmo localizza e dà una carta, questo continua a cercarla nel resto del mazzo. Modificate il programma della Figura 7.24 così che, una volta che una carta è stata localizzata e data, non vengano fatti ulteriori tentativi per cercarla e il programma proceda immediatamente a distribuire le carte successive. Nel Capitolo 10 svilupperemo un algoritmo per mescolare le carte che richiede soltanto un'operazione per carta.

- 7.17 (Simulazione: la tartaruga e la lepre)** In questo problema ricreerete uno dei momenti veramente grandi della storia, ossia la classica gara tra la tartaruga e la lepre. Userete la generazione di numeri casuali per sviluppare una simulazione di questo memorabile evento.

I nostri contendenti iniziano la gara al "quadrato 1" di 70 quadrati. Ogni quadrato rappresenta una possibile posizione lungo il percorso della corsa. Il traguardo è al quadrato 70. Il primo contendente che raggiunge o supera il quadrato 70 è ricompensato con un secchio di carote e lattughe fresche. Il percorso si inerpica sul fianco di una montagna scivolosa, per cui i contendenti perdono occasionalmente terreno.

C'è un orologio che conta i secondi. A ogni tick dell'orologio il vostro programma deve aggiornare la posizione degli animali secondo le regole della Figura 7.31.

| Animale   | Tipo di mossa     | Percentuale di tempo | Mossa effettiva          |
|-----------|-------------------|----------------------|--------------------------|
| Tartaruga | Passo veloce      | 50%                  | 3 quadrati in avanti     |
|           | Scivolata         | 20%                  | 6 quadrati all'indietro  |
|           | Passo lento       | 30%                  | 1 quadrato in avanti     |
| Lepre     | Riposo            | 20%                  | Nessuna mossa            |
|           | Grande balzo      | 20%                  | 9 quadrati in avanti     |
|           | Grande scivolata  | 10%                  | 12 quadrati all'indietro |
|           | Piccolo balzo     | 30%                  | 1 quadrato in avanti     |
|           | Piccola scivolata | 20%                  | 2 quadrati all'indietro  |

**Figura 7.31** Regole per aggiornare le posizioni della tartaruga e della lepre.

Usate delle variabili per tenere traccia delle posizioni degli animali (i numeri delle posizioni sono da 1 a 70). Fate partire ogni animale dalla posizione 1 (cioè ai "cancelli di partenza"). Se un animale scivola a sinistra prima del quadrato 1, riportatelo al quadrato 1. Realizzate le percentuali nella tabella precedente generando un intero a caso,  $i$ , nell'intervallo  $1 \leq i \leq 10$ . Per la tartaruga eseguite un "passo veloce" quando  $1 \leq i \leq 5$ , una "scivolata" quando  $6 \leq i \leq 7$  o un "passo lento" quando  $8 \leq i \leq 10$ . Usate una tecnica simile per muovere la lepre.

Iniziate la gara stampando

BANG !!!!

AND THEY'RE OFF !!!!

Quindi, per ogni tick dell'orologio (ossia per ogni iterazione di un ciclo), stampate una riga di 70 posizioni che mostra la lettera T nella posizione della tartaruga e la lettera H nella posizione della lepre. Occasionalmente, i contendenti si troveranno sullo stesso quadrato. In questo caso la tartaruga morde la lepre e il vostro programma deve stampare OUCH!!! iniziando da quella posizione. Tutte le posizioni di stampa diverse dalla T, dall'H o dall'OUCH!!! (in caso di parità) devono essere spazi bianchi.

Dopo la stampa di ogni riga, verificate se gli animali hanno raggiunto o superato il quadrato 70. Se è così, stampate il nome del vincitore e terminate la simulazione. Se vince la tartaruga, stampate TORTOISE WINS!!! YAY!!! Se vince la lepre, stampate Hare wins. Yuch. Se allo stesso tick dell'orologio vincono tutti e due gli animali, potrete voler favorire la tartaruga (la "sfavorita"), oppure stampare It's a tie. Se non vince alcun animale, eseguite una nuova iterazione per simulare il successivo tick dell'orologio. Quando siete pronti per l'esecuzione del vostro programma, riunite un gruppo di fan che assistano alla gara. I vostri spettatori saranno talmente coinvolti che vi divertirete!

- 7.18 (Modifica del programma per mescolare e distribuire le carte)** Modificate il programma che mescola e distribuisce le carte della Figura 7.24, così che le operazioni di mescolamento e distribuzione siano eseguite dalla stessa funzione (`shuffleAndDeal`). La funzione deve contenere una struttura di ripetizione annidata simile alla funzione `shuffle` nella Figura 7.24.

7.19 Cosa fa questo programma, supponendo che l'utente inserisca due stringhe di uguale lunghezza?

```

1 // ex07_19.c
2 // Cosa fa questo programma?
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 80
5
6 void mystery1(char *s1, const char *s2); // prototipo
7
8 int main(void)
9 {
10 char string1[SIZE]; // crea un array di char
11 char string2[SIZE]; // crea un array di char
12
13 puts("Enter two strings: ");
14 scanf("%79s%79s", string1, string2);
15 mystery1(string1, string2);
16 printf("%s", string1);
17 }
18
19 // Cosa fa questa funzione?
20 void mystery1(char *s1, const char *s2)
21 {
22 while (*s1 != '\0') {
23 ++s1;
24 }
25
26 for (; *s1 = *s2; ++s1, ++s2) {
27 ; // istruzione vuota
28 }
29 }
```

7.20 Cosa fa questo programma?

```

1 // ex07_20.c
2 // cosa fa questo programma?
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 80
5
6 int mystery2(const char *s); // prototipo
7
8 int main(void)
9 {
10 char string[SIZE]; // crea un array di char
11
12 puts("Enter a string: ");
13 scanf("%79s", string);
14 printf("%d\n", mystery2(string));
15 }
16
17 // Cosa fa questa funzione?
```

```
18 int mystery2(const char *s)
19 {
20 size_t x;
21
22 // effettua un ciclo lungo la stringa
23 for (x = 0; *s != '\0'; ++s) {
24 ++x;
25 }
26
27 return x;
28 }
```

7.21 Trovate l'errore in ognuno dei seguenti segmenti di programma. Se l'errore può essere corretto, spiegate come.

- a) `int *number;  
printf("%d\n", *number);`
- b) `float *realPtr;  
long *integerPtr;  
integerPtr = realPtr;`
- c) `int * x, y;  
x = y;`
- d) `char s[] = "this is a character array";  
int count;  
for (; *s != '\0'; ++s)  
 printf("%c ", *s);`
- e) `short *numPtr, result;  
void *genericPtr = numPtr;  
result = *genericPtr + 7;`
- f) `float x = 19.34;  
float xPtr = &x;  
printf("%f\n", xPtr);`
- g) `char *s;  
printf("%s\n", s);`

7.22 (*Attraversamento del labirinto*) La griglia seguente è la rappresentazione con un array bidimensionale di un labirinto.

```
#
. . . #
. . # . # . # # # . #
. # # .
. . . . # # # . # . .
. # . # . # .
. # . # . # . # .
. # .
. # # # .
. # . . .
#
```

I simboli # rappresentano le pareti del labirinto e i punti (.) rappresentano dei quadrati nei possibili percorsi attraverso il labirinto.

Vi è un semplice algoritmo per attraversare un labirinto che garantisce di trovare l'uscita (supponendo che ve ne sia una). Se non vi è un'uscita, ritornerete al punto di partenza. Mettete la mano destra sulla parete alla vostra destra e iniziate a camminare in avanti. Non togliete mai la mano dal muro. Se il labirinto gira a destra, seguite la parete alla destra. Se non toglierete la mano dal muro, giungerete alla fine all'uscita del labirinto. Può darsi che vi sia un percorso più breve di quello che avete trovato, ma avete la garanzia di uscire dal labirinto.

Scrivete una funzione ricorsiva `mazeTraverse` per attraversare il labirinto. La funzione deve ricevere come argomenti un array di caratteri 12 per 12 che rappresenta il labirinto e il punto di partenza del labirinto. Mentre `mazeTraverse` tenta di trovare l'uscita dal labirinto, deve mettere il carattere x in ogni quadrato nel percorso. La funzione deve stampare il labirinto dopo ogni movimento, così l'utente può osservare come viene risolto il problema del suo attraversamento.

- 7.23 (Generare labirinti in modo casuale)** Scrivete una funzione `mazeGenerator` che riceve come argomento un array di caratteri 12 per 12 bidimensionale e produce a caso un labirinto. La funzione deve anche fornire i punti di partenza e di arrivo del labirinto. Provate la vostra funzione `mazeTraverse` dell'Esercizio 7.22 usando diversi labirinti generati a caso.
- 7.24 (Labirinti di ogni dimensione)** Generalizzate le funzioni `mazeTraverse` e `mazeGenerator` degli Esercizi 7.22–7.23 per trattare labirinti di qualsiasi larghezza e altezza.
- 7.25 (Array di puntatori a funzioni)** Riscrivete il programma della Figura 6.22 per usare un'interfaccia guidata da menu. Il programma deve offrire all'utente quattro opzioni, come segue:

```
Enter a choice:
0 Print the array of grades
1 Find the minimum grade
2 Find the maximum grade
3 Print the average on all tests for each student
4 End program
```

Una restrizione all'uso di array di puntatori a funzioni è costituita dal fatto che tutti i puntatori devono avere lo stesso tipo. I puntatori devono puntare a funzioni che restituiscano dati dello stesso tipo e che ricevono argomenti dello stesso tipo. Per questa ragione, le funzioni nella Figura 6.22 devono essere modificate, in modo che ognuna restituisca lo stesso tipo di dato e riceva gli stessi parametri. Modificate le funzioni `minimum` e `maximum` in modo che stampino il valore minimo o massimo e non restituiscano niente. Per l'opzione 3, modificate la funzione `average` della Figura 6.22 per inviare in uscita la media per ogni studente (non per uno studente specifico). La funzione `average` non deve restituire niente e deve ricevere gli stessi parametri di `printArray`, `mimimum` e `maximum`. Memorizzate i puntatori alle quattro funzioni nell'array `processGrades` e usate la scelta fatta dall'utente come indice dell'array per chiamare ogni funzione.

- 7.26** Cosa fa questo programma, supponendo che l'utente inserisca due stringhe della stessa lunghezza?

```

1 // ex07_26.c
2 // Cosa fa questo programma?
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 80
5
6 int mystery3(const char *s1, const char *s2); // prototipo
7
8 int main(void)
9 {
10 char string1[SIZE]; // crea un array di char
11 char string2[SIZE]; // crea un array di char
12
13 puts("Enter two strings: ");
14 scanf("%79s%79s", string1, string2);
15 printf("The result is %d\n", mystery3(string1, string2));
16 }
17
18 int mystery3(const char *s1, const char *s2)
19 {
20 int result = 1;
21
22 for (; *s1 != '\0' && *s2 != '\0'; ++s1, ++s2) {
23 if (*s1 != *s2) {
24 result = 0;
25 }
26 }
27
28 return result;
29 }
```

## Paragrafo speciale: costruite il vostro computer

Nei prossimi esercizi ci discosteremo temporaneamente dal mondo della programmazione con linguaggi ad alto livello. "Apriremo" un computer e guarderemo la sua struttura interna. Introduceremo la programmazione in linguaggio macchina, con il quale scriveremo diversi programmi. Affinché questa risulti un'esperienza particolarmente preziosa, costruiremo quindi un computer (con la tecnica della simulazione software) sul quale potrete eseguire i vostri programmi in linguaggio macchina!

**7.27 (Programmazione in linguaggio macchina)** Creiamo un computer che chiameremo Simpletron. Come indica il suo nome, si tratta di una macchina semplice, ma, come presto vedremo, allo stesso tempo potente. Il Simpletron esegue programmi scritti nell'unico linguaggio che comprende direttamente, vale a dire il *Simpletron Machine Language* o, abbreviato, SML.

Il Simpletron contiene un *accumulatore*, un "registro speciale" in cui le informazioni sono depositate prima che il computer le usi nei calcoli o le esamini in vari modi. Tutte le informazioni nel Simpletron sono trattate in termini di *parole*. Una parola è un numero decimale di quattro cifre con segno come +3364, -1293, +0007, -0001 e così via. Il Simpletron è dotato di una memoria di 100 parole e a queste parole si fa riferimento con i loro numeri di locazione 00, 01, ..., 99.

Prima di eseguire un programma in SML, dobbiamo *caricarlo* o metterlo in memoria. La prima istruzione di ogni programma in SML è sempre posta nella locazione 00.

Ogni istruzione scritta in SML occupa una parola di memoria del Simpletron, così le istruzioni sono numeri decimali di quattro cifre con un segno. Supponiamo che il segno di un'istruzione in SML sia sempre il più, ma il segno di una parola di dati può essere il più oppure il meno. Ogni locazione nella memoria del Simpletron può contenere un'istruzione, un dato usato da un programma o un'area inutilizzata (e quindi indefinita) della memoria. Le prime due cifre di ogni istruzione in SML sono il *codice operativo*, il quale specifica l'operazione da eseguire. I codici operativi del SML sono riepilogati nella Figura 7.32.

| Codice operativo                                  | Significato                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Operazioni di input/output:</i>                |                                                                                                                                      |
| #define READ 10                                   | Leggi una parola dal terminale e inseriscila in una specifica locazione in memoria.                                                  |
| #define WRITE 11                                  | Scrivi sul terminale una parola memorizzata in una specifica locazione in memoria.                                                   |
| <i>Operazioni di caricamento/memorizzazione:</i>  |                                                                                                                                      |
| #define LOAD 20                                   | Carica una parola da una specifica locazione in memoria nell'accumulatore.                                                           |
| #define STORE 21                                  | Memorizza una parola dall'accumulatore in una specifica locazione in memoria.                                                        |
| <i>Operazioni aritmetiche:</i>                    |                                                                                                                                      |
| #define ADD 30                                    | Somma una parola in una specifica locazione in memoria alla parola nell'accumulatore (lascia il risultato nell'accumulatore).        |
| #define SUBTRACT 31                               | Sottrai una parola in una specifica locazione in memoria dalla parola nell'accumulatore (lascia il risultato nell'accumulatore).     |
| #define DIVIDE 32                                 | Dividi la parola nell'accumulatore per una parola in una specifica locazione in memoria (lascia il risultato nell'accumulatore).     |
| #define MULTIPLY 33                               | Moltiplica la parola nell'accumulatore per una parola in una specifica locazione in memoria (lascia il risultato nell'accumulatore). |
| <i>Operazioni di trasferimento del controllo:</i> |                                                                                                                                      |
| #define BRANCH 40                                 | Salta a una specifica locazione in memoria.                                                                                          |
| #define BRANCHNEG 41                              | Se l'accumulatore è negativo, salta a una specifica locazione in memoria.                                                            |
| #define BRANCHZERO 42                             | Se l'accumulatore è zero, salta a una specifica locazione in memoria.                                                                |
| #define HALT 43                                   | Halt, cioè il programma ha completato il suo compito.                                                                                |

**Figura 7.32** Codici operativi del linguaggio macchina del Simpletron (SML).

Le ultime due cifre di un'istruzione in SML costituiscono l'*operando*, che è l'indirizzo della locazione di memoria contenente la parola alla quale si applica l'operazione. Ora consideriamo diversi semplici programmi in SML. Il seguente programma in SML legge due numeri dalla tastiera e calcola e stampa la loro somma. L'istruzione `+1007` legge il primo numero dalla tastiera e lo colloca nella locazione `07` (che è stata inizializzata a zero). Poi `+1008` legge il numero successivo e lo colloca nella locazione `08`. L'istruzione `load`, `+2007`, mette il primo numero nell'accumulatore e l'istruzione `add`, `+3008`, addiziona il secondo numero al numero nell'accumulatore. *Tutte le istruzioni aritmetiche del SML lasciano i loro risultati nell'accumulatore.* L'istruzione `store`, `+2109`, colloca il risultato nella locazione di memoria `09`, dalla quale l'istruzione `write`, `+1109`, riceve il numero e lo stampa (come numero decimale di quattro cifre con segno). L'istruzione `halt`, `+4300`, termina l'esecuzione.

| Esempio 1<br>Locazione | Numero | Istruzione   |
|------------------------|--------|--------------|
| 00                     | +1007  | (Read A)     |
| 01                     | +1008  | (Read B)     |
| 02                     | +2007  | (Load A)     |
| 03                     | +3008  | (Add B)      |
| 04                     | +2109  | (Store C)    |
| 05                     | +1109  | (Write C)    |
| 06                     | +4300  | (Halt)       |
| 07                     | +0000  | (Variable A) |
| 08                     | +0000  | (Variable B) |
| 09                     | +0000  | (Result C)   |

Il seguente programma in SML legge due numeri dalla tastiera e determina e stampa il valore più grande. Si noti l'uso dell'istruzione `+4107` come trasferimento condizionato del controllo (salto), pressoché lo stesso dell'istruzione `if` del C.

| Esempio 2<br>Locazione | Numero | Istruzione              |
|------------------------|--------|-------------------------|
| 00                     | +1009  | (Read A)                |
| 01                     | +1010  | (Read B)                |
| 02                     | +2009  | (Load A)                |
| 03                     | +3110  | (Subtract B)            |
| 04                     | +4107  | (Branch negative to 07) |
| 05                     | +1109  | (Write A)               |
| 06                     | +4300  | (Halt)                  |
| 07                     | +1110  | (Write B)               |
| 08                     | +4300  | (Halt)                  |
| 09                     | +0000  | (Variable A)            |
| 10                     | +0000  | (Variable B)            |

Adesso scrivete alcuni programmi in SML per eseguire ognuna delle seguenti operazioni.

- a) Usare un ciclo controllato da sentinella per leggere interi positivi e per calcolare e stampare la loro somma.
- b) Usare un ciclo controllato da contatore per leggere sette numeri, alcuni positivi e alcuni negativi, e per calcolare e stampare la loro media.
- c) Leggere una serie di numeri e determinare e stampare il numero più grande. Il primo numero letto indica quanti numeri vanno elaborati.
- 7.28 (*Un simulatore di computer*) Sulle prime può sembrare esagerato, ma in questo problema costruirete il vostro computer. No, non unirete insieme dei componenti. Piuttosto, userete la potente tecnica della *simulazione software* per creare un *modello software* del Simpletron. Non sarete delusi. Il vostro simulatore del Simpletron trasformerà il computer che state usando in un Simpletron, e sarete realmente in grado di eseguire, testare e correggere i programmi in SML che avete scritto nell'Esercizio 7.27.

Quando eseguite il vostro simulatore del Simpletron, questo deve iniziare l'elaborazione stampando:

```
*** Welcome to Simpletron! ***
*** Please enter your program one instruction ***
*** (or data word) at a time. I will type the ***
*** location number and a question mark (?). ***
*** You then type the word for that location. ***
*** Type the sentinel -99999 to stop entering ***
*** your program. ***
```

Simulate la memoria del Simpletron con un array unidimensionale `memory` di 100 elementi. Ora supponiamo che il simulatore sia in esecuzione. Analizziamo il dialogo mentre inseriamo il programma dell'Esempio 2 dell'Esercizio 7.27:

```
00 ? +1009
01 ? +1010
02 ? +2009
03 ? +3110
04 ? +4107
05 ? +1109
06 ? +4300
07 ? +1110
08 ? +4300
09 ? +0000
10 ? +0000
11 ? -99999
*** Program loading completed ***
*** Program execution begins ***
```

Il programma in SML è stato adesso collocato (o caricato) nell'array `memory`. Ora il Simpletron esegue il programma in SML. Inizia con l'istruzione nella locazione 00 e continua in modo sequenziale, a meno che non venga diretto in qualche altra parte del programma con un trasferimento del controllo.

Usate la variabile `accumulator` per rappresentare il registro dell'accumulatore. Usate la variabile `instructionCounter` per tenere traccia della locazione in memoria che contiene l'istruzione che viene eseguita. Usate la variabile `operationCode` per indicare l'operazione che viene eseguita correntemente, ossia le due cifre a sinistra della parola dell'istruzione.

Usate la variabile `operand` per indicare la locazione di memoria su cui opera l'istruzione corrente. Così, se un'istruzione ha un `operand`, questo è formato dalle due cifre più a destra dell'istruzione. Non fate eseguire le istruzioni direttamente dalla memoria. Invece, trasferite la successiva istruzione che deve essere eseguita dalla memoria in una variabile chiamata `instructionRegister`, poi "prelevate" le due cifre a sinistra e mettetele nella variabile `operationCode` e "prelevate" le due cifre a destra e mettetele in `operand`.

Quando il Simpletron inizia l'esecuzione, i suoi registri sono inizializzati come segue:

|                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| <code>accumulator</code>         | <code>+0000</code> |
| <code>instructionCounter</code>  | <code>00</code>    |
| <code>instructionRegister</code> | <code>+0000</code> |
| <code>operationCode</code>       | <code>00</code>    |
| <code>operand</code>             | <code>00</code>    |

Ora "seguiamo da vicino" l'esecuzione della prima istruzione in SML, `+1009` nella locazione di memoria `00`. Questo processo di esecuzione è chiamato *ciclo di esecuzione delle istruzioni*. L'`instructionCounter` ci dice la locazione della prossima istruzione da eseguire. Preleviamo i contenuti da quella locazione di memoria tramite l'istruzione in C

```
instructionRegister = memory[instructionCounter];
```

Il codice operativo e l'operando sono estratti dal registro delle istruzioni tramite le istruzioni in C

```
operationCode = instructionRegister / 100;
operand = instructionRegister % 100;
```

Adesso il Simpletron deve verificare che il codice operativo è proprio un *read* (invece che un *write*, un *load* e così via). Un'istruzione *switch* distingue tra le dodici operazioni del SML. L'istruzione *switch* simula il comportamento di varie istruzioni del SML nel modo seguente (lasciamo le altre al lettore):

```
read: scanf("%d", &memory[operand]);
load: accumulator = memory[operand];
add: accumulator += memory[operand];
Varie istruzioni di salto: Le esamineremo a breve.
halt: Questa istruzione scrive il messaggio
*** Simpletron execution terminated ***
```

poi vengono stampati il nome e i contenuti di ogni registro, come pure i contenuti completi della memoria. Una tale stampa completa viene chiamata *dump* (ovvero "immagine della memoria") *del computer*. Per aiutarvi a programmare la vostra funzione *dump*, nella Figura 7.33 è mostrato un esempio di formato del *dump*. Un *dump* successivo all'esecuzione di un programma sul Simpletron mostra i valori effettivi delle istruzioni e i valori dei dati al momento in cui l'esecuzione è terminata. Potete stampare gli zeri iniziali davanti a un intero che è più corto della sua ampiezza di campo, mettendo lo `0` prima del valore dell'ampiezza del campo nello specificatore di formato, come in `%02d`. Potete anche porre un segno + oppure - prima del valore. Così per stampare un numero della forma `+0000`, potete usare lo specificatore di formato `%+05d`.

| REGISTERS:          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| accumulator         |       | +0000 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| instructionCounter  |       | 00    |       |       |       |       |       |       |       |       |
| instructionRegister |       | +0000 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| operationCode       |       | 00    |       |       |       |       |       |       |       |       |
| operand             |       | 00    |       |       |       |       |       |       |       |       |
| MEMORY:             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                     | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| 0                   | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 |
| 10                  | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 |
| 20                  | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 |
| 30                  | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 |
| 40                  | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 |
| 50                  | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 |
| 60                  | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 |
| 70                  | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 |
| 80                  | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 |
| 90                  | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 | +0000 |

Figura 7.33 Esempio di formato del dump del Simpletron.

Procediamo con l'esecuzione della prima istruzione del nostro programma, ossia +1009 memorizzata nella locazione 00. Come abbiamo indicato, l'istruzione switch la simula eseguendo l'istruzione C

```
scanf("%d", &memory[operand]);
```

Prima che scanf sia eseguita, va stampato sullo schermo un punto interrogativo (?) per richiedere l'input all'utente. Il Simpletron aspetta che l'utente scriva un valore e poi prema il tasto Invio. Il valore viene allora letto e memorizzato nella locazione 09.

A questo punto la simulazione della prima istruzione è completata. Tutto quel che resta è predisporre il Simpletron a eseguire l'istruzione successiva. Poiché l'istruzione appena eseguita non era un trasferimento del controllo, si deve semplicemente incrementare il registro contatore delle istruzioni come segue:

```
++instructionCounter;
```

Questo completa l'esecuzione simulata della prima istruzione. L'intero processo (ossia il ciclo di esecuzione dell'istruzione) ricomincia da capo con il prelevamento (*fetch*) della successiva istruzione da eseguire.

Adesso osserviamo come sono simulate le istruzioni di salto, cioè i trasferimenti di controllo. Tutto quello che dobbiamo fare è aggiustare adeguatamente il valore nel contatore delle istruzioni.

Pertanto, l'istruzione di salto non condizionato (40) è simulata all'interno dello switch come

```
instructionCounter = operand;
```

L'istruzione di salto condizionato "salta se l'accumulatore è zero" è simulata come

```
if (accumulator == 0) {
 instructionCounter = operand;
}
```

A questo punto dovreste implementare il vostro simulatore del Simpletron ed eseguire i programmi in SML che avete scritto nell'Esercizio 7.27. Potete perfezionare il linguaggio SML con ulteriori caratteristiche e implementarle nel vostro simulatore.

Il vostro simulatore deve controllare vari tipi di errore. Durante la fase di caricamento del programma, ad esempio, ogni numero che l'utente inserisce nella memoria del Simpletron deve stare nell'intervallo da -9999 a +9999. Il simulatore deve usare un ciclo while per verificare che ogni numero inserito sia compreso in questo intervallo, e, se non lo è, continuare a chiedere all'utente di reinserire il numero finché non viene inserito un numero corretto.

Durante la fase di esecuzione il vostro simulatore deve controllare gli errori gravi, come, ad esempio, tentativi di dividere per zero, tentativi di eseguire codici operativi non validi e overflow dell'accumulatore (vale a dire operazioni aritmetiche che producono valori più grandi di +9999 o più piccoli di -9999). Tali gravi errori sono chiamati *errori irreversibili*. Quando viene individuato un errore irreversibile, deve essere stampato un messaggio di errore come

\*\*\* Attempt to divide by zero \*\*\*

\*\*\* Simpletron execution abnormally terminated \*\*\*

e un dump completo del computer nel formato che abbiamo esaminato precedentemente. Questo aiuterà l'utente a localizzare l'errore nel programma.

*Nota di implementazione:* quando implementate il simulatore del Simpletron, definite l'array `memory` e tutti i registri come variabili in `main`. Il programma deve contenere altre tre funzioni: `load`, `execute` e `dump`. La funzione `load` legge le istruzioni in SML dall'utente alla tastiera. (Dopo aver studiato l'elaborazione di file nel Capitolo 11, sarete in grado di leggere le istruzioni in SML da un file.) La funzione `execute` esegue il programma in SML caricato nell'array `memory`. La funzione `dump` stampa i contenuti di `memory` e di tutti i registri memorizzati nelle variabili di `main`. Passate l'array `memory` e i registri alle altre funzioni quando ciò risulta necessario per l'esecuzione dei loro compiti. Le funzioni `load` ed `execute` hanno bisogno di modificare le variabili definite in `main`, per cui dovete passare quelle variabili a queste funzioni per riferimento usando i puntatori. Pertanto, dovete modificare le istruzioni che abbiamo visto nel corso della descrizione di questo problema per usare la notazione appropriata con i puntatori.

**7.29 (Modifiche al simulatore del Simpletron)** Nell'Esercizio 7.28 avete realizzato la simulazione software di un computer che esegue programmi scritti nel linguaggio macchina del Simpletron (SML). In questo esercizio proponiamo diverse modifiche e miglioramenti al simulatore del Simpletron. Negli Esercizi 12.26 e 12.27 proponiamo la costruzione di un compilatore che trasforma i programmi scritti in un linguaggio di programmazione ad alto livello (una variante del BASIC) nel linguaggio macchina del Simpletron. Potrebbero essere necessari alcuni dei miglioramenti e delle modifiche che seguono per eseguire i programmi prodotti dal compilatore.

- Estendete la memoria del simulatore del Simpletron in modo da contenere 1000 locazioni di memoria per consentire al Simpletron di eseguire programmi più grandi.
- Fate sì che il simulatore possa calcolare il resto della divisione. Questo richiede un'ulteriore istruzione del linguaggio macchina del Simpletron.
- Fate sì che il simulatore possa calcolare l'elevamento a potenza. Questo richiede un'ulteriore istruzione del linguaggio macchina del Simpletron.
- Modificate il simulatore in modo da usare valori esadecimali invece che valori interi per rappresentare le istruzioni del linguaggio macchina del Simpletron.

- e) Modificate il simulatore per permettere l'output di un newline. Questo richiede un'ulteriore istruzione del linguaggio macchina del Simpletron.
- f) Modificate il simulatore per elaborare valori in virgola mobile oltre che valori interi.
- g) Modificate il simulatore per gestire l'input di stringhe. [Suggerimento: ogni parola del Simpletron può essere divisa in due parti, ognuna contenente un intero di due cifre. Ogni intero di due cifre rappresenta l'equivalente decimale ASCII di un carattere. Aggiungete un'istruzione nel linguaggio macchina che legge una stringa e la memorizza a partire da una specifica locazione di memoria del Simpletron. La prima metà della parola in quella locazione conterrà come valore il conteggio del numero di caratteri nella stringa (cioè la lunghezza della stringa). Ogni metà di parola in successione contiene un carattere ASCII rappresentato con due cifre decimali. La nuova istruzione in linguaggio macchina deve convertire ogni carattere nel suo equivalente valore ASCII e assegnarlo a una metà di parola.]
- h) Modificate il simulatore per gestire l'output di stringhe memorizzate nel formato di cui al punto (g). [Suggerimento: aggiungete un'istruzione nel linguaggio macchina che stampa una stringa iniziando da una specifica locazione di memoria del Simpletron. La prima metà della parola in quella locazione è la lunghezza della stringa in caratteri. Ogni metà di parola in successione contiene un carattere ASCII espresso come due cifre decimali. La nuova istruzione in linguaggio macchina controlla la lunghezza e stampa la stringa traducendo ogni numero di due cifre nel suo carattere equivalente.]

## Esercizi con array di puntatori a funzioni

**7.30 (Calcolo della circonferenza del cerchio, dell'area del cerchio o del volume della sfera usando puntatori a funzioni)** Usando le tecniche che avete appreso nella Figura 7.28, realizzate un programma guidato da menu testuale che permetta all'utente di scegliere se calcolare la circonferenza di un cerchio, l'area di un cerchio o il volume di una sfera. Il programma deve poi leggere il valore del raggio fornito dall'utente, eseguire il calcolo appropriato e stampare il risultato. Usate un array di puntatori a funzioni in cui ogni puntatore rappresenta una funzione che restituisce void e riceve un parametro double. Le funzioni corrispondenti devono stampare ognuna un messaggio che indica quale calcolo è stato eseguito, il valore del raggio e il risultato del calcolo.

**7.31 (Calcolatore che usa puntatori a funzioni)** Usando le tecniche che avete imparato nella Figura 7.28, realizzate un programma guidato da menu testuale che permetta all'utente di scegliere se sommare, sottrarre, moltiplicare o dividere due numeri. Il programma deve quindi leggere due valori double forniti dall'utente, effettuare il calcolo appropriato e stampare il risultato. Usate un array di puntatori a funzioni in cui ogni puntatore rappresenta una funzione che restituisce void e riceve due parametri double. Le funzioni corrispondenti devono ognuna stampare un messaggio che indica quale calcolo è stato eseguito, i valori dei parametri e il risultato del calcolo.

## Prove sul campo

7.32 (*Sondaggio*) Internet e il web stanno consentendo a più persone di creare contatti sociali, unirsi a una causa, esprimere opinioni, e così via. Nel 2008 i candidati alla presidenza degli Stati Uniti hanno usato Internet in maniera intensiva per diffondere i loro messaggi e raccogliere fondi per le loro campagne elettorali. In questo esercizio scriverete un semplice programma per un sondaggio che permetta agli utenti di dare un voto a cinque problemi di coscienza sociale usando valori da 1 (il meno importante) a 10 (il più importante). Scegliete cinque cause importanti per voi (es. problemi politici, problemi ecologici globali). Usate un array unidimensionale `topics` (di tipo `char *`) per memorizzare le cinque cause. Per riassumere le risposte del sondaggio, usate un array bidimensionale `responses` di 5 righe e 10 colonne (di tipo `int`), ogni riga corrispondente a un elemento nell'array `topics`. Quando il programma viene eseguito, deve chiedere all'utente di valutare ogni problema. Fate partecipare al sondaggio i vostri amici e familiari, poi fate stampare al programma un riepilogo dei risultati comprendente:

- Un rapporto tabellare con i cinque argomenti lungo il lato sinistro e i 10 voti lungo la riga in alto, indicando in ogni colonna il numero di valutazioni pari a quel voto ricevute per ogni problema.
- Alla destra di ogni riga mostrate la media delle valutazioni per quel problema.
- Quale problema ha ricevuto il totale dei voti più alto? Stampate sia il problema che il totale dei voti.
- Quale problema ha ricevuto il totale dei voti più basso? Stampate sia il problema che il totale dei voti.

7.33 (*Calcolatore delle emissioni di anidride carbonica: array di puntatori a funzioni*) Usando array di puntatori a funzioni, come avete imparato in questo capitolo, potete specificare un insieme di funzioni che vengono chiamate con gli stessi tipi di argomenti e restituiscono lo stesso tipo di dati. Governi e aziende di tutto il mondo si stanno sempre più interessando alle emissioni di CO<sub>2</sub> (rilasci annuali di biossido di carbonio nell'atmosfera) da parte di edifici che bruciano vari tipi di combustibili per il riscaldamento, di veicoli che bruciano carburanti per i loro motori e così via. Molti scienziati ritengono questi gas con effetto serra responsabili del fenomeno chiamato riscaldamento globale. Create tre funzioni che permettano di calcolare l'emissione di CO<sub>2</sub>, rispettivamente, di un edificio, di un'automobile e di una bicicletta. Ogni funzione deve ricevere in ingresso dall'utente i dati corretti, poi deve calcolare e stampare l'emissione di CO<sub>2</sub>. (Consultate alcuni siti web che spiegano come calcolare le emissioni di CO<sub>2</sub>.) Ogni funzione non deve ricevere alcun parametro e deve restituire `void`. Scrivete un programma che richieda all'utente di inserire il tipo di emissione di CO<sub>2</sub> da calcolare, quindi chiama la funzione corrispondente tramite l'array di puntatori a funzioni. Per ogni tipo di emissione di CO<sub>2</sub>, stampate alcune informazioni e la quantità di emissione di CO<sub>2</sub> dell'oggetto.



## OBIETTIVI

- Usare la libreria di funzioni per il trattamento dei caratteri (`<cctype.h>`).
- Usare le funzioni di conversione di stringhe della libreria di funzioni di utilità generale (`<stdlib.h>`).
- Usare le funzioni di input/output di stringhe e caratteri della libreria standard di input/output (`<stdio.h>`).
- Usare le funzioni di elaborazione delle stringhe della libreria di funzioni per il trattamento delle stringhe (`<string.h>`).
- Usare le funzioni di gestione della memoria della libreria per il trattamento delle stringhe (`<string.h>`).

## 8.1 Introduzione

Il presente capitolo introduce le funzioni della Libreria Standard del C che facilitano l'elaborazione di stringhe e caratteri. Le funzioni permettono ai programmi di elaborare caratteri, stringhe, righe di testo e blocchi di memoria. Il capitolo prende in esame le tecniche utilizzate per sviluppare editor, word processor (elaboratori di testo), software per il layout di pagine, sistemi computerizzati per la composizione tipografica e altri tipi di software per l'elaborazione di testi. È possibile implementare le manipolazioni di testi eseguite da funzioni per la formattazione dell'input/output come `printf` e `scanf` usando le funzioni esaminate in questo capitolo.

### *Funzioni dell'Annex K del C11*

Come visto nel Paragrafo 8.11, l'Annex K *opzionale* del C11 descrive versioni più sicure di molte funzioni che presentiamo in questo capitolo. Come con `printf_s` e `scanf_s` per `printf` e `scanf`, bisognerebbe usare le versioni più sicure dell'Annex K, se disponibili per il proprio compilatore.

## 8.2 Nozioni fondamentali su stringhe e caratteri

I caratteri sono i blocchi costituenti fondamentali dei programmi sorgente. Ogni programma è composto da una sequenza di caratteri che, quando sono raggruppati insieme in modo sensato, è interpretata dal computer come una serie di istruzioni usate per eseguire un compito. Un program-

ma può contenere costanti carattere. Una costante carattere è un valore `int` rappresentato come un carattere tra virgolette singole. Il valore di una costante carattere è il valore intero del carattere nell'insieme dei caratteri della macchina. Per esempio, '`z`' rappresenta il valore intero di `z` e '`\n`' il valore intero del carattere newline (rispettivamente, 122 e 10 in ASCII).

Una stringa è una serie di caratteri trattati come unità singola. Una stringa può comprendere lettere, cifre e vari caratteri speciali come `+`, `-`, `*`, `/` e `$`. Le stringhe letterali, ovvero le stringhe costanti, sono scritte in C tra virgolette doppie come segue:

|                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| <code>"John Q. Doe"</code>            | (un nome)                |
| <code>"99999 Main Street"</code>      | (l'indirizzo di una via) |
| <code>"Waltham, Massachusetts"</code> | (una città e uno stato)  |
| <code>"(201) 555-1212"</code>         | (un numero di telefono)  |

Una stringa in C è un array di caratteri che termina con il carattere nullo ('`\0`'). A una stringa si accede mediante un puntatore al primo carattere nella stringa. Il valore di una stringa è l'indirizzo del suo primo carattere. Pertanto, in C, è corretto dire che una stringa è un puntatore, di fatto un puntatore al primo carattere della stringa. È proprio come gli array, in quanto le stringhe sono semplicemente array di caratteri.

È possibile inizializzare con una stringa un *array di caratteri* o una *variabile di tipo char \** in una definizione. Le definizioni

```
char color[] = "blue";
const char *colorPtr = "blue";
```

inizializzano ognuna una variabile con la stringa "blue". La prima definizione crea un array `color` di 5 elementi contenenti i caratteri '`b`', '`l`', '`u`' e '`\0`'. La seconda definizione crea la variabile puntatore `colorPtr` che punta alla stringa "blue" da qualche parte in memoria di sola lettura.

## Portabilità 8.1

 Il C standard indica che una stringa letterale è immutabile (cioè, non modificabile), ma questo non vale per tutti i compilatori. Se avete necessità di modificare una stringa letterale, questa deve essere memorizzata in un array di caratteri.

La precedente definizione di array poteva anche essere scritta come

```
char color[] = { 'b', 'l', 'u', 'e', '\0' };
```

Quando si definisce un array di caratteri per contenere una stringa, l'array deve essere abbastanza grande da memorizzare la stringa e il suo carattere nullo di terminazione. La definizione precedente determina automaticamente la dimensione dell'array in base al numero di inizializzatori (5) nella lista.

## Errore comune di programmazione 8.1

 Non allocare in un array di caratteri spazio sufficiente per memorizzare il carattere nullo che termina una stringa è un errore.

## Errore comune di programmazione 8.2

 Stampare una "stringa" che non contiene un carattere nullo di terminazione è un errore. La stampa continuerà dopo la fine della "stringa" finché non verrà incontrato un carattere nullo.



### Prevenzione di errori 8.1

*Quando memorizzate una stringa di caratteri in un array di caratteri, assicuratevi che l'array sia abbastanza grande da contenere la stringa più grande che sarà memorizzata. Il C permette la memorizzazione di stringhe di qualsiasi lunghezza. Se una stringa è più lunga dell'array di caratteri in cui deve essere memorizzata, i caratteri oltre la fine dell'array sovrascriveranno i dati in memoria dopo l'array.*

È possibile memorizzare una stringa in un array usando `scanf`. Ad esempio, l'istruzione seguente memorizza una stringa nell'array di caratteri `word[20]`:

```
scanf("%19s", word);
```

La stringa inserita dall'utente è memorizzata in `word`. La variabile `word` è un array, che è, naturalmente, un puntatore, per cui la & non è necessaria con l'argomento `word`. Ricordate dal Paragrafo 6.5.4 che la funzione `scanf` legge i caratteri finché non incontra uno spazio, una tabulazione, un newline o l'indicatore della fine del file. Così è possibile che, senza l'ampiezza di campo di 19 nello specificatore di conversione `%19s`, l'input dell'utente superi i 19 caratteri e che il vostro programma si arresti! Per questa ragione dovete *sempre* indicare un'ampiezza di campo quando usate `scanf` per leggere e memorizzare in un array di `char`. L'ampiezza di campo 19 nell'istruzione precedente garantisce che `scanf` legga un *massimo* di 19 caratteri e conservi l'ultimo carattere per il carattere nullo di terminazione della stringa. Questo evita che `scanf` scriva in memoria caratteri oltre la fine dell'array di caratteri. (Per leggere righe di input di lunghezza arbitraria si può usare la funzione non standard `readline` ancora ampiamente compatibile e solitamente inclusa in `stdio.h`.) Perché un array di caratteri sia stampato in modo appropriato come stringa deve contenere un carattere nullo di terminazione.



### Errore comune di programmazione 8.3

*Elaborare un singolo carattere come stringa. Una stringa è un puntatore, probabilmente un intero abbastanza grande. Un carattere invece è un intero piccolo (i valori ASCII vanno da 0 a 255). Su molti sistemi questo provoca un errore, perché gli indirizzi di memoria bassi sono riservati per scopi speciali, per esempio per gli handler (letteralmente "gestori") delle interruzioni del sistema operativo, e così si verificano "violazioni di accesso."*



### Errore comune di programmazione 8.4

*Passare un carattere come argomento a una funzione quando essa si aspetta una stringa (e viceversa) è un errore di compilazione.*

## 8.3 Libreria di funzioni per il trattamento dei caratteri

La libreria di funzioni per il trattamento dei caratteri (`<ctype.h>`) include diverse funzioni che eseguono test e manipolazioni utili di dati di tipo carattere. Ogni funzione riceve come argomento un `unsigned char` (rappresentato come un `int`) o `EOF`. Come abbiamo visto nel Capitolo 4, i caratteri sono spesso manipolati come interi, perché un carattere in C è un intero di un byte. `EOF` normalmente ha il valore `-1`. La Figura 8.1 riepiloga le funzioni della libreria per il trattamento dei caratteri.

| Prototipo                         | Descrizione della funzione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>int isblank(int c);</code>  | Restituisce un valore vero se <code>c</code> è un <i>carattere della classe blank</i> (uno spazio o un <code>/t</code> ) che separa le parole in una riga di testo e 0 (falso) altrimenti. [Nota: questa funzione non è disponibile nel Visual C++ di Microsoft.]                                                                                                    |
| <code>int isdigit(int c);</code>  | Restituisce un valore vero se <code>c</code> è una cifra e 0 (falso) altrimenti.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <code>int isalpha(int c);</code>  | Restituisce un valore vero se <code>c</code> è una <i>lettera</i> e 0 (falso) altrimenti.                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <code>int isalnum(int c);</code>  | Restituisce un valore vero se <code>c</code> è una <i>cifra</i> o una <i>lettera</i> e 0 (falso) altrimenti.                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <code>int isxdigit(int c);</code> | Restituisce un valore vero se <code>c</code> è una <i>cifra esadecimale</i> e 0 (falso) altrimenti. (Si veda l'Appendice C per una descrizione dettagliata di numeri binari, numeri ottali, numeri decimali e numeri esadecimali.)                                                                                                                                   |
| <code>int islower(int c);</code>  | Restituisce un valore vero se <code>c</code> è una <i>lettera minuscola</i> e 0 (falso) altrimenti.                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <code>int isupper(int c);</code>  | Restituisce un valore vero se <code>c</code> è una <i>lettera maiuscola</i> e 0 (falso) altrimenti.                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <code>int tolower(int c);</code>  | Se <code>c</code> è una <i>lettera maiuscola</i> , <code>tolower</code> restituisce <code>c</code> come <i>lettera minuscola</i> . Altrimenti, <code>tolower</code> restituisce l'argomento inalterato.                                                                                                                                                              |
| <code>int toupper(int c);</code>  | Se <code>c</code> è una <i>lettera minuscola</i> , <code>toupper</code> restituisce <code>c</code> come <i>lettera maiuscola</i> . Altrimenti, <code>toupper</code> restituisce l'argomento inalterato.                                                                                                                                                              |
| <code>int isspace(int c);</code>  | Restituisce un valore vero se <code>c</code> è un <i>carattere di spaziatura</i> – newline ( <code>'\n'</code> ), spazio ( <code>' '</code> ), avanzamento pagina ( <code>'\f'</code> ), ritorno a capo ( <code>'\r'</code> ), tab orizzontale ( <code>'\t'</code> ) o verticale ( <code>'\v'</code> ) – e 0 (falso) altrimenti.                                     |
| <code>int iscntrl(int c);</code>  | Restituisce un valore vero se <code>c</code> è un <i>carattere di controllo</i> – tab orizzontale ( <code>'\t'</code> ), tab verticale ( <code>'\v'</code> ), avanzamento pagina ( <code>'\f'</code> ), avviso ( <code>'\a'</code> ), backspace ( <code>'\b'</code> ), ritorno a capo ( <code>'\r'</code> ), newline ( <code>'\n'</code> ) e altri – e 0 altrimenti. |
| <code>int ispunct(int c);</code>  | Restituisce un valore vero se <code>c</code> è un <i>carattere stampabile diverso da uno spazio, da una cifra o da una lettera</i> – come <code>\$</code> , <code>#</code> , <code>(</code> , <code>)</code> , <code>[</code> , <code>]</code> , <code>{</code> , <code>}</code> , <code>:</code> , <code>:</code> , <code>%</code> – e restituisce 0 altrimenti.    |
| <code>int isprint(int c);</code>  | Restituisce un valore vero se <code>c</code> è un <i>carattere stampabile</i> (cioè un carattere visibile sullo schermo) <i>incluso uno spazio</i> e restituisce 0 (falso) altrimenti.                                                                                                                                                                               |
| <code>int isgraph(int c);</code>  | Restituisce un valore vero se <code>c</code> è un <i>carattere stampabile diverso da uno spazio</i> e restituisce 0 (falso) altrimenti.                                                                                                                                                                                                                              |

**Figura 8.1** Funzioni della libreria per il trattamento dei caratteri (<ctype.h>).

### 8.3.1 Funzioni `isdigit`, `isalpha`, `isalnum` e `isxdigit`

La Figura 8.2 illustra le funzioni `isdigit`, `isalpha`, `isalnum` e `isxdigit`. La funzione `isdigit` determina se il suo argomento è una cifra (0-9). La funzione `isalpha` determina se il suo argomento è una lettera maiuscola (A-Z) o una lettera minuscola (a-z). La funzione `isalnum` determina se il suo argomento è una lettera maiuscola, una lettera minuscola o una cifra. La funzione `isxdigit` determina se il suo argomento è una cifra esadecimale (A-F, a-f, 0-9).

```

1 // Fig. 8.2: fig08_02.c
2 // Uso delle funzioni isdigit, isalpha, isalnum e isxdigit
3 #include <stdio.h>
4 #include <ctype.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 printf("%s\n%s%s\n%s%s\n\n", "According to isdigit: ",
9 isdigit('8') ? "8 is a " : "8 is not a ", "digit",
10 isdigit('#') ? "# is a " : "# is not a ", "digit");
11
12 printf("%s\n%s%s\n%s%s\n%s%s\n\n",
13 "According to isalpha:",
14 isalpha('A') ? "A is a " : "A is not a ", "letter",
15 isalpha('b') ? "b is a " : "b is not a ", "letter",
16 isalpha('&') ? "& is a " : "& is not a ", "letter",
17 isalpha('4') ? "4 is a " : "4 is not a ", "letter");
18
19 printf("%s\n%s%s\n%s%s\n%s%s\n\n",
20 "According to isalnum:",
21 isalnum('A') ? "A is a " : "A is not a ",
22 "digit or a letter",
23 isalnum('8') ? "8 is a " : "8 is not a ",
24 "digit or a letter",
25 isalnum('#') ? "# is a " : "# is not a ",
26 "digit or a letter");
27
28 printf("%s\n%s%s\n%s%s\n%s%s\n\n",
29 "According to isxdigit:",
30 isxdigit('F') ? "F is a " : "F is not a ",
31 "hexadecimal digit",
32 isxdigit('J') ? "J is a " : "J is not a ",
33 "hexadecimal digit",
34 isxdigit('7') ? "7 is a " : "7 is not a ",
35 "hexadecimal digit",
36 isxdigit('$') ? "$ is a " : "$ is not a ",
37 "hexadecimal digit",
38 isxdigit('f') ? "f is a " : "f is not a ",
39 "hexadecimal digit");
40 }
```

```
According to isdigit:
8 is a digit
is not a digit

According to isalpha:
A is a letter
b is a letter
& is not a letter
4 is not a letter

According to isalnum:
A is a digit or a letter
8 is a digit or a letter
is not a digit or a letter

According to isxdigit:
F is a hexadecimal digit
J is not a hexadecimal digit
7 is a hexadecimal digit
$ is not a hexadecimal digit
f is a hexadecimal digit
```

**Figura 8.2** Uso delle funzioni `isdigit`, `isalpha`, `isalnum` e `isxdigit`.

Il programma della Figura 8.2 usa l'operatore condizionale (`?:`) per determinare se per ogni carattere esaminato si deve stampare la stringa "is a" o la stringa "is not a". Ad esempio, l'espressione

```
isdigit('8') ? "8 is a" : "8 is not a"
```

indica che se '8' è una cifra, viene stampata la stringa "8 is a", e se '8' non è una cifra (cioè `isdigit` restituisce 0), viene stampata la stringa "8 is not a".

### 8.3.2 Funzioni `islower`, `isupper`, `tolower` e `toupper`

La Figura 8.3 illustra le funzioni `islower`, `isupper`, `tolower` e `toupper`. La funzione `islower` determina se il suo argomento è una lettera minuscola (a-z). La funzione `isupper` determina se il suo argomento è una lettera maiuscola (A-Z). La funzione `tolower` converte una lettera maiuscola in una lettera minuscola e restituisce la lettera minuscola. Se l'argomento non è una lettera maiuscola, `tolower` restituisce l'argomento *invariato*. La funzione `toupper` converte una lettera minuscola in una lettera maiuscola e restituisce la lettera maiuscola. Se l'argomento non è una lettera minuscola, `toupper` restituisce l'argomento *invariato*.

```
1 // Fig. 8.3: fig08_03.c
2 // Uso delle funzioni islower, isupper, tolower, toupper
3 #include <stdio.h>
4 #include <ctype.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 printf("%s\n%s%s\n%s%s\n%s%s\n%s%s\n\n",
9 "According to islower:",
```

```

10 islower('p') ? "p is a " : "p is not a ",
11 "lowercase letter",
12 islower('P') ? "P is a " : "P is not a ",
13 "lowercase letter",
14 islower('5') ? "5 is a " : "5 is not a ",
15 "lowercase letter",
16 islower('!') ? "!" is a " : "!" is not a ",
17 "lowercase letter");
18
19 printf("%s\n%s%s\n%s%s\n%s%s\n%s%s\n\n",
20 "According to isupper:",
21 isupper('D') ? "D is an " : "D is not an ",
22 "uppercase letter",
23 isupper('d') ? "d is an " : "d is not an ",
24 "uppercase letter",
25 isupper('8') ? "8 is an " : "8 is not an ",
26 "uppercase letter",
27 isupper('$') ? "$ is an " : "$ is not an ",
28 "uppercase letter");
29
30 printf("%s%c\n%s%c\n%s%c\n%s%c\n",
31 "u converted to uppercase is ", toupper('u') ,
32 "7 converted to uppercase is ", toupper('7') ,
33 "$ converted to uppercase is ", toupper('$') ,
34 "L converted to lowercase is ", toupper('L'));
35 }

```

According to islower:  
 p is a lowercase letter  
 P is not a lowercase letter  
 5 is not a lowercase letter  
 ! is not a lowercase letter

According to isupper:  
 D is an uppercase letter  
 d is not an uppercase letter  
 8 is not an uppercase letter  
 \$ is not an uppercase letter

u converted to uppercase is U  
 7 converted to uppercase is 7  
 \$ converted to uppercase is \$  
 L converted to lowercase is l

**Figura 8.3** Uso delle funzioni `islower`, `isupper`, `tolower` e `toupper`.

### 8.3.3 Funzioni `isspace`, `iscntrl`, `ispunct`, `isprint` e `isgraph`

La Figura 8.4 illustra le funzioni `isspace`, `iscntrl`, `ispunct`, `isprint` e `isgraph`. La funzione `isspace` determina se un carattere è uno dei seguenti caratteri di spaziatura: spazio (' '), avanza-

mento pagina ('\f'), newline ('\n'), ritorno a capo ('\r'), tabulazione orizzontale ('\t') o tabulazione verticale ('\v'). La funzione `iscntrl` determina se un carattere è uno dei caratteri di controllo, quali tab orizzontale ('\t'), tab verticale ('\v'), avanzamento pagina ('\f'), avviso ('\a'), backspace ('\b'), ritorno a capo ('\r') o newline ('\n'). La funzione `ispunct` determina se un carattere è un carattere stampabile diverso da uno spazio, una cifra o una lettera, come \$, #, (, ), [ , ], {, }, :, : o %. La funzione `isprint` determina se un carattere può essere stampato sullo schermo (incluso il carattere di spazio). La funzione `isgraph` è come `isprint`, però non include il carattere di spazio.

```
1 // Fig. 8.4: fig08_04.c
2 // Uso delle funzioni isspace, iscntrl, ispunct, isprint, isgraph
3 #include <stdio.h>
4 #include <ctype.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 printf("%s\n%s%s%s\n%s%s%s\n%s%s\n\n",
9 "According to isspace:",
10 "Newline", isspace('\n') ? " is a " : " is not a ",
11 "whitespace character", "Horizontal tab",
12 isspace('\t') ? " is a " : " is not a ",
13 "whitespace character",
14 isspace('%') ? "% is a " : "% is not a ",
15 "whitespace character");
16
17 printf("%s\n%s%s%s\n%s%s\n\n", "According to iscntrl:",
18 "Newline", iscntrl('\n') ? " is a " : " is not a ",
19 "control character", iscntrl('$') ? "$ is a " :
20 "$ is not a ", "control character");
21
22 printf("%s\n%s%s\n%s%s\n%s%s\n\n",
23 "According to ispunct:",
24 ispunct(';') ? ";" is a " : "; is not a ",
25 "punctuation character",
26 ispunct('Y') ? "Y is a " : "Y is not a ",
27 "punctuation character",
28 ispunct('#') ? "#" is a " : "# is not a ",
29 "punctuation character");
30
31 printf("%s\n%s%s\n%s%s%s\n\n", "According to isprint:",
32 isprint('$') ? "$ is a " : "$ is not a ",
33 "printing character",
34 "Alert", isprint('\a') ? " is a " : " is not a ",
35 "printing character");
36
37 printf("%s\n%s%s\n%s%s%s\n", "According to isgraph:",
38 isgraph('Q') ? "Q is a " : "Q is not a ",
39 "printing character other than a space",
40 "Space", isgraph(' ') ? " is a " : " is not a ",
41 "printing character other than a space");
42 }
```

According to isspace:  
 Newline is a whitespace character  
 Horizontal tab is a whitespace character  
 % is not a whitespace character

According to iscntrl:  
 Newline is a control character  
 \$ is not a control character

According to ispunct:  
 ; is a punctuation character  
 Y is not a punctuation character  
 # is a punctuation character

According to isprint:  
 \$ is a printing character  
 Alert is not a printing character

According to isgraph:  
 Q is a printing character other than a space  
 Space is not a printing character other than a space

**Figura 8.4** Uso delle funzioni isspace, iscntrl, ispunct, isprint e isgraph.

## 8.4 Funzioni di conversione di stringhe

Questo paragrafo presenta le funzioni di conversione di stringhe della libreria di funzioni di utilità generale (`<stdlib.h>`). Queste funzioni convertono stringhe di cifre in valori interi e in virgola mobile. La Figura 8.5 riepiloga le funzioni di conversione di stringhe. Il C standard comprende anche `strtoll` e `strtoull` per convertire stringhe, rispettivamente, in valori `long long int` e `unsigned long long int`. Notate l'uso di `const` nella dichiarazione della variabile `nPtr` nelle intestazioni di funzione (che va letta da destra a sinistra come “`nPtr` è un puntatore a un carattere costante”); `const` specifica che il valore non sarà modificato.

| Prototipo della funzione                                                       | Descrizione della funzione                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <code>double strtod(const char *nPtr, char **endPtr);</code>                   | Converte la stringa <code>nPtr</code> in un <code>double</code> .        |
| <code>long strtol(const char *nPtr, char **endPtr, int base);</code>           | Converte la stringa <code>nPtr</code> in un <code>long</code> .          |
| <code>unsigned long strtoul(const char *nPtr, char **endPtr, int base);</code> | Converte la stringa <code>nPtr</code> in un <code>unsigned long</code> . |

**Figura 8.5** Funzioni di conversione di stringhe della libreria di funzioni di utilità generale.

### 8.4.1 Funzione strtod

La funzione **strtod** (Figura 8.6) converte una sequenza di caratteri che rappresenta un valore in virgola mobile in un valore **double**. La funzione restituisce 0 se non è in grado di convertire una porzione del suo primo argomento in **double**. La funzione riceve due argomenti: una stringa (**char \***) e un puntatore a una stringa (**char \*\***). L'argomento **stringa** contiene la sequenza di caratteri da convertire in un **double**. I caratteri di spaziatura all'inizio della stringa vengono ignorati. La funzione usa l'argomento **char \*\*** per modificare un oggetto **char \*** nella funzione chiamante (**stringPtr**) in modo che esso punti alla *locazione del primo carattere dopo la porzione della stringa che viene convertita* o all'intera stringa se non è possibile convertire alcuna parte di essa. La riga 11 indica che a **d** viene assegnato il valore **double** ottenuto dalla conversione di **string** e che a **stringPtr** è assegnato l'indirizzo del primo carattere in **string** dopo il valore convertito (51.2).

```

1 // Fig. 8.6: fig08_06.c
2 // Uso della funzione strtod
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 const char *string = "51.2% are admitted"; // inizializza string
9 char *stringPtr; // crea un puntatore a char
10
11 double d = strtod(string, &stringPtr);
12
13 printf("The string \"%s\" is converted to the\n", string);
14 printf("double value %.2f and the string \"%s\"\n", d, stringPtr);
15 }
```

The string "51.2% are admitted" is converted to the  
double value 51.20 and the string "% are admitted"

**Figura 8.6** Uso della funzione **strtod**.

### 8.4.2 Funzione strtol

La funzione **strtol** (Figura 8.7) converte in un valore **long int** una sequenza di caratteri che rappresenta un intero. La funzione restituisce 0 se non è in grado di convertire in un **long int** alcuna porzione del suo primo argomento. I tre argomenti della funzione sono una stringa (**char \***), un puntatore a una stringa e un intero. La stringa contiene la sequenza di caratteri da convertire in **long**. I caratteri di spaziatura all'inizio della stringa vengono ignorati. La funzione usa l'argomento **char \*\*** per modificare un **char \*** nella funzione chiamante (**remainderPtr**) in modo che esso punti alla *locazione del primo carattere dopo la porzione della stringa che viene convertita* o all'intera stringa se non è possibile convertire alcuna parte di essa. L'intero specifica la *base* del valore da convertire.

```

1 // Fig. 8.7: fig08_07.c
2 // Uso della funzione strtol
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5
```

```

6 int main(void)
7 {
8 const char *string = "-1234567abc"; // inizializza il puntatore
9 char *remainderPtr; // crea un puntatore a char
10
11 long x = strtol(string, &remainderPtr, 0);
12
13 printf("%s\"%s\"\n%s%ld\n%s\"%s\"\n%s%ld\n",
14 "The original string is ", string,
15 "The converted value is ", x,
16 "The remainder of the original string is ",
17 remainderPtr,
18 "The converted value plus 567 is ", x + 567);
19 }

```

```

The original string is "-1234567abc"
The converted value is -1234567
The remainder of the original string is "abc"
The converted value plus 567 is -1234000

```

**Figura 8.7** Uso della funzione `strtol`.

La riga 11 indica che a `x` viene assegnato il valore `long` che si ottiene dalla conversione di `string`. Al secondo argomento, `remainderPtr`, viene assegnato il resto di `string` dopo la conversione. L'uso di `NULL` per il secondo argomento fa sì che il *resto della stringa sia ignorato*. Il terzo argomento, `0`, indica che il valore da convertire può essere nel formato ottale (base 8), decimale (base 10) o esadecimale (16). La base può essere specificata come `0` oppure come qualsiasi valore tra 2 e 36 (vedi Appendice C per una descrizione dettagliata dei sistemi di numerazione ottale, decimale ed esadecimale). Le rappresentazioni numeriche di interi dalla base 11 alla base 36 usano i caratteri A–Z per rappresentare i valori da 10 a 35. Ad esempio, i valori esadecimali possono essere costituiti dalle cifre da 0 a 9 e dai caratteri A–F. Un intero in base 11 può essere costituito dalle cifre da 0 a 9 e dal carattere A. Un intero in base 24 può essere costituito dalle cifre da 0 a 9 e dai caratteri A–N. Un intero in base 36 può essere costituito dalle cifre da 0 a 9 e dai caratteri A–Z.

### 8.4.3 Funzione `strtoul`

La funzione `strtoul` (Figura 8.8) converte in un valore `unsigned long int` una sequenza di caratteri che rappresenta un intero senza segno. La funzione opera in maniera identica alla funzione `strtol`. La riga 11 indica che a `x` viene assegnato il valore `unsigned long int` che si ottiene dalla conversione di `string`. Al secondo argomento, `&remainderPtr`, è assegnato il resto di `string` dopo la conversione. Il terzo argomento, `0`, indica che il valore da convertire può essere in formato ottale, decimale o esadecimale.

```

1 // Fig. 8.8: fig08_08.c
2 // Uso della funzione strtoul
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5
6 int main(void)
7 {

```

```

8 const char *string = "1234567abc"; // inizializza il puntatore
9 char *remainderPtr; // crea un puntatore a char
10
11 unsigned long int x = strtoul(string, &remainderPtr, 0);
12
13 printf("%s\"%s\"\n%s%lu\n%s\"%s\"\n%s%lu\n",
14 "The original string is ", string,
15 "The converted value is ", x,
16 "The remainder of the original string is ",
17 remainderPtr,
18 "The converted value minus 567 is ", x - 567);
19 }

```

```

The original string is "1234567abc"
The converted value is 1234567
The remainder of the original string is "abc"
The converted value minus 567 is 1234000

```

**Figura 8.8** Uso della funzione `strtoul`.

## 8.5 Funzioni della libreria standard di input/output

Questo paragrafo presenta diverse funzioni della libreria standard di input/output (`<stdio.h>`) per manipolare specificamente dati di tipo carattere e stringhe. La Figura 8.9 riepiloga le funzioni di input/output di caratteri e stringhe della libreria standard di input/output.

| Prototipo della funzione                                | Descrizione della funzione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>int getchar(void);</code>                         | Legge il carattere successivo dallo standard input e lo restituisce come un intero.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <code>char *fgets(char *s, int n, FILE *stream);</code> | Legge caratteri dallo stream specificato e li memorizza nell'array <code>s</code> finché non si incontra un carattere <i>newline</i> o <i>end-of-file</i> , oppure finché non vengono letti <code>n - 1</code> byte. In questo capitolo specificiamo lo stream come <code>stdin</code> , lo <i>stream standard input</i> , tipicamente usato per leggere caratteri dalla tastiera. Un <i>carattere nullo di terminazione</i> è aggiunto in coda all'array. Restituisce la stringa che è stata letta in <code>s</code> . Se si incontra un nuovo newline, esso è incluso nella stringa memorizzata in <code>s</code> . |
| <code>int putchar(int c);</code>                        | Stampa il carattere memorizzato in <code>c</code> e lo restituisce come intero.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <code>int puts(const char *s);</code>                   | Stampa la stringa <code>s</code> seguita dal carattere <i>newline</i> . Restituisce un intero diverso da zero se ha successo o EOF se si verifica un errore.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

**Figura 8.9** Funzioni della libreria standard di input/output per caratteri e stringhe.

continua

| Prototipo della funzione                                    | Descrizione della funzione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>int sprintf(char *s, const char *format, ...);</code> | Equivalenti a <code>printf</code> , ma l'output è memorizzato nell'array <code>s</code> invece di essere stampato sullo schermo. Restituisce il numero di caratteri scritti in <code>s</code> o EOF se si verifica un errore. [Nota: parleremo delle relative funzioni più sicure nel paragrafo "Programmazione sicura in C" di questo capitolo.] |
| <code>int sscanf(char *s, const char *format, ...);</code>  | Equivalenti a <code>scanf</code> , ma l'input è letto dall'array <code>s</code> invece che dalla tastiera. Restituisce il numero di elementi letti con successo dalla funzione o EOF se si verifica un errore. [Nota: parleremo delle relative funzioni più sicure nel paragrafo "Programmazione sicura in C" di questo capitolo.]                |

**Figura 8.9** Funzioni della libreria standard di input/output per caratteri e stringhe

### 8.5.1 Funzioni fgets e putchar

Il programma della Figura 8.10 usa le funzioni `fgets` e `putchar` per leggere una riga di testo dallo standard input (tastiera) e, utilizzando la ricorsione, inviare in uscita i caratteri della riga in ordine inverso. La funzione `fgets` legge caratteri dallo *standard input* e li memorizza nel suo primo argomento (un array di `char`) finché non incontra un *newline* o l'indicatore di *end-of-file*, oppure finché non viene letto il numero massimo di caratteri. Il numero massimo di caratteri è pari al valore specificato nel secondo argomento di `fgets` meno uno. Il terzo argomento specifica lo *stream* da cui leggere i caratteri (in questo caso usiamo lo *stream standard input*, `stdin`). Un carattere nullo ('`\0`') viene aggiunto in coda all'array quando termina la lettura. La funzione `putchar` stampa il suo argomento di tipo carattere. Il programma chiama la funzione *ricorsiva reverse*<sup>1</sup> per stampare la riga di testo all'indietro. Se il primo carattere dell'array ricevuto da `reverse` è il carattere nullo ('`\0`'), `reverse` termina. Altrimenti, `reverse` viene richiamata con l'indirizzo del sottoarray che inizia all'elemento `sPtr[1]`, mentre il carattere `sPtr[0]` è inviato in uscita con `putchar` al completamento della chiamata ricorsiva. L'ordine delle due istruzioni nella porzione `else` dell'istruzione `if` fa sì che `reverse` proceda verso il carattere nullo di terminazione della stringa prima che sia stampato un carattere. Quando le chiamate ricorsive sono completate, i caratteri sono inviati in uscita in ordine inverso.

```

1 // Fig. 8.10: fig08_10.c
2 // Uso delle funzioni fgets e putchar
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 80
5
6 void reverse(const char * const sPtr); // prototipo

```

<sup>1</sup> Usiamo la ricorsione in questo contesto per scopi dimostrativi. Solitamente è più efficiente l'uso di un ciclo per l'iterazione dall'ultimo carattere (quello alla posizione corrispondente alla lunghezza della stringa diminuita di 1) al primo carattere (quello alla posizione 0) di una stringa.

```
7
8 int main(void)
9 {
10 char sentence[SIZE]; // crea un array di char
11
12 puts("Enter a line of text:");
13
14 // usa fgets per leggere una riga di testo
15 fgets(sentence, SIZE, stdin);
16
17 printf("\n%s", "The line printed backward is:");
18 reverse(sentence);
19 }
20
21 // stampa ricorsivamente i caratteri della stringa in ordine inverso
22 void reverse(const char * const sPtr)
23 {
24 // se si raggiunge la fine della stringa
25 if ('\0' == sPtr[0]) { // caso di base
26 return;
27 }
28 else { // se non e' la fine della stringa
29 reverse(&sPtr[1]); // passo di ricorsione
30 putchar(sPtr[0]); // usa putchar per stampare il carattere
31 }
32 }
```

```
Enter a line of text:
Characters and Strings
```

```
The line printed backward is:
sgnirtS dna sretcarahC
```

**Figura 8.10** Uso delle funzioni `fgets` e `putchar`.

### 8.5.2 Funzione `getchar`

Il programma della Figura 8.11 usa le funzioni `getchar` e `puts` per leggere caratteri dallo standard input, memorizzarli in un array di caratteri `sentence` e stamparli come stringa. La funzione `getchar` legge un carattere dallo *standard input* e restituisce il carattere come intero – come potete ricordare dal Paragrafo 4.7, un intero viene restituito per supportare l’indicatore end-of-file. Come è noto, la funzione `puts` riceve una stringa come argomento e stampa la stringa seguita dal carattere newline. Il programma smette di leggere caratteri sia quando sono stati letti 79 caratteri sia quando `getchar` legge il carattere *newline* inserito dall’utente per terminare la riga di testo. Un *carattere nullo* viene aggiunto in coda all’array `sentence` (riga 20) in modo che l’array possa essere trattato come stringa. Quindi, la riga 24 usa `puts` per stampare la stringa contenuta in `sentence`.

```

1 // Fig. 8.11: fig08_11.c
2 // Uso della funzione getchar.
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 80
5
6 int main(void)
7 {
8 int c; // variabile che contiene il carattere inserito dall'utente
9 char sentence[SIZE]; // crea un array di char
10 int i = 0; // inizializza il contatore i
11
12 // richiedi all'utente di inserire una riga di testo
13 puts("Enter a line of text:");
14
15 // usa getchar per leggere ogni carattere
16 while ((i < SIZE - 1) && (c = getchar()) != '\n') {
17 sentence[i++] = c;
18 }
19
20 sentence[i] = '\0'; // termina la stringa
21
22 // usa puts per stampare la stringa
23 puts("\nThe line entered was:");
24 puts(sentence);
25 }

```

Enter a line of text:  
This is a test.

The line entered was:  
This is a test.

**Figura 8.11** Uso della funzione `getchar`.

### 8.5.3 Funzione `sprintf`

Il programma della Figura 8.12 usa la funzione `sprintf` per memorizzare dati formattati nell'array `s`, un array di caratteri. La funzione usa lo stesso specificatore di conversione di `printf` (vedi Capitolo 9 per un'analisi dettagliata della formattazione). Il programma legge un valore `int` e un valore `double` da formattare e memorizzare nell'array `s`. L'array `s` è il primo argomento di `sprintf`. [Nota: se il vostro sistema supporta `snprintf_s` del C11, usatela al posto di `sprintf`. Se il vostro sistema non supporta `snprintf_s` ma supporta `snprintf`, usate questa al posto di `sprintf`.]

```

1 // Fig. 8.12: fig08_12.c
2 // Uso della funzione sprintf
3 #include <stdio.h>
4 #define SIZE 80
5
6 int main(void)
7 {

```

```

8 int x; // valore x da leggere
9 double y; // valore y da leggere
10
11 puts("Enter an integer and a double:");
12 scanf("%d%lf", &x, &y);
13
14 char s[SIZE]; // crea un array di char
15 sprintf(s, "integer:%6d\ndouble:%7.2f", x, y);
16
17 printf("%s\n%s\n", "The formatted output stored in array s is:", s);
18
19 }

```

```

Enter an integer and a double:
298 87.375
The formatted output stored in array s is:
integer: 298
double: 87.38

```

**Figura 8.12** Uso della funzione `sprintf`.

#### 8.5.4 Funzione `sscanf`

Il programma della Figura 8.13 usa la funzione `sscanf` per leggere dati formattati dall'array `s` di caratteri. La funzione usa lo stesso specificatore di conversione di `scanf`. Il programma legge un `int` e un `double` dall'array `s` e memorizza i valori rispettivamente in `x` e `y`. Vengono poi stampati i valori di `x` e `y`. L'array `s` è il primo argomento di `sscanf`.

```

1 // Fig. 8.13: fig08_13.c
2 // Uso della funzione sscanf
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 char s[] = "31298 87.375"; // inizializza l'array s
8 int x; // valore x da leggere
9 double y; // valore y da leggere
10
11 sscanf(s, "%d%lf", &x, &y);
12 printf("%s\n%s%6d\n%s%8.3f\n",
13 "The values stored in character array s are:",
14 "integer:", x, "double:", y);
15 }

```

```

The values stored in character array s are:
integer: 31298
double: 87.375

```

**Figura 8.13** Uso della funzione `sscanf`.

## 8.6 Funzioni per la manipolazione di stringhe della libreria per il trattamento delle stringhe

La libreria di funzioni per il trattamento delle stringhe (`<string.h>`) fornisce molte funzioni utili per manipolare stringhe (copiare stringhe e concatenarle), confrontare stringhe, ricercare all'interno di stringhe caratteri e altre stringhe, suddividere le stringhe in token (pezzi logici) e determinare la loro lunghezza. Questo paragrafo presenta le funzioni per la manipolazione di stringhe, che sono riepilogate nella Figura 8.14. Ogni funzione (eccetto `strncpy`) aggiunge il *carattere nullo* in coda al suo risultato. [Nota: ognuna di queste funzioni ha una versione più sicura descritta nell'Annex K opzionale del C11 standard. Ne parleremo nel paragrafo "Programmazione sicura in C" di questo capitolo.]

| Prototipo della funzione                                       | Descrizione della funzione                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>char *strcpy(char *s1, const char *s2)</code>            | <i>Copia la stringa s2 nell'array s1. Viene restituito il valore di s1.</i>                                                                                                                                            |
| <code>char *strncpy(char *s1, const char *s2, size_t n)</code> | <i>Copia al massimo n caratteri della stringa s2 nell'array s1 e restituisce s1.</i>                                                                                                                                   |
| <code>char *strcat(char *s1, const char *s2)</code>            | <i>Aggiunge la stringa s2 in coda alla stringa contenuta nell'array s1. Il primo carattere di s2 sovrascrive il carattere nullo di terminazione di s1. Viene restituito il valore di s1.</i>                           |
| <code>char *strncat(char *s1, const char *s2, size_t n)</code> | <i>Aggiunge al massimo n caratteri della stringa s2 in coda alla stringa contenuta nell'array s1. Il primo carattere di s2 sovrascrive il carattere nullo di terminazione di s1. Viene restituito il valore di s1.</i> |

**Figura 8.14** Funzioni di manipolazione di stringhe della libreria per il trattamento delle stringhe.

Le funzioni `strncpy` e `strncat` specificano un parametro di tipo `size_t`. La funzione `strcpy` copia il suo secondo argomento (una stringa) nel suo primo argomento, un array di caratteri che dovete assicuravi sia grande abbastanza da memorizzare la stringa e il suo carattere nullo di terminazione, che viene anche copiato. La funzione `strncpy` è equivalente a `strcpy`, ma `strncpy` specifica il numero di caratteri da copiare dalla stringa nell'array. La funzione `strncpy` non copia necessariamente il carattere nullo di terminazione del suo secondo argomento. Questo si verifica solo se il numero di caratteri da copiare è maggiore della lunghezza della stringa. Ad esempio, se "test" è il secondo argomento, un carattere nullo di terminazione viene scritto solo se il terzo argomento di `strncpy` è almeno 5 (quattro caratteri in "test" più un carattere nullo di terminazione). Se il terzo argomento è più grande di 5, alcune implementazioni aggiungono in coda all'array tutti i caratteri nulli necessari per scrivere il numero totale di caratteri specificato dal terzo argomento e altre si arrestano dopo la scrittura del primo carattere nullo.



### Errore comune di programmazione 8.5

Non aggiungere in coda un carattere nullo di terminazione al primo argomento di una `strncpy` quando il terzo argomento è minore o uguale alla lunghezza della stringa nel secondo argomento.

#### 8.6.1 Funzioni `strcpy` e `strncpy`

La Figura 8.15 usa `strcpy` per copiare l'intera stringa dell'array `x` nell'array `y` e usa `strncpy` per copiare i primi 14 caratteri dell'array `x` nell'array `z`. Un carattere nullo ('\0') viene aggiunto in coda all'array `z` perché la chiamata di `strncpy` nel programma *non scrive un carattere nullo di terminazione* (il terzo argomento è minore della lunghezza della stringa del secondo argomento).

```
1 // Fig. 8.15: fig08_15.c
2 // Uso delle funzioni strcpy e strncpy
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5 #define SIZE1 25
6 #define SIZE2 15
7
8 int main(void)
9 {
10 char x[] = "Happy Birthday to You"; // inizializza l'array x di char
11 char y[SIZE1]; // crea un array y di char
12 char z[SIZE2]; // crea un array z di char
13
14 // copia il contenuto di x in y
15 printf("%s%s\n%s%s\n",
16 "The string in array x is: ", x,
17 "The string in array y is: ", strcpy(y, x));
18
19 // copia i primi 14 caratteri di x in z. Non copia il carattere
20 // nullo
21 strncpy(z, x, SIZE2 - 1);
22
23 z[SIZE2 - 1] = '\0'; // termina la stringa in z
24 printf("The string in array z is: %s\n", z);
25 }
```

```
The string in array x is: Happy Birthday to You
The string in array y is: Happy Birthday to You
The string in array z is: Happy Birthda
```

**Figura 8.15** Uso delle funzioni `strcpy` e `strncpy`.

## 8.6.2 Funzioni `strcat` e `strncat`

La funzione `strcat` aggiunge il suo secondo argomento (una stringa) in coda al suo primo argomento (un array di caratteri contenente una stringa). Il primo carattere del secondo argomento sostituisce il carattere '\0' che termina la stringa nel primo argomento. *Dovete essere sicuri che l'array usato per memorizzare la prima stringa sia grande abbastanza da memorizzare la prima stringa, la seconda stringa e il carattere nullo di terminazione copiato dalla seconda stringa.* La funzione `strncat` aggiunge un numero specificato di caratteri della seconda stringa in coda alla prima. Un carattere nullo di terminazione è aggiunto in coda automaticamente al risultato. La Figura 8.16 illustra l'uso della funzione `strcat` e della funzione `strncat`.

```

1 // Fig. 8.16: fig08_16.c
2 // Uso delle funzioni strcat e strncat
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 char s1[20] = "Happy "; // inizializza l'array di char s1
9 char s2[] = "New Year "; // inizializza l'array di char s2
10 char s3[40] = ""; // inizializza l'array di char s3 come vuoto
11
12 printf("s1 = %s\ns2 = %s\n", s1, s2);
13
14 // aggiungi s2 in coda a s1
15 printf("strcat(s1, s2) = %s\n", strcat(s1, s2));
16
17 // aggiungi i primi 6 caratteri di s1 in coda a s3. Inserisci '\0'
18 // dopo l'ultimo carattere
19 printf("strncat(s3, s1, 6) = %s\n", strncat(s3, s1, 6));
20
21 // aggiungi s1 in coda a s3
22 printf("strcat(s3, s1) = %s\n", strcat(s3, s1));
23 }
```

```

s1 = Happy
s2 = New Year
strcat(s1, s2) = Happy New Year
strncat(s3, s1, 6) = Happy
strcat(s3, s1) = Happy Happy New Year

```

**Figura 8.16** Uso delle funzioni `strcat` e `strncat`.

## 8.7 Funzioni di confronto della libreria per il trattamento delle stringhe

Questo paragrafo presenta le funzioni di confronto di stringhe della libreria per il trattamento delle stringhe, `strcmp` e `strncmp`. La Figura 8.17 contiene i loro prototipi e una breve descrizione di ciascuna funzione.

| Prototipo della funzione                                            | Descrizione della funzione                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>int strcmp(const char *s1, const char *s2);</code>            | <i>Confronta</i> la stringa s1 con la stringa s2. La funzione restituisce 0, un valore minore di 0 o maggiore di 0 se s1 è, rispettivamente, uguale, minore o maggiore di s2.                       |
| <code>int strncmp(const char *s1, const char *s2, size_t n);</code> | <i>Confronta</i> fino a n caratteri della stringa s1 con la stringa s2. La funzione restituisce 0, un valore minore di 0 o maggiore di 0 se s1 è, rispettivamente, uguale, minore o maggiore di s2. |

**Figura 8.17** Funzioni di confronto di stringhe della libreria per il trattamento delle stringhe.

Il programma della Figura 8.18 confronta tre stringhe usando `strcmp` e `strncmp`. La funzione `strcmp` confronta il suo primo argomento con il secondo argomento, carattere per carattere. La funzione restituisce 0 se le stringhe sono uguali, un *valore negativo* se la prima stringa è minore della seconda e un *valore positivo* se la prima stringa è maggiore della seconda. La funzione `strncmp` è equivalente a `strcmp`, ma `strncmp` confronta fino a un numero specificato di caratteri. La funzione `strncmp` *non* confronta i caratteri che seguono un carattere nullo in una stringa. Il programma stampa il valore intero restituito da ogni chiamata delle funzioni.

```

1 // Fig. 8.18: fig08_18.c
2 // Uso delle funzioni strcmp e strncmp
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 const char *s1 = "Happy New Year"; // inizializza un puntatore a char
9 const char *s2 = "Happy New Year"; // inizializza un puntatore a char
10 const char *s3 = "Happy Holidays"; // inizializza un puntatore a char
11
12 printf("%s%s\n%s%s\n%s%s\n\n%s%2d\n%s%2d\n%s%2d\n\n",
13 "s1 = ", s1, "s2 = ", s2, "s3 = ", s3,
14 "strcmp(s1, s2) = ", strcmp(s1, s2) ,
15 "strcmp(s1, s3) = ", strcmp(s1, s3) ,
16 "strcmp(s3, s1) = ", strcmp(s3, s1));
17
18 printf("%s%2d\n%s%2d\n%s%2d\n",
19 "strncmp(s1, s3, 6) = ", strncmp(s1, s3, 6) ,
20 "strncmp(s1, s3, 7) = ", strncmp(s1, s3, 7) ,
21 "strncmp(s3, s1, 7) = ", strncmp(s3, s1, 7));
22 }
```

```
s1 = Happy New Year
s2 = Happy New Year
s3 = Happy Holidays

strcmp(s1, s2) = 0
strcmp(s1, s3) = 1
strcmp(s3, s1) = -1

strncmp(s1, s3, 6) = 0
strncmp(s1, s3, 7) = 1
strncmp(s3, s1, 7) = -1
```

**Figura 8.18** Uso delle funzioni `strcmp` e `strncmp`.**Errore comune di programmazione 8.6**

*Supporre che `strcmp` e `strncmp` restituiscano 1 quando i loro argomenti sono uguali è un errore logico. Entrambe le funzioni restituiscano 0 (stranamente, l'equivalente del valore falso in C) per l'uguaglianza. Di conseguenza, quando si confrontano due stringhe per l'uguaglianza, il risultato della funzione `strcmp` o `strncmp` va confrontato con 0 per determinare se le stringhe sono uguali.*

Per capire solo cosa significa per una stringa essere “maggiore di” o “minore di” un’altra, considerate la procedura che mette in ordine alfabetico una serie di cognomi. Il lettore metterebbe senza dubbio “Jones” prima di “Smith,” perché la prima lettera di “Jones” viene prima della prima lettera di “Smith” nell’alfabeto. Ma l’alfabeto è più che una semplice lista di 26 lettere: è una lista ordinata di caratteri. Ogni lettera compare nella lista in una posizione specifica. La “Z” è semplicemente più di una lettera dell’alfabeto; la “Z” è specificamente la 26ma lettera dell’alfabeto.

Come sanno le funzioni di confronto di stringhe che una particolare lettera viene prima di un’altra? Tutti i caratteri sono rappresentati nel computer come codici numerici in un insieme di caratteri come ASCII e Unicode; quando il computer confronta due stringhe, confronta in realtà i codici numerici dei caratteri nelle stringhe – questo si chiama confronto lessicografico. Consultate l’Appendice B per i valori numerici dei caratteri ASCII.

I valori negativi e positivi restituiti da funzioni `strcmp` e `strncmp` *differiscono a seconda del compilatore*. Per alcuni (ad esempio Visual C++ e GNU gcc), questi valori sono -1 o 1 (come mostrato nella Figura 8.18). Per altri compilatori (ad esempio LLVM di Xcode), i valori restituiti rappresentano la differenza tra i codici numerici dei primi caratteri che differiscono in ogni stringa. Per i confronti in questo programma, questa è la differenza tra i codici numerici di “N” in “New” e “H” in “Happy” (6 o -6, a seconda della stringa sulla quale c’è il primo argomento in ciascuna chiamata).

## 8.8 Funzioni per la ricerca della libreria per il trattamento delle stringhe

Questo paragrafo presenta le funzioni della libreria per il trattamento delle stringhe usate per effettuare *ricerche all’interno di stringhe* per individuare caratteri e altre stringhe. Le funzioni sono riepilogate nella Figura 8.19. Le funzioni `strcspn` e `strspn` restituiscono valori `size_t`. [Nota: la funzione `strtok` ha una versione più sicura descritta nell’Annex K opzionale del C11 standard. Ne parleremo nel paragrafo “Programmazione sicura in C” di questo capitolo.]

## Prototipi e descrizioni delle funzioni

`char *strchr(const char *s, int c);`

*Localizza la prima occorrenza del carattere c nella stringa s. Se c viene trovato, viene restituito un puntatore a c in s. Altrimenti, viene restituito un puntatore NULL.*

`size_t strcspn(const char *s1, const char *s2);`

Determina e restituisce la lunghezza del segmento iniziale della stringa s1 costituito da caratteri *non* contenuti nella stringa s2.

`size_t strspn(const char *s1, const char *s2);`

Determina e restituisce la lunghezza del segmento iniziale della stringa s1 costituito solo da caratteri contenuti nella stringa s2.

`char *strupr(const char *s1, const char *s2);`

*Localizza la prima occorrenza di un carattere della stringa s2 nella stringa s1. Se viene trovato un carattere della stringa s2, viene restituito un puntatore al carattere nella stringa s1. Altrimenti, viene restituito un puntatore NULL.*

`char *strrchr(const char *s, int c);`

*Localizza l'ultima occorrenza di c nella stringa s. Se c viene trovato, viene restituito un puntatore a c nella stringa s, altrimenti viene restituito un puntatore NULL.*

`char *strstr(const char *s1, const char *s2);`

*Localizza la prima occorrenza della stringa s2 nella stringa s1. Se la stringa viene trovata, viene restituito un puntatore alla stringa in s1, altrimenti viene restituito un puntatore NULL.*

`char *strtok(char *s1, const char *s2);`

Una sequenza di chiamate a strtok suddivide la stringa s1 in una collezione di *token* (unità logiche come le parole in una riga di testo) separati da caratteri contenuti nella stringa s2. La prima chiamata contiene s1 come primo argomento, mentre le successive chiamate per continuare a suddividere in token la stessa stringa contengono NULL come primo argomento. A ogni chiamata viene restituito un puntatore al token corrente. Se non vi sono più token quando la funzione è chiamata, viene restituito NULL.

**Figura 8.19** Funzioni di ricerca della libreria per il trattamento di stringhe.

### 8.8.1 Funzione strchr

La funzione **strchr** cerca la *prima occorrenza* di un carattere in una stringa. Se il carattere viene trovato, **strchr** restituisce un puntatore al carattere nella stringa; altrimenti, **strchr** restituisce NULL. Il programma della Figura 8.20 cerca le prime occorrenze di 'a' e 'z' in "This is a test".

```

1 // Fig. 8.20: fig08_20.c
2 // Uso della funzione strchr
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 const char *string = "This is a test"; // inizializza string
9 char character1 = 'a'; // inizializza character1
10 char character2 = 'z'; // inizializza character2
11
12 // se character1 e' stato trovato in string
13 if (strchr(string, character1) != NULL) {
14 printf("\'%c\' was found in \"%s\".\n",
15 character1, string);
16 }
17 else { // se character1 non e' stato trovato
18 printf("\'%c\' was not found in \"%s\".\n",
19 character1, string);
20 }
21
22 // se character2 e' stato trovato in string
23 if (strchr(string, character2) != NULL) {
24 printf("\'%c\' was found in \"%s\".\n",
25 character2, string);
26 }
27 else { // se character2 non e' stato trovato
28 printf("\'%c\' was not found in \"%s\".\n",
29 character2, string);
30 }
31 }

```

'a' was found in "This is a test".  
 'z' was not found in "This is a test".

**Figura 8.20** Uso della funzione strchr.

## 8.8.2 Funzione strcspn

La funzione **strcspn** (Figura 8.21) determina la lunghezza della parte iniziale della stringa nel suo primo argomento che *non* contiene alcun carattere appartenente alla stringa nel suo secondo argomento. La funzione restituisce la lunghezza del segmento.

```

1 // Fig. 8.21: fig08_21.c
2 // Uso della funzione strcspn
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {

```

```
8 // inizializza due puntatori a char
9 const char *string1 = "The value is 3.14159";
10 const char *string2 = "1234567890";
11
12 printf("%s%s\n%s%s\n\n%s\n%s%u\n",
13 "string1 = ", string1, "string2 = ", string2,
14 "The length of the initial segment of string1",
15 "containing no characters from string2 = ",
16 strcspn(string1, string2));
17 }
```

```
string1 = The value is 3.14159
string2 = 1234567890
```

```
The length of the initial segment of string1
containing no characters from string2 = 13
```

Figura 8.21 Uso della funzione strcspn.

### 8.8.3 Funzione strpbrk

La funzione **strpbrk** cerca nel suo primo argomento, una stringa, la *prima occorrenza* di un qualsiasi carattere che fa parte del suo secondo argomento, un'altra stringa. Se viene trovato un carattere che fa parte del secondo argomento, **strpbrk** restituisce un puntatore al carattere nel primo argomento, altrimenti restituisce NULL. La Figura 8.22 mostra un programma che localizza la prima occorrenza di un carattere di **string2** in **string1**.

```
1 // Fig. 8.22: fig08_22.c
2 // Uso della funzione strpbrk
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 const char *string1 = "This is a test"; // inizializza string1
9 const char *string2 = "beware"; // inizializza string2
10
11 printf("%s\"%s\\\"\\n%c'%s\\n\"%s\\\"\\n",
12 "Of the characters in ", string2,
13 *strpbrk(string1, string2) ,
14 ". appears earliest in ", string1);
15 }
```

```
Of the characters in "beware"
'a' appears earliest in
"This is a test"
```

Figura 8.22 Uso della funzione strpbrk.

### 8.8.4 Funzione strrchr

La funzione **strrchr** cerca in una stringa l'*ultima occorrenza* del carattere specificato. Se il carattere viene trovato, **strrchr** restituisce un puntatore al carattere nella stringa; altrimenti, **strrchr** restituisce NULL. La Figura 8.23 mostra un programma che localizza l'ultima occorrenza del carattere 'z' nella stringa "A zoo has many animals including zebras".

```

1 // Fig. 8.23: fig08_23.c
2 // Uso della funzione strrchr
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 // inizializza un puntatore a char
9 const char *string1 = "A zoo has many animals including zebras";
10
11 int c = 'z'; // carattere da cercare
12
13 printf("%s\n%*c'%s\"%s\"\n",
14 "The remainder of string1 beginning with the",
15 "last occurrence of character ", c,
16 " is: ", strrchr(string1, c));
17 }
```

The remainder of string1 beginning with the  
last occurrence of character 'z' is: "zebras"

**Figura 8.23** Uso della funzione **strrchr**.

### 8.8.5 Funzione strspn

La funzione **strspn** (Figura 8.24) determina la lunghezza della *parte iniziale* della stringa nel suo primo argomento che contiene solo caratteri della stringa nel suo secondo argomento. La funzione restituisce la lunghezza del segmento.

```

1 // Fig. 8.24: fig08_24.c
2 // Uso della funzione strspn
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 // inizializza due puntatori a char
9 const char *string1 = "The value is 3.14159";
10 const char *string2 = "aehi lsTuv";
11
12 printf("%s%s\n%*s\n%*s\n%*s\n%*s\n",
13 "string1 = ", string1, "string2 = ", string2,
14 "The length of the initial segment of string1",
15 "containing only characters from string2 = ",
```

```

16 strspn(string1, string2));
17 }

string1 = The value is 3.14159
string2 = aehi lsTuv

The length of the initial segment of string1
containing only characters from string2 = 13

```

**Figura 8.24** Uso della funzione strspn.

### 8.8.6 Funzione strstr

La funzione **strstr** cerca la *prima occorrenza* della stringa che riceve come secondo argomento nella stringa che riceve come primo argomento. Se la seconda stringa viene trovata all'interno della prima stringa, viene restituito un puntatore alla stringa nel primo argomento. Il programma della Figura 8.25 usa **strstr** per trovare la stringa "def" nella stringa "abcdefabcdef".

```

1 // Fig. 8.25: fig08_25.c
2 // Uso della funzione strstr
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 const char *string1 = "abcdefabcdef"; // stringa da esaminare
9 const char *string2 = "def"; // stringa da cercare
10
11 printf("%s%s\n%s%s\n\n%s\n%s%s\n",
12 "string1 = ", string1, "string2 = ", string2,
13 "The remainder of string1 beginning with the",
14 "first occurrence of string2 is: ",
15 strstr(string1, string2));
16 }

string1 = abcdefabcdef
string2 = def

The remainder of string1 beginning with the
first occurrence of string2 is: defabcdef

```

**Figura 8.25** Uso della funzione strstr.

### 8.8.7 Funzione strtok

La funzione **strtok** (Figura 8.26) viene usata per suddividere una stringa in una serie di **token**. Un token è una sequenza di caratteri separati da **delimitatori** (di solito *spazi* o *segni di interpunzione*, ma *qualsunque carattere* può essere un delimitatore). Ad esempio, in una riga di testo, ogni parola può essere considerata un token e gli spazi e la punteggiatura che separano le parole possono essere considerati delimitatori.

```

1 // Fig. 8.26; fig08_26.c
2 // Uso della funzione strtok
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 // inizializza l'array string
9 char string[] = "This is a sentence with 7 tokens";
10
11 printf("%s\n%s\n\n%s\n",
12 "The string to be tokenized is:", string,
13 "The tokens are:");
14
15 char *tokenPtr = strtok(string, " "); // trova il primo token
16
17 // continua a suddividere la stringa in token finché tokenPtr non
18 // diventa NULL
19 while (tokenPtr != NULL) {
20 printf("%s\n", tokenPtr);
21 tokenPtr = strtok(NULL, " "); // trova il successivo token
22 }

```

The string to be tokenized is:  
This is a sentence with 7 tokens

The tokens are:  
This  
is  
a  
sentence  
with  
7  
tokens

**Figura 8.26** Uso della funzione strtok.

Sono necessarie più chiamate successive a strtok per suddividere in token una stringa (supponendo che la stringa contenga più di un token). La prima chiamata a strtok (riga 15) contiene due argomenti: una stringa da suddividere in token e una stringa contenente caratteri che separano i token. Nella riga 15 l'istruzione

```
char * tokenPtr = strtok(string, " "); // trova il primo token
```

assegna a tokenPtr un puntatore al primo token in string. Il secondo argomento, " ", indica che i token sono separati da spazi. La funzione strtok cerca il primo carattere in string che non è un carattere di delimitazione (spazio). Questo inizia il primo token. La funzione poi trova il successivo carattere di delimitazione nella stringa e lo sostituisce con un carattere nullo ('\0') per terminare il token corrente. La funzione strtok salva un puntatore al carattere successivo che segue il token in string e restituisce un puntatore al token corrente.

Le successive chiamate a `strtok` nella riga 20 continuano a suddividere `string` in token. Queste chiamate *contengono NULL come loro primo argomento*. L'argomento `NULL` indica che la chiamata a `strtok` deve continuare la suddivisione in token a partire dalla locazione in `string` salvata nell'ultima chiamata a `strtok`. Se non rimane alcun token quando `strtok` viene chiamata, `strtok` restituisce `NULL`. Potete cambiare la stringa di delimitatori in ogni nuova chiamata a `strtok`. La Figura 8.26 usa `strtok` per suddividere in token la stringa "This is a sentence with 7 tokens". Ogni token viene stampato separatamente. La funzione `strtok` *modifica la stringa in ingresso* mettendo '\0' alla fine di ogni token; pertanto, se la stringa dovrà essere utilizzata dopo le chiamate a `strtok`, deve esserne fatta una *copia*. [Nota: consultate anche la raccomandazione del CERT STR06-C, che analizza i problemi ipotizzando che `strtok` non modifichi la stringa nel suo primo argomento.]

## 8.9 Funzioni di gestione della memoria della libreria per il trattamento delle stringhe

Le funzioni della libreria per il trattamento delle stringhe presentate in questo paragrafo effettuano manipolazioni, confronti e ricerche in blocchi di memoria. Le funzioni trattano i blocchi di memoria come array di caratteri e possono manipolare qualunque blocco di dati. La Figura 8.27 riepiloga le funzioni di gestione della memoria della libreria per il trattamento delle stringhe. Nella descrizione delle funzioni l'"oggetto" si riferisce a un blocco di dati. [Nota: ognuna di queste funzioni ha una versione più sicura descritta nell'Annex K opzionale del C11 standard. Ne parleremo nel paragrafo "Programmazione sicura in C" di questo capitolo.]

I parametri puntatore sono dichiarati `void *` per cui possono essere usati per manipolare la memoria per *qualsiasi* tipo di dati. Nel Capitolo 7 abbiamo visto che un puntatore a *qualsiasi* tipo di dati può essere assegnato direttamente a un puntatore di tipo `void *` e un puntatore di tipo `void *` può essere assegnato direttamente a un puntatore a *qualsiasi* tipo di dati. Dal momento che un puntatore `void *` non può essere dereferenziato, ogni funzione riceve un argomento che specifica il numero di byte che la funzione deve elaborare. Per semplicità, gli esempi di questo paragrafo manipolano array di caratteri (blocchi di caratteri). Le funzioni nella Figura 8.27 *non* controllano i caratteri nulli di terminazione, poiché manipolano blocchi di memoria che non sono necessariamente stringhe.

### 8.9.1 Funzione `memcpy`

La funzione `memcpy` copia un numero specificato di byte dall'oggetto puntato dal suo secondo argomento nell'oggetto puntato dal suo primo argomento. La funzione può ricevere un puntatore a *qualsiasi* tipo di oggetto. Il risultato di questa funzione è *indefinito* se i due oggetti si sovrappongono in memoria (cioè se sono parti dello stesso oggetto). In tali casi, usate `memmove`. La Figura 8.28 usa `memcpy` per copiare la stringa dall'array `s2` all'array `s1`.



#### Prestazioni 8.1

`memcpy` è più efficiente di `strcpy` quando si conosce la dimensione della stringa che si sta copiando.

| Prototipo della funzione                                           | Descrizione della funzione                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>void *memcpy(void *s1, const void *s2, size_t n);</code>     | <i>Copia n byte dall'oggetto puntato da s2 nell'oggetto puntato da s1.</i><br>Viene restituito un puntatore all'oggetto risultante.                                                                                                                                                                            |
| <code>void *memmove(void *s1, const void *s2, size_t n);</code>    | <i>Copia n byte dall'oggetto puntato da s2 nell'oggetto puntato da s1.</i> La copia è eseguita come se i byte fossero dapprima copiati dall'oggetto puntato da s2 in un array temporaneo e poi dall' <i>array temporaneo</i> nell'oggetto puntato da s1. Viene restituito un puntatore all'oggetto risultante. |
| <code>int memcmp(const void *s1, const void *s2, size_t n);</code> | <i>Confronta i primi n byte degli oggetti puntati da s1 ed s2.</i> La funzione restituisce 0, un numero minore di 0 o maggiore di 0, se s1 è, rispettivamente, uguale, minore o maggiore di s2.                                                                                                                |
| <code>void *memchr(const void *s, int c, size_t n);</code>         | <i>Localizza la prima occorrenza di c (convertito in un unsigned char) nei primi n byte dell'oggetto puntato da s.</i> Se c viene trovato, viene restituito un puntatore a c nell'oggetto, altrimenti viene restituito NULL.                                                                                   |
| <code>void *memset(void *s, int c, size_t n);</code>               | <i>Copia c (convertito in un unsigned char) nei primi n byte dell'oggetto puntato da s.</i> Viene restituito un puntatore al risultato.                                                                                                                                                                        |

**Figura 8.27** Funzioni di gestione della memoria della libreria per il trattamento delle stringhe.

```

1 // Fig. 8.28: fig08_28.c
2 // Uso della funzione memcpy
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 char s1[17]; // crea un array di char s1
9 char s2[] = "Copy this string"; // inizializza l'array di char s2
10
11 memcpy(s1, s2, 17);
12 printf("%s\n%s\"%s\"\n",
13 "After s2 is copied into s1 with memcpy,",
14 "s1 contains ", s1);
15 }
```

After s2 is copied into s1 with memcpy,  
s1 contains "Copy this string"

**Figura 8.28** Uso della funzione memcpy.

## 8.9.2 Funzione memmove

La funzione `memmove`, come `memcpy`, copia un numero specificato di byte dall'oggetto puntato dal suo secondo argomento nell'oggetto puntato dal suo primo argomento. La copia è eseguita come se i byte fossero copiati dal secondo argomento in un array di caratteri temporaneo, quindi copiati dall'array temporaneo nel primo argomento. Questo permette, ad esempio, di copiare i byte da una parte di una stringa in un'altra parte della stessa stringa, anche se le due porzioni si sovrappongono. La Figura 8.29 usa `memmove` per copiare gli ultimi 10 byte dell'array `x` nei primi 10 byte dello stesso array.



### Errore comune di programmazione 8.7

Le funzioni di manipolazione di stringhe diverse da `memmove` che copiano caratteri producono risultati indefiniti quando l'operazione di copia avviene tra parti della stessa stringa.

```

1 // Fig. 8.29: fig08_29.c
2 // Uso della funzione memmove
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 char x[] = "Home Sweet Home"; // inizializza l'array di char x
9
10 printf("%s\n", "The string in array x before memmove is: ", x);
11 printf("%s\n", "The string in array x after memmove is: ",
12 (char *) memmove(x, &x[5], 10));
13 }
```

```
The string in array x before memmove is: Home Sweet Home
The string in array x after memmove is: Sweet Home Home
```

**Figura 8.29** Uso della funzione `memmove`.

## 8.9.3 Funzione memcmp

La funzione `memcmp` (Figura 8.30) confronta il numero specificato di byte (`unsigned char`) del suo primo argomento con i byte corrispondenti del suo secondo argomento. La funzione restituisce un valore maggiore di 0 se il primo argomento è maggiore del secondo, restituisce 0 se gli argomenti sono uguali e restituisce un valore minore di 0 se il primo argomento è minore del secondo.

```

1 // Fig. 8.30: fig08_30.c
2 // Uso della funzione memcmp
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 char s1[] = "ABCDEFG"; // inizializza l'array di char s1
9 char s2[] = "ABCDXYZ"; // inizializza l'array di char s2
```

```

10 printf("%s%s\n%s%s\n\n%s%2d\n%s%2d\n%s%2d\n",
11 "s1 = ", s1, "s2 = ", s2,
12 "memcmp(s1, s2, 4) = ", memcmp(s1, s2, 4),
13 "memcmp(s1, s2, 7) = ", memcmp(s1, s2, 7),
14 "memcmp(s2, s1, 7) = ", memcmp(s2, s1, 7));
15 }
16 }
```

```

s1 = ABCDEFG
s2 = ABCDXYZ

memcmp(s1, s2, 4) = 0
memcmp(s1, s2, 7) = -1
memcmp(s2, s1, 7) = 1
```

**Figura 8.30** Uso della funzione memcmp.

### 8.9.4 Funzione memchr

La funzione `memchr` localizza la *prima occorrenza di un byte*, rappresentato come `unsigned char`, nel numero specificato di byte di un oggetto. Se il byte viene trovato, viene restituito un puntatore al byte nell'oggetto, altrimenti viene restituito un puntatore `NULL`. Il programma della Figura 8.31 cerca il byte 'r' nella stringa "This is a string".

```

1 // Fig. 8.31: fig08_31.c
2 // Uso della funzione memchr
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 const char *s = "This is a string"; // inizializza il puntatore s
9
10 printf("%c\n", memchr(s, 'r', 16));
11 /* The remainder of s after character 'r' is found is "ring" */
12 /* is found is "ring" */
13 }
```

```
The remainder of s after character 'r' is found is "ring"
```

**Figura 8.31** Uso della funzione memchr.

### 8.9.5 Funzione memset

La funzione `memset` copia il valore del byte nel suo secondo argomento nei primi *n* byte dell'oggetto puntato dal suo primo argomento, dove *n* è specificato dal terzo argomento. Il programma della Figura 8.32 usa `memset` per copiare 'b' nei primi 7 byte di `string1`.



## Prestazioni 8.2

Usate `memset` per impostare gli elementi di un array a 0 invece di effettuare iterazioni su di essi e assegnare 0 a ogni elemento. Ad esempio, nella Figura 6.3 avremmo potuto inizializzare l'array `n` di 5 elementi con `memset(n, 0, 5)`. Molte architetture hardware hanno istruzioni macchina per copiare o azzerare blocchi di memoria che il compilatore può usare per ottimizzare `memset` e ottenere elevate prestazioni nelle operazioni di azzeramento della memoria.

```

1 // Fig. 8.32: fig08_32.c
2 // Uso della funzione memset
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 char string1[15] = "BBBBBBBBBBBBBBB"; // inizializza string1
9
10 printf("string1 = %s\n", string1);
11 printf("string1 after memset = %s\n",
12 (char *) memset(string1, 'b', 7));
13 }
```

string1 = BBBB BBBB BBBB BBBB  
string1 after memset = bbbbbbbBBBBBBB

**Figura 8.32** Uso della funzione `memset`.

## 8.10 Altre funzioni della libreria per il trattamento delle stringhe

Le due restanti funzioni della libreria per il trattamento delle stringhe sono `strerror` e `strlen`. La Figura 8.33 riepiloga le funzioni `strerror` e `strlen`.

| Prototipo della funzione                   | Descrizione della funzione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>char *strerror(int errornum);</code> | Mappa <code>errornum</code> in una stringa di testo secondo una modalità specifica per il compilatore e per la località geografica (es. il messaggio può comparire in lingue differenti in base alla località geografica del computer). Viene restituito un puntatore alla stringa. I numeri di errore sono definiti in <code>errno.h</code> . |
| <code>size_t strlen(const char *s);</code> | Determina la lunghezza della stringa <code>s</code> . Viene restituito il numero di caratteri che precedono il carattere nullo di terminazione.                                                                                                                                                                                                |

**Figura 8.33** Altre funzioni della libreria per il trattamento delle stringhe.

### 8.10.1 Funzione strerror

La funzione **strerror** riceve un numero di errore e crea una stringa di messaggio di errore. Viene restituito un puntatore alla stringa. La Figura 8.34 illustra **strerror**.

```

1 // Fig. 8.34: fig08_34.c
2 // Uso della funzione strerror
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 printf("%s\n", strerror(2));
9 }
```

No such file or directory

**Figura 8.34** Uso della funzione **strerror**.

### 8.10.2 Funzione strlen

La funzione **strlen** riceve una stringa come argomento e restituisce il numero di caratteri nella stringa (il carattere nullo di terminazione non è incluso nella lunghezza). La Figura 8.35 illustra la funzione **strlen**.

```

1 // Fig. 8.35: fig08_35.c
2 // Uso della funzione strlen
3 #include <stdio.h>
4 #include <string.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 // inizializza 3 puntatori a char
9 const char *string1 = "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz";
10 const char *string2 = "four";
11 const char *string3 = "Boston";
12
13 printf("%s\"%s\"%s\n", "%s\"%s\n", "%s\"%s\n",
14 "The length of ", string1, " is ", strlen(string1),
15 "The length of ", string2, " is ", strlen(string2),
16 "The length of ", string3, " is ", strlen(string3));
17 }
```

The length of "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz" is 26  
 The length of "four" is 4  
 The length of "Boston" is 6

**Figura 8.35** Uso della funzione **strlen**.

## 8.11 Programmazione sicura in C

### *Funzioni per l'elaborazione sicura di stringhe*

Nei precedenti paragrafi "Programmazione sicura in C" di questo libro abbiamo presentato le funzioni più sicure del C11 `printf_s` e `scanf_s`. In questo capitolo abbiamo presentato le funzioni `sprintf`, `strcpy`, `strncpy`, `strcat`, `strncat`, `strtok`, `strlen`, `memcpy`, `memmove` e `memset`. Versioni più sicure di queste e di molte altre funzioni di elaborazione di stringhe e di input/output sono descritte dall'Annex K *opzionale* del C11 standard. Se il vostro compilatore C supporta l'Annex K, fareste bene a usare le versioni sicure di queste funzioni. Tra l'altro, le versioni più sicure contribuiscono a evitare gli overflow dei buffer, poiché richiedono ulteriori parametri che specificano il numero di elementi in un array di destinazione e controllano che gli argomenti puntatore siano diversi da `NULL`.

### *Lettura di input numerici e convalida degli input*

È importante convalidare i dati che inserite in un programma. Ad esempio, quando chiedete all'utente di inserire un `int` nell'intervallo 1–100 e poi tentate di leggerlo usando `scanf`, è possibile che si presentino diversi problemi. L'utente potrebbe inserire

- un `int` che sia al di fuori dell'intervallo richiesto dal programma (come 102),
- un `int` che sia al di fuori dell'intervallo consentito per gli `int` su quel computer (come 8.000.000.000 su una macchina con `int` a 32 bit),
- un valore numerico non intero (come 27,43),
- un valore non numerico (come FOVR).

Potete usare le varie funzioni che avete imparato in questo capitolo per effettuare una convalida completa di un tale input. Ad esempio, potreste

- usare `fgets` per leggere l'input come riga di testo,
- convertire la stringa in un numero usando `strtol` e assicurarvi che la conversione sia riuscita e poi
- assicurarvi che il valore sia compreso nell'intervallo richiesto.

Per altre informazioni e tecniche per convertire input in valori numerici, consultate la linea guida del CERT INT05-C al sito [www.securecoding.cert.org](http://www.securecoding.cert.org).

## Riepilogo

### *Paragrafo 8.2 Nozioni fondamentali su stringhe e caratteri*

- I caratteri sono i blocchi costituenti fondamentali dei programmi sorgente. Ogni programma è composto da una sequenza di caratteri che, quando sono raggruppati insieme in modo sensato, è interpretata dal computer come una serie di istruzioni usate per eseguire un compito.
- Una costante carattere è un valore `int` rappresentato come carattere tra virgolette singole. Il valore di una costante carattere è il valore intero del carattere nell'insieme dei caratteri della macchina.
- Una stringa è una serie di caratteri trattati come unità singola. Una stringa può comprendere lettere, cifre e vari caratteri speciali come +, -, \*, / e \$. Le stringhe letterali, ovvero le stringhe costanti, sono scritte in C tra virgolette doppie.
- Una stringa in C è un array di caratteri che termina con il carattere nullo ('\0').
- A una stringa si accede mediante un puntatore al suo primo carattere. Il valore di una stringa è l'indirizzo del suo primo carattere.

- Un array di caratteri o una variabile di tipo `char *` possono essere inizializzati con una stringa in una definizione.
- Quando viene definito un array di caratteri per contenere una stringa, l'array deve essere grande abbastanza da memorizzare la stringa e il suo carattere nullo di terminazione.
- È possibile memorizzare una stringa in un array usando `scanf`. La funzione `scanf` legge i caratteri finché non incontra uno spazio, una tabulazione, un newline o l'indicatore di fine del file.
- Perché un array di caratteri sia stampato come stringa deve contenere un carattere nullo di terminazione.

#### *Paragrafo 8.3 Libreria di funzioni per il trattamento dei caratteri*

- La funzione `isdigit` determina se il suo argomento è una cifra (0–9).
- La funzione `isalpha` determina se il suo argomento è una lettera maiuscola (A–Z) o una lettera minuscola (a–z).
- La funzione `isalnum` determina se il suo argomento è una lettera maiuscola (A–Z), una lettera minuscola (a–z) o una cifra (0–9).
- La funzione `isxdigit` determina se il suo argomento è una cifra esadecimale (A–F, a–f, 0–9).
- La funzione `islower` determina se il suo argomento è una lettera minuscola (a–z).
- La funzione `isupper` determina se il suo argomento è una lettera maiuscola (A–Z).
- La funzione `toupper` converte una lettera minuscola in una maiuscola e restituisce la lettera maiuscola.
- La funzione `tolower` converte una lettera maiuscola in una minuscola e restituisce la lettera minuscola.
- La funzione `isspace` determina se il suo argomento è uno dei seguenti caratteri di spaziatura: ' ' (spazio), '\f', '\n', '\r', '\t' o '\v'.
- La funzione `iscntrl` determina se il suo argomento è uno dei seguenti caratteri di controllo: '\t', '\v', '\f', '\a', '\b', '\r' o '\n'.
- La funzione `ispunct` determina se il suo argomento è un carattere stampabile diverso da uno spazio, da una cifra o da una lettera.
- La funzione `isprint` determina se il suo argomento è un qualsiasi carattere stampabile, incluso il carattere di spazio.
- La funzione `isgraph` determina se il suo argomento è un carattere stampabile diverso dal carattere di spazio.

#### *Paragrafo 8.4 Funzioni di conversione di stringhe*

- La funzione `strtod` converte una sequenza di caratteri che rappresentano un valore in virgola mobile in un `double`. La funzione riceve due argomenti: una stringa (`char *`) e un puntatore a `char *`. La stringa contiene la sequenza di caratteri da convertire. Alla locazione specificata dal puntatore a `char *` viene assegnato l'indirizzo del resto della stringa dopo la conversione, o dell'intera stringa se non è possibile convertire alcuna porzione della stringa.
- La funzione `strtol` converte una sequenza di caratteri che rappresentano un intero in un `long`. La funzione riceve tre argomenti: una stringa (`char *`), un puntatore a `char *` e un intero. La stringa contiene la sequenza di caratteri da convertire. Alla locazione specificata dal puntatore a `char *` viene assegnato l'indirizzo del resto della stringa dopo la conversione, o dell'intera

stringa se non è possibile convertire alcuna porzione della stringa. L'intero specifica la base del valore convertito.

- La funzione `strtoul` converte una sequenza di caratteri che rappresentano un intero in un `unsigned long int`. La funzione opera in maniera identica a `strtol`.

#### *Paragrafo 8.5 Funzioni della libreria standard di input/output*

- La funzione `fgets` legge caratteri finché non incontra un carattere newline o l'indicatore di end-of-file. Gli argomenti di `fgets` sono un array di tipo `char`, il numero massimo di caratteri che possono essere letti e lo stream dal quale leggerli. Un carattere nullo ('\0') viene aggiunto in coda all'array dopo il termine della lettura. Se si incontra un newline, esso è incluso nella stringa di input.
- La funzione `putchar` stampa il carattere che riceve come argomento.
- La funzione `getchar` legge un singolo carattere dallo standard input e lo restituisce come un intero. Se incontra l'indicatore di end-of-file, `getchar` restituisce EOF.
- La funzione `puts` riceve una stringa (`char *`) come argomento e la stampa seguita da un carattere newline.
- La funzione `sprintf` usa le stesse specificazioni di conversione della funzione `printf` per memorizzare dati formattati in un array di tipo `char`.
- La funzione `sscanf` usa le stesse specificazioni di conversione della funzione `scanf` per leggere dati formattati da una stringa.

#### *Paragrafo 8.6 Funzioni per la manipolazione di stringhe della libreria per il trattamento delle stringhe*

- La funzione `strcpy` copia il suo secondo argomento (una stringa) nel suo primo argomento (un array di caratteri). Dovete assicuravi che l'array sia grande abbastanza da memorizzare la stringa e il suo carattere nullo di terminazione.
- La funzione `strncpy` è equivalente a `strcpy`, ma una chiamata a `strncpy` specifica il numero massimo di caratteri da copiare dalla stringa nell'array. Il carattere nullo di terminazione sarà copiato solo se il numero di caratteri da copiare è uno in più della lunghezza della stringa.
- La funzione `strcat` aggiunge la stringa che riceve come secondo argomento (compreso il carattere nullo di terminazione) in coda alla stringa che riceve come primo argomento. Il primo carattere della seconda stringa sostituisce il carattere nullo ('\0') della prima stringa. Dovete assicurarvi che l'array usato per memorizzare la prima stringa sia abbastanza grande da memorizzare sia la prima che la seconda stringa.
- La funzione `strncat` aggiunge in coda alla prima stringa un numero specificato di caratteri della seconda stringa. Un carattere nullo di terminazione viene aggiunto in coda al risultato.

#### *Paragrafo 8.7 Funzioni di confronto della libreria per il trattamento delle stringhe*

- La funzione `strcmp` confronta la stringa che riceve come primo argomento con la stringa che riceve come secondo argomento, carattere per carattere. Restituisce 0 se le stringhe sono uguali, restituisce un valore negativo se la prima stringa è minore della seconda e restituisce un valore positivo se la prima stringa è maggiore della seconda.
- La funzione `strncmp` è equivalente a `strcmp`, ma `strncmp` confronta un numero specificato di caratteri. Se una delle stringhe è più breve del numero dei caratteri specificato, `strncmp` confronta i caratteri finché non incontra il carattere nullo nella stringa più breve.

### Paragrafo 8.8 Funzioni per la ricerca della libreria per il trattamento delle stringhe

- La funzione `strchr` cerca la prima occorrenza di un carattere in una stringa. Se il carattere viene trovato, `strchr` restituisce un puntatore al carattere nella stringa, altrimenti `strchr` restituisce `NULL`.
- La funzione `strcspn` determina la lunghezza della parte iniziale della stringa nel suo primo argomento che non contiene alcun carattere della stringa nel suo secondo argomento. La funzione restituisce la lunghezza del segmento.
- La funzione `strupr` cerca nel suo primo argomento la *prima occorrenza* di un qualsiasi carattere che fa parte del suo secondo argomento. Se viene trovato, `strupr` restituisce un puntatore al carattere, altrimenti restituisce `NULL`.
- La funzione `strrchr` cerca l'ultima occorrenza di un carattere in una stringa. Se il carattere viene trovato, `strrchr` restituisce un puntatore al carattere nella stringa, altrimenti restituisce `NULL`.
- La funzione `strspn` determina la lunghezza della parte iniziale della stringa nel suo primo argomento contenente solo caratteri che fanno parte della stringa nel suo secondo argomento. La funzione restituisce la lunghezza del segmento.
- La funzione `strstr` cerca la prima occorrenza della stringa che riceve come secondo argomento nella stringa che riceve come primo argomento. Se la seconda stringa viene trovata nella prima stringa, viene restituito un puntatore alla locazione della stringa nel primo argomento.
- Una sequenza di chiamate a `strtok` spezza la prima stringa `s1` in token separati da caratteri contenuti nella seconda stringa `s2`. La prima chiamata contiene `s1` come primo argomento, mentre le chiamate successive per continuare a spezzare in token la stessa stringa contengono `NULL` come primo argomento. A ogni chiamata viene restituito un puntatore al token corrente. Se non vi sono più token quando la funzione è chiamata, viene restituito un puntatore `NULL`.

### Paragrafo 8.9 Funzioni di gestione della memoria della libreria per il trattamento delle stringhe

- La funzione `memcpy` copia un numero specificato di caratteri dall'oggetto a cui punta il suo secondo argomento nell'oggetto a cui punta il suo primo argomento. La funzione può ricevere un puntatore a qualunque tipo di oggetto.
- La funzione `memmove` copia un numero specificato di byte dall'oggetto puntato dal suo secondo argomento nell'oggetto puntato dal suo primo argomento. L'operazione di copiatura è eseguita come se i byte fossero copiati dal secondo argomento in un array di caratteri temporaneo e quindi copiati dall'array temporaneo nel primo argomento.
- La funzione `memcmp` confronta il numero specificato di caratteri del suo primo e del suo secondo argomento.
- La funzione `memchr` cerca la prima occorrenza di un byte, rappresentato come un `unsigned char`, all'interno di un numero specificato di byte di un oggetto. Se il byte viene trovato, viene restituito un puntatore al byte, altrimenti viene restituito un puntatore `NULL`.
- La funzione `memset` copia il suo secondo argomento, trattato come un `unsigned char`, in un numero specificato di byte dell'oggetto puntato dal primo argomento.

**Paragrafo 8.10 Altre funzioni della libreria per il trattamento delle stringhe**

- La funzione `strerror` mappa un numero intero che indica un errore in una stringa di testo secondo una modalità dipendente dal compilatore e dalla posizione geografica. Viene restituito un puntatore alla stringa.
- La funzione `strlen` riceve una stringa come argomento e restituisce il numero di caratteri nella stringa (il carattere nullo di terminazione non è incluso nella lunghezza della stringa).

**Esercizi di autovalutazione**

- 8.1 Scrivete una singola istruzione per eseguire ognuna delle seguenti operazioni. Supponete che le variabili `c` (che memorizza un carattere), `x`, `y` e `z` siano di tipo `int`, che le variabili `d`, `e` e `f` siano di tipo `double`, che la variabile `ptr` sia di tipo `char *` e che gli array `s1[100]` e `s2[100]` siano di tipo `char`.
- Convertite il carattere memorizzato nella variabile `c` in una lettera maiuscola. Assegnate il risultato alla variabile `c`.
  - Determinate se il valore della variabile `c` è una cifra. Usate l'operatore condizionale come mostrato nelle Figure 8.2–8.4 per stampare " is a " o " is not a " quando il risultato viene stampato.
  - Determinate se il valore della variabile `c` è un carattere di controllo. Usate l'operatore condizionale per stampare " is a " o " is not a " quando viene stampato il risultato.
  - Leggete una riga di testo dalla tastiera e memorizzatelo nell'array `s1`. Non usate `scanf`.
  - Stampate la riga di testo memorizzata nell'array `s1`. Non usate `printf`.
  - Assegnate a `ptr` l'indirizzo dell'ultima occorrenza di `c` in `s1`.
  - Stampate il valore della variabile `c`. Non usare `printf`.
  - Determinate se il valore di `c` è una lettera. Usate l'operatore condizionale per stampare " is a " o " is not a " quando viene stampato il risultato.
  - Leggete un carattere dalla tastiera e memorizzatelo nella variabile `c`.
  - Assegnate a `ptr` la locazione della prima occorrenza di `s2` in `s1`.
  - Determine se il valore della variabile `c` è un carattere stampabile. Usate l'operatore condizionale per stampare " is a " o " is not a " quando viene stampato il risultato.
  - Leggete tre valori `double` dalla stringa "1.27 10.3 9.432" e memorizzateli nelle variabili `d`, `e` e `f`.
  - Copiate la stringa memorizzata nell'array `s2` nell'array `s1`.
  - Assegnate a `ptr` la locazione della prima occorrenza di un carattere di `s2` in `s1`.
  - Confrontate la stringa in `s1` con la stringa in `s2`. Stampate il risultato.
  - Assegnate a `ptr` la locazione della prima occorrenza di `c` in `s1`.
  - Usate `sprintf` per memorizzare la stampa dei valori delle variabili intere `x`, `y` e `z` nell'array `s1`. Ogni valore va stampato con un'ampiezza di campo uguale a 7.
  - Aggiungete 10 caratteri della stringa in `s2` in coda alla stringa in `s1`.
  - Determine la lunghezza della stringa in `s1`. Stampate il risultato.
  - Assegnate a `ptr` la locazione del primo token in `s2`. I token nella stringa `s2` sono separati da virgole (,).
- 8.2 Mostrate due metodi differenti per inizializzare l'array di caratteri `vowel` con la stringa di vocali "AEIOU".

- 8.3 Che cosa, eventualmente, viene stampato quando viene eseguita ognuna delle seguenti istruzioni in C? Se l'istruzione contiene un errore, descrivetelo e indicate come correggerlo. Presupponete le seguenti definizioni di variabile.

```
char s1[50] = "jack", s2[50] = "jill", s3[50];
a) printf("%c%s", toupper(s1[0]), &s1[1]);
b) printf("%s", strcpy(s3, s2));
c) printf("%s", strcat(strcpy(s3, s1), " and "), s2));
d) printf("%u", strlen(s1) + strlen(s2));
e) printf("%u", strlen(s3)); // usando s3 dopo l'esecuzione di (c)
```

- 8.4 Trovate l'errore in ognuno dei seguenti segmenti di programma e spiegate come correggerlo:

```
a) char s[10];
strcpy(s, "hello", 5);
printf("%s\n", s);
b) printf("%s", 'a');
c) char s[12];
strcpy(s, "Welcome Home");
d) if (strcmp(string1, string2)) {
 puts("The strings are equal");
}
```

## Risposte agli esercizi di autovalutazione

- 8.1 a) c = toupper(c);  
b) printf("%c%digit\n", c, isdigit(c) ? " is a " : " is not a ");  
c) printf("%c%control character\n",
c, iscntrl(c) ? " is a " : " is not a ");  
d) fgets(s1, 100, stdin);  
e) puts(s1);  
f) ptr = strrchr(s1, c);  
g) putchar(c);  
h) printf("%c%letter\n", c, isalpha(c) ? " is a " : " is not a ");  
i) c = getchar();  
j) ptr = strstr(s1, s2);  
k) printf("%c%sprinting character\n",
c, isprint(c) ? " is a " : " is not a ");  
l) sscanf("1.27 10.3 9.432", "%f%f%f", &d, &e, &f);  
m) strcpy(s1, s2);  
n) ptr = strpbrk(s1, s2);  
o) printf("strcmp(s1, s2) = %d\n", strcmp(s1, s2));  
p) ptr = strchr(s1, c);  
q) sprintf(s1, "%7d%7d%7d", x, y, z);  
r) strncat(s1, s2, 10);  
s) printf("strlen(s1) = %u\n", strlen(s1));  
t) ptr = strtok(s2, ",");
- 8.2 char vowel[] = "AEIOU";
char vowel[] = { 'A', 'E', 'I', 'O', 'U', '\0' };

- 8.3 a) Jack  
 b) jill  
 c) jack and jill  
 d) 8  
 e) 13
- 8.4 a) Errore: la funzione `strncpy` non scrive un carattere nullo di terminazione nell'array `s`, perché il suo terzo argomento è uguale alla lunghezza della stringa "hello".  
 Correzione: fornite come terzo argomento di `strncpy` 6 o assegnate '\0' a `s[5]`.  
 b) Errore: si tenta di stampare una costante carattere come stringa.  
 Correzione: usate %c per inviare in uscita il carattere o sostituite 'a' con "a".  
 c) Errore: l'array di caratteri `s` non è abbastanza grande da memorizzare il carattere nullo di terminazione.  
 Correzione: dichiarate l'array con più elementi.  
 d) Errore: la funzione `strcmp` restituisce 0 se le stringhe sono uguali; pertanto, la condizione nell'istruzione if risulta falsa e la `printf` non viene eseguita.  
 Correzione: confrontate il risultato di `strcmp` con 0 nella condizione.

## Esercizi

- 8.5 (*Test di caratteri*) Scrivete un programma che legga un carattere dalla tastiera e lo testi con ognuna delle funzioni della libreria per il trattamento dei caratteri. Il programma deve stampare il valore restituito da ogni funzione.
- 8.6 (*Stampa di stringhe con caratteri maiuscoli e minuscoli*) Scrivete un programma che legga una riga di testo e la memorizzi nell'array `char s[100]`. Fate stampare la riga sia con lettere maiuscole sia con lettere minuscole.
- 8.7 (*Conversione di stringhe in interi per effettuare calcoli*) Scrivete un programma che legga quattro stringhe che rappresentano valori interi, converta le stringhe in interi, sommi i valori e stampi il totale dei quattro valori.
- 8.8 (*Conversione di stringhe in numeri in virgola mobile per effettuare calcoli*) Scrivete un programma che legga quattro stringhe che rappresentano valori in virgola mobile, converta le stringhe in valori `double`, sommi i valori e stampi il totale dei quattro valori.
- 8.9 (*Confronto di stringhe*) Scrivete un programma che usi la funzione `strcmp` per confrontare due stringhe inserite dall'utente. Il programma deve stabilire se la prima stringa è minore, uguale o maggiore della seconda.
- 8.10 (*Confronto di porzioni di stringhe*) Scrivete un programma che usi la funzione `strncmp` per confrontare due stringhe inserite dall'utente. Il programma deve leggere il numero di caratteri da confrontare, quindi stampare se la prima stringa è minore, uguale o maggiore della seconda.
- 8.11 (*Frasi casuali*) Scrivete un programma che usi la generazione di numeri casuali per creare frasi in inglese. Il programma deve usare quattro array di puntatori a `char` chiamati `article`, `noun`, `verb` e `preposition`. Deve poi creare una frase selezionando una parola a caso da ogni array nell'ordine seguente: `article`, `noun`, `verb`, `preposition`, `article` e `noun`. Ogni parola che viene scelta deve essere concatenata con le parole precedenti in un array grande abbastanza da contenere l'intera frase. Le parole vanno separate da spazi. Quando viene inviata in uscita la frase finale, essa deve cominciare con una lettera maiuscola e finire con

un punto. Il programma deve generare 20 frasi di questo tipo. Gli array vanno riempiti come segue: l'array `article` deve contenere gli articoli "the", "a", "one", "some" e "any"; l'array `noun` deve contenere i nomi "boy", "girl", "dog", "town" e "car"; l'array `verb` deve contenere i verbi "drove", "jumped", "ran", "walked" e "skipped"; l'array `preposition` deve contenere le preposizioni "to", "from", "over", "under" e "on".

Dopo aver scritto il programma precedente e averne verificato il funzionamento, modificate-lo per produrre un breve racconto contenente diverse di queste frasi. (Che ne dite della possibilità di uno scrittore di articoli a caso?)

**8.12 (Limericks)** Un limerick è una poesiola scherzosa in inglese di cinque versi in cui il primo e il secondo fanno rima con il quinto, mentre il terzo fa rima con il quarto. Usando tecniche simili a quelle sviluppate nell'Esercizio 8.11, scrivete un programma che produca limerick casuali (in inglese o in italiano). Affinare il programma per produrre dei buoni limerick è un problema impegnativo, ma il risultato varrà lo sforzo!

**8.13 (Latino maccheronico)** Scrivete un programma che trasformi frasi della lingua inglese in latino maccheronico (come percepito dalle persone di madrelingua inglese). Il latino maccheronico è una forma di linguaggio codificato usato spesso per divertimento. Esistono molte variazioni nei metodi usati per formare frasi in latino maccheronico. Per semplicità usate l'algoritmo seguente:

Per formare una frase in latino maccheronico da una frase della lingua inglese, spezzate con la funzione `strtok` la frase nelle sue parole costituenti. Per tradurre ogni parola inglese in una parola in latino maccheronico, spostate la prima lettera della parola inglese alla fine della parola e aggiungete le lettere "ay". In questo modo la parola "jump" diventa "umpjay", la parola "the" diventa "hetay" e la parola "computer" diventa "omputercay". Gli spazi tra le parole rimangono tali. Presupponete quanto segue: la frase inglese è formata da parole separate da spazi, non vi sono segni di interpunkzione e tutte le parole hanno due o più lettere. La funzione `printLatinWord` deve stampare ogni parola. [Suggerimento: ogni volta che in una chiamata a `strtok` si trova un token, passate il puntatore al token alla funzione `printLatinWord` e stampate la parola in latino maccheronico. Nota: abbiamo fornito qui regole semplificate per convertire parole in latino maccheronico. Per regole e variazioni più dettagliate, visitate il sito [en.wikipedia.org/wiki/Pig\\_latin](https://en.wikipedia.org/wiki/Pig_latin).]

**8.14 (Analisi di numeri telefonici)** Scrivete un programma che legga un numero di telefono come una stringa nella forma (555) 555-5555. Il programma deve usare la funzione `strtok` per estrarre come singoli token il prefisso, le prime tre cifre e infine le ultime quattro cifre del numero telefonico. Le sette cifre del numero telefonico vanno concatenate in una stringa. Il programma deve convertire la stringa del prefisso in un `int` e la stringa del numero telefonico in un `long`. Vanno stampati sia il prefisso che il numero di telefono.

**8.15 (Stampa di una frase all'inverso)** Scrivete un programma che legga una riga di testo, spezzatela in token la riga con la funzione `strtok` e invii in uscita i token in ordine inverso.

**8.16 (Ricerca di sottostringhe)** Scrivete un programma che legga dalla tastiera una riga di testo e una stringa da ricercare. Usando la funzione `strstr`, cercate nella riga di testo la prima occorrenza della stringa da ricercare e assegnate il suo indirizzo alla variabile `searchPtr` di tipo `char *`. Se la stringa viene trovata, stampate il resto della riga di testo cominciando con tale stringa. Poi usate di nuovo `strstr` per localizzare la successiva occorrenza della stringa nella riga di testo. Se questa viene trovata, stampate il resto della riga di testo cominciando di nuovo con la stringa. [Suggerimento: la seconda chiamata a `strstr` deve contenere `searchPtr + 1` come suo primo argomento.]

- 8.17 (*Conteggio delle occorrenze di una sottostringa*) Scrivete un programma basato sul programma dell'Esercizio 8.16 che legga diverse righe di testo e una stringa da ricercare e che usi la funzione `strstr` per determinare il totale delle volte in cui la stringa ricorre nelle righe di testo. Stampate il risultato.
- 8.18 (*Conteggio delle occorrenze di un carattere*) Scrivete un programma che legga diverse righe di testo e un carattere da ricercare e che usi la funzione `strchr` per determinare il totale delle volte in cui il carattere compare nelle righe di testo.
- 8.19 (*Conteggio delle lettere dell'alfabeto in una stringa*) Scrivete un programma basato sul programma dell'Esercizio 8.18 che legga diverse righe di testo e che usi la funzione `strchr` per determinare il totale delle volte in cui ogni lettera dell'alfabeto compare nelle righe di testo. Le lettere maiuscole e minuscole vanno contate insieme. Memorizzate i totali per ogni lettera in un array e stampate i valori in formato tabellare dopo che sono stati determinati i totali.
- 8.20 (*Conteggio del numero di parole in una stringa*) Scrivete un programma che legga diverse righe di testo e che usi `strtok` per contare il numero totale di parole. Supponete che le parole siano separate o da spazi o da caratteri newline.
- 8.21 (*Mettere in ordine alfabetico una lista di stringhe*) Usate le funzioni per il confronto di stringhe e le tecniche per ordinare gli array per scrivere un programma che metta in ordine alfabetico una lista di stringhe. Usate i nomi di 10 o 15 città come dati per il vostro programma.
- 8.22 La tabella nell'Appendice B mostra le rappresentazioni con codici numerici dei caratteri dell'insieme di caratteri ASCII. Studiate questa tabella e poi stabilite se ognuna delle seguenti affermazioni è *vera* o *falsa*.
- La lettera "A" viene prima della lettera "B".
  - La cifra "9" viene prima della cifra "0".
  - I simboli comunemente usati per l'addizione, la sottrazione, la moltiplicazione e la divisione vengono tutti prima di una qualunque delle cifre.
  - Le cifre vengono prima delle lettere.
  - Se un programma di ordinamento ordina le stringhe in una sequenza crescente, porrà il simbolo per una parentesi destra prima del simbolo per una parentesi sinistra.
- 8.23 (*Stringhe che cominciano con "b"*) Scrivete un programma che legga una serie di stringhe e stampi solo quelle che cominciano con la lettera "b".
- 8.24 (*Stringhe che finiscono con "ed"*) Scrivete un programma che legga una serie di stringhe e stampi solo quelle che finiscono con le lettere "ed".
- 8.25 (*Stampa di lettere per vari codici ASCII*) Scrivete un programma che legga un codice ASCII e stampi il carattere corrispondente.
- 8.26 (*Scrivete le vostre funzioni per il trattamento dei caratteri*) Usando come guida la tabella di caratteri ASCII nell'Appendice B, scrivete le vostre versioni delle funzioni per il trattamento dei caratteri della Figura 8.1.
- 8.27 (*Scrivete le vostre funzioni di conversione di stringhe*) Scrivete le vostre versioni delle funzioni della Figura 8.5 per convertire stringhe in numeri.
- 8.28 (*Scrivete le vostre funzioni per copiare e concatenare stringhe*) Scrivete due versioni di ognuna delle funzioni per copiare e concatenare stringhe della Figura 8.14. La prima versione deve usare l'indicizzazione di array e la seconda i puntatori e l'aritmetica dei puntatori.

- 8.29 (*Scrivete le vostre funzioni di confronto di stringhe*) Scrivete due versioni di ogni funzione di confronto di stringhe della Figura 8.17. La prima versione deve usare l'indicizzazione di array e la seconda i puntatori e l'aritmetica dei puntatori.
- 8.30 (*Scrivete la vostra funzione per il calcolo della lunghezza di stringhe*) Scrivete due versioni della funzione `strlen` della Figura 8.33. La prima versione deve usare l'indicizzazione di array e la seconda i puntatori e l'aritmetica dei puntatori.

## Paragrafo speciale: esercizi avanzati di manipolazione di stringhe

Gli esercizi precedenti sono adeguati al testo e ideati per verificare la comprensione da parte del lettore dei concetti fondamentali della manipolazione di stringhe. Questo paragrafo contiene problemi intermedi e avanzati che troverete impegnativi ma divertenti e di diversi gradi di difficoltà. Alcuni richiedono un'ora o due di programmazione, altri sono utili per attività di laboratorio che potrebbero richiedere due o tre settimane di studio e di implementazione. Alcuni sono progetti impegnativi a lungo termine.

- 8.31 (*Analisi di testi*) La disponibilità di computer con funzionalità orientate alla manipolazione di stringhe ha prodotto alcuni approcci alquanto interessanti all'analisi degli scritti di grandi autori. Molta attenzione si è concentrata sul fatto se William Shakespeare sia mai vissuto. Alcuni studiosi ritengono che ci siano prove sufficienti che Christopher Marlowe abbia in realtà composto i capolavori attribuiti a Shakespeare. I ricercatori hanno usato i computer per trovare somiglianze nelle opere di questi due autori. Questo esercizio esamina tre metodi per analizzare testi con un computer.

- a) Scrivete un programma che legga diverse righe di testo e stampi una tabella che indichi il numero di volte che ogni lettera dell'alfabeto ricorre nel testo. Ad esempio, la frase

To be, or not to be: that is the question:

contiene una "a", due "b", nessuna "c", e così via.

- b) Scrivete un programma che legga diverse righe di testo e stampi una tabella che indichi il numero delle parole di una lettera, delle parole di due lettere, di tre lettere, ecc., che compaiono nel testo.

Ad esempio, la frase

Whether 'tis nobler in the mind to suffer

contiene

| Lunghezza delle parole | Occorrenze        |
|------------------------|-------------------|
| 1                      | 0                 |
| 2                      | 2                 |
| 3                      | 1                 |
| 4                      | 2 (compreso 'tis) |
| 5                      | 0                 |
| 6                      | 2                 |
| 7                      | 1                 |

- c) Scrivete un programma che legga diverse righe di testo e stampi una tabella che indichi il numero di volte che ogni parola diversa ricorre nel testo. Il programma deve includere le parole nella tabella nello stesso ordine in cui compaiono nel testo. Ad esempio, le righe

To be, or not to be: that is the question:

Whether 'tis nobler in the mind to suffer

contengono le parole "to" tre volte, "be" due volte, "or" una volta, e così via.

- 8.32 (*Stampa di date in vari formati*) Nelle corrispondenze d'affari le date sono comunemente stampate in diversi formati differenti. Due dei formati più comuni sono

07/21/2003 e July 21, 2003

Scrivete un programma che legga una data nel primo formato e la stampi nel secondo.

- 8.33 (*Protezione di assegni*) I computer sono usati frequentemente in sistemi per la scrittura di assegni, come in applicazioni di libri paga e di conti fornitori. Circolano molte storie sugli assegni paga settimanali stampati (per errore) con importi in eccesso di 1 milione di dollari. Vengono stampati strani importi da sistemi computerizzati per la scrittura di assegni a causa di errori umani e/o di malfunzionamenti delle macchine. I progettisti di sistemi, naturalmente, fanno ogni sforzo per inserire controlli nei loro sistemi, al fine di evitare che siano emessi assegni sbagliati.

Un altro problema serio è quello dell'alterazione intenzionale di una certa quantità di assegni da parte di qualcuno che intende incassarli in modo fraudolento. Per evitare che un importo in dollari venga alterato, la maggior parte dei sistemi computerizzati per la scrittura di assegni impiega una tecnica chiamata *protezione di assegni*.

Gli assegni destinati a essere stampati da un computer contengono un numero fisso di spazi in cui il computer può stampare un importo. Supponete che un assegno paga contenga nove spazi in cui il computer è tenuto a stampare l'importo di una paga settimanale.

Se l'importo è grande, allora tutti quei nove spazi verranno riempiti, come in questo caso:

11,230.60 (importo dell'assegno)

-----  
123456789 (numeri di posizione)

D'altra parte, se l'importo è inferiore a 1000 dollari, saranno normalmente lasciati vuoti diversi spazi; ad esempio,

99.87

-----  
123456789

contiene quattro spazi vuoti. Se un assegno viene stampato con spazi vuoti, è più facile alterarne l'importo. Per evitare tale alterazione, molti sistemi per la scrittura di assegni inseriscono degli *asterischi iniziali*, così da proteggere l'importo come segue:

\*\*\*\*99.87

-----  
123456789

Scrivete un programma che legga un importo in dollari da stampare su un assegno e che poi stampi l'importo nel formato di assegno protetto con asterischi iniziali, se necessario. Supponete che per stampare un importo siano disponibili nove spazi.

- 8.34 (Scrittura dell'equivalente in lettere dell'importo di un assegno)** Continuando l'analisi dell'esercizio precedente, ribadiamo l'importanza di progettare sistemi per la scrittura di assegni con l'obiettivo di evitare le alterazioni degli importi. Un comune metodo di sicurezza richiede che l'importo di un assegno venga scritto sia in numeri che in lettere. Anche se qualcuno fosse capace di alterare l'importo numerico dell'assegno, è estremamente difficile cambiare l'importo scritto in lettere. Scrivete un programma che legga l'importo numerico di un assegno e ne scriva l'equivalente in lettere. Ad esempio, l'importo 52,43 deve essere scritto come

CINQUANTA DUE e 43/100

- 8.35 (Progetto: un programma di conversione metrica)** Scrivete un programma per assistere l'utente in operazioni di conversione metrica. Il vostro programma deve permettere all'utente di specificare i nomi delle unità come stringhe (cioè centimetri, litri, grammi, ecc. per il sistema metrico, e pollici, quarti di gallone, libbre, ecc. per il sistema inglese) e deve rispondere a semplici domande come

"Quanti pollici vi sono in 2 metri?"

"Quanti litri vi sono in 10 quarti di gallone?"

Il vostro programma deve riconoscere le conversioni non valide. Ad esempio, la domanda

"Quanti piedi vi sono in 5 chilogrammi?"

è del tutto priva di senso, perché "piedi" riguarda un'unità di lunghezza, mentre "chilogrammi" riguarda un'unità di massa.

## Un progetto impegnativo di manipolazione di stringhe

- 8.36 (Progetto: un generatore di cruciverba)** Molte persone in varie occasioni si impegnano nella risoluzione di cruciverba, ma poche hanno mai tentato di crearne uno. Creare un cruciverba è un problema difficile. Qui è proposto come un progetto di manipolazione di stringhe che richiede uno sforzo e un grado di sofisticatezza notevoli. È necessario risolvere molti problemi per far funzionare anche il più semplice programma generatore di parole crociate. Ad esempio, come si può rappresentare la griglia di un cruciverba all'interno del computer? Si devono usare serie di stringhe, o forse array bidimensionali? Occorre una fonte di parole (ossia un dizionario computerizzato) a cui il programma possa fare direttamente riferimento. In quale forma vanno memorizzate queste parole per facilitare le complesse manipolazioni richieste dal programma? Il lettore veramente ambizioso vorrà creare la porzione delle "definizioni" del cruciverba in cui sono stampati per gli appassionati del gioco i brevi suggerimenti riguardo a ogni parola "orizzontale" e "verticale". Ma già soltanto stampare una versione del cruciverba vuoto non è un problema semplice.

## Prove sul campo

- 8.37 (Cucinare con ingredienti più sani)** Negli Stati Uniti l'obesità sta aumentando a un ritmo allarmante. Controllate la pagina web di *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) all'indirizzo [www.cdc.gov/obesity/data/index.html](http://www.cdc.gov/obesity/data/index.html), che contiene dati e statistiche sull'obesità negli Stati Uniti. Aumentando l'obesità, aumentano anche i casi riguardanti problemi a essa correlati (es. malattie cardiache, pressione sanguigna alta, colesterolo alto, diabete di tipo 2). Scrivete un programma che aiuti l'utente a scegliere gli ingredienti quando cucina e che aiuti gli allergici a certi cibi (es. noci, glutine) a trovarne di alternativi. Il programma deve leggere una ricetta fornita dall'utente e consigliare ingredienti sostitutivi

più sani. Per semplicità, il vostro programma deve presupporre che la ricetta non contenga abbreviazioni per le misure quali cucchiaini da tè, tazze e cucchiai, e usi cifre numeriche per le quantità (es. 1 uovo, 2 tazze) invece che lettere (un uovo, due tazze). Alcune comuni sostituzioni con alimenti alternativi sono mostrate nella Figura 8.36. Il vostro programma deve stampare un avviso come "Consultate sempre il vostro medico prima di apportare modifiche significative alla vostra dieta".

| Ingrediente                     | Sostituzione                                                                                                           |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 tazza di panna acida          | 1 tazza di yogurt                                                                                                      |
| 1 tazza di latte                | 1/2 tazza di latte condensato senza zucchero e 1/2 tazza di acqua                                                      |
| 1 cucchiaino di succo di limone | 1/2 cucchiaino di aceto                                                                                                |
| 1 tazza di zucchero             | 1/2 tazza di miele, 1 tazza di melassa o 1/4 di tazza di nettare di agave                                              |
| 1 tazza di burro                | 1 tazza di margarina o di yogurt                                                                                       |
| 1 tazza di farina               | 1 tazza di farina di segale o di farina di riso                                                                        |
| 1 tazza di maionese             | 1 tazza di fiocchi di latte o 1/8 di tazza di maionese e 7/8 di tazza di yogurt                                        |
| 1 uovo                          | 2 cucchiaini di amido di mais, fecola di maranta o amido di patate o 2 albumi o 1/2 di una grossa banana (schiacciata) |
| 1 tazza di latte                | 1 tazza di latte di soia                                                                                               |
| 1/4 di tazza di olio            | 1/4 di tazza di salsa di mele                                                                                          |
| pane bianco                     | pane integrale                                                                                                         |

**Figura 8.36** Comuni sostituzioni di ingredienti.

Il vostro programma deve inoltre prendere in considerazione il fatto che il rapporto delle sostituzioni non è sempre di uno a uno. Ad esempio, se la ricetta di una torta richiede tre uova, essa potrebbe invece usare ragionevolmente sei albumi. È possibile ottenere dati di conversione per le misure e i cibi sostitutivi da siti web come:

[chinesefood.about.com/od/recipeconversionfaqs/f/usmetricrecipes.htm](http://chinesefood.about.com/od/recipeconversionfaqs/f/usmetricrecipes.htm)  
[www.pioneerthinking.com/eggsub.html](http://www.pioneerthinking.com/eggsub.html)  
[www.gourmetsleuth.com/conversions.htm](http://www.gourmetsleuth.com/conversions.htm)

Il vostro programma deve considerare le preoccupazioni dell'utente per la sua salute, come colesterolo alto, pressione alta, aumento di peso, allergia al glutine e così via. Per il colesterolo alto il programma deve suggerire alimenti alternativi alle uova e ai latticini; se l'utente desidera perdere peso, vanno consigliati cibi poco calorici al posto di ingredienti come lo zucchero.

**8.38 (Spam scanner)** Gli spam (o e-mail indesiderate) costano alle organizzazioni statunitensi miliardi di dollari all'anno in software per la loro prevenzione, in dispositivi, risorse di rete, larghezza di banda e produttività perduta. Cercate on-line alcuni dei più comuni messaggi indesiderati inviati per e-mail e controllate la vostra cartella di posta indesiderata. Create una lista di 30 parole e frasi trovate comunemente nei messaggi indesiderati. Scrivete un programma in cui l'utente inserisca un messaggio di posta elettronica. Il vostro programma deve leggere il messaggio e memorizzarlo in un array di caratteri di grandi dimensioni. Assicura-

tevi che il programma non tenti di inserire caratteri oltre la fine dell'array. Poi analizzate il messaggio per ognuna delle 30 parole chiave o frasi. Per ogni occorrenza di una di queste parole o frasi nel messaggio, aggiungete un punto al “punteggio di spam” del messaggio. Successivamente, valutate la probabilità che il messaggio sia indesiderato, basandovi sul numero di punti che riceve.

- 8.39 (*Linguaggio per SMS*)** Lo *Short Message Service* (SMS) è un servizio di comunicazioni fra telefoni cellulari che permette di inviare messaggi di testo di 160 o meno caratteri. Con la proliferazione in tutto il mondo dell'uso dei cellulari, l'SMS è usato in molte nazioni in via di sviluppo per fini politici (es. dare voce a opinioni e all'opposizione), per riferire notizie su disastri naturali, e così via. Ad esempio, visitate il sito [comunica.org/radio2.0/archives/87](http://comunica.org/radio2.0/archives/87). Poiché la lunghezza dei messaggi via SMS è limitata, si usa spesso il linguaggio SMS: abbreviazioni di parole e frasi comuni nei messaggi di testo per cellulari, e-mail, messaggi istantanei, ecc. Ad esempio, “ti voglio bene” diventa “TVB” nel linguaggio SMS. Cercate on-line linguaggi SMS. Scrivete un programma che faccia inserire all'utente un messaggio con un linguaggio SMS e che poi lo traduca nella lingua che preferite. Fornite anche un meccanismo per tradurre un testo scritto nella vostra lingua nel linguaggio SMS. Un problema potenziale è costituito dal fatto che un'abbreviazione in SMS potrebbe espandersi in una varietà di frasi. Ad esempio, TVB (come usato in precedenza) potrebbe stare anche per “tutto va bene”, “Ti Voglio Bere” (campagna per l'uso consapevole dell'acqua), ecc.
- 8.40 (*Neutralità di genere*)** Molte persone cercano di eliminare il sessismo in tutte le forme di comunicazione. Descrivete un algoritmo che usereste per leggere da cima a fondo un paragrafo di testo e sostituire i termini specifici di genere con equivalenti neutrali. Create un programma che legga un paragrafo di testo, quindi sostituisca i termini specifici di genere con quelli neutrali. Stampate il testo neutrale che ne risulta.



## OBIETTIVI

- Usare stream di input e output.
- Usare le funzionalità per la formattazione nelle operazioni di stampa.
- Usare le funzionalità per la formattazione nelle operazioni di input.
- Stampare interi, numeri in virgola mobile, stringhe e caratteri.
- Stampare specificando la larghezza di campo e la precisione.
- Usare dei flag nella stringa di controllo del formato con `printf`.
- Inviare in uscita letterali e sequenze di escape.
- Effettuare la formattazione dell'input usando `scanf`.

## 9.1 Introduzione

Una parte importante della soluzione di un problema è la *presentazione* dei risultati. In questo capitolo approfondiremo le caratteristiche di formattazione di `printf` e `scanf`, che rispettivamente leggono dati dallo stream (letteralmente “flusso”) standard input e inviano in uscita dati allo stream standard output. Includete l’intestazione `<stdio.h>` nei programmi che chiamano queste funzioni. Il Capitolo 11 esaminerà diverse ulteriori funzioni incluse nella libreria standard di input/output (`<stdio.h>`).

## 9.2 Stream

Tutte le operazioni di input e output vengono eseguite con gli *stream*, che sono sequenze di byte. Nelle operazioni di *input* i byte fuiscono *da un dispositivo* (es. una tastiera, un disco fisso, una connessione di rete) *alla memoria principale*. Nelle operazioni di *output* i byte fuiscono *dalla memoria principale a un dispositivo* (es. uno schermo, una stampante, un disco fisso, una connessione di rete, ecc.).

Quando inizia l’esecuzione di un programma, tre stream sono connessi automaticamente al programma. Normalmente, lo *stream standard input* è connesso alla *tastiera* e lo *stream standard output* è connesso allo *schermo*. Anche un terzo stream, lo *stream standard error*, è connesso allo *schermo*. I sistemi operativi permettono spesso a questi stream di essere *ridiretti* ad altri dispositivi. Mostreremo come inviare in uscita messaggi di errore allo *stream standard error* nel Capitolo 11, dove gli stream saranno esaminati in dettaglio.

## 9.3 Formattazione dell'output con printf

Una formattazione dettagliata dell'output si realizza con `printf`. Ogni chiamata di `printf` contiene una stringa di controllo del formato che descrive il formato dell'output. La stringa di controllo del formato è costituita da specificatori di conversione, flag (indicatori), larghezze di campo, precisioni e caratteri letterali. Insieme al segno di percentuale (%), questi formano le specificazioni di conversione. La funzione `printf` può realizzare le seguenti funzionalità di formattazione, ognuna delle quali verrà esaminata in questo capitolo:

1. Arrotondare i valori in virgola mobile a un numero indicato di cifre decimali.
2. Allineare una colonna di numeri con punto decimale.
3. Allineare a destra e allineare a sinistra gli output.
4. Inserire caratteri letterali in posizioni precise in una riga di output.
5. Rappresentare numeri in virgola mobile in formato esponenziale.
6. Rappresentare interi senza segno in formato ottale ed esadecimale. Consultate l'Appendice C per maggiori informazioni sui valori ottali ed esadecimali.
7. Stampare tutti i tipi di dati con precisione e larghezza di campo fissata.

La funzione `printf` ha la forma

```
printf(stringa di controllo del formato, altri argomenti);
```

La *stringa di controllo del formato* descrive il formato dell'output e gli *altri argomenti* (che sono facoltativi) corrispondono a ogni specificazione di conversione nella *stringa di controllo del formato*. Ogni specificazione di conversione inizia con un segno di percentuale e termina con uno specificatore di conversione. Vi possono essere molte specificazioni di conversione in una stringa di controllo del formato.



### Errore comune di programmazione 9.1

Dimenticare di racchiudere fra virgolette una stringa di controllo del formato è un errore di sintassi.

## 9.4 Stampa di interi

Un intero è un numero senza punto decimale, come 776, 0 o -52. I valori interi possono essere stampati in diversi formati. La Figura 9.1 descrive gli specificatori di conversione di interi.

La Figura 9.2 stampa un intero usando ognuno degli specificatori di conversione di interi. Viene stampato soltanto il segno *meno*; i segni *più* sono normalmente soppressi – vedremo come fare in modo che i segni *più* vengano stampati. Inoltre, il valore -455, quando è letto con %u (riga 15), è interpretato come valore senza segno 4294966841.



### Errore comune di programmazione 9.2

Stampare un valore negativo con uno specificatore di conversione che si aspetta un valore senza segno.

| Specificatore di conversione | Descrizione                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| d                            | Stampa come un <i>intero decimale con segno</i> .                                                                                                                                                                                       |
| i                            | Stampa come un <i>intero decimale con segno</i> . [Nota: gli specificatori i e d sono diversi quando sono usati con scanf.]                                                                                                             |
| o                            | Stampa come un <i>intero ottale senza segno</i> .                                                                                                                                                                                       |
| u                            | Stampa come un <i>intero decimale senza segno</i> .                                                                                                                                                                                     |
| x o X                        | Stampa come un <i>intero esadecimale senza segno</i> . X fa sì che siano stampate le cifre 0-9 e le lettere <i>maiuscole A-F</i> , e x fa sì che siano stampate le cifre 0-9 e le lettere <i>minuscole a-f</i> .                        |
| h, l o ll (lettera "elle")   | Vanno posti <i>prima</i> di uno specificatore di conversione di interi per indicare che viene stampato, rispettivamente, un intero short, un intero long o un intero long long. Questi sono chiamati <i>modificatori di lunghezza</i> . |

**Figura 9.1** Specificatori di conversione di interi.

```

1 // Fig. 9.2: Fig09_02.c
2 // Uso degli specificatori di conversione di interi
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 printf("%d\n", 455);
8 printf("%i\n", 455); // i come d in printf
9 printf("%d\n", +455); // non viene stampato il segno più
10 printf("%d\n", -455); // viene stampato il segno meno
11 printf("%hd\n", 32000);
12 printf("%ld\n", 2000000000L); // suffisso L per letterale long int
13 printf("%o\n", 455); // ottale
14 printf("%u\n", 455);
15 printf("%u\n", -455);
16 printf("%x\n", 455); // esadecimale con lettere minuscole
17 printf("%X\n", 455); // esadecimale con lettere maiuscole
18 }
```

```

455
455
455
-455
32000
2000000000
707
455
4294966841
1c7
1C7

```

**Figura 9.2** Uso degli specificatori di conversione di interi.

## 9.5 Stampa di numeri in virgola mobile

Un valore in virgola mobile contiene un punto decimale come in 33.5, 0.0 o in -657.983. I valori in virgola mobile possono essere stampati in diversi formati. La Figura 9.3 descrive gli specificatori di conversione di numeri in virgola mobile. Gli specificatori di conversione e ed E stampano valori in virgola mobile in **notazione esponenziale**, l'equivalente informatica della **notazione scientifica** utilizzata in matematica. Ad esempio, il valore 150,4852 è rappresentato in notazione scientifica come

$1.504582 \times 10^2$

e dal computer in notazione esponenziale come

1.504582E+02

Questa notazione indica che 1.504582 è moltiplicato per 10 elevato alla seconda (E+02). La E sta per “esponente”.

| Specificatore di conversione | Descrizione                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| e o E                        | Stampa un valore in virgola mobile in <i>notazione esponenziale</i> .                                                                                                                            |
| f o F                        | Stampa i valori in virgola mobile nella <i>notazione in virgola fissa</i> (lo specificatore F è supportato nel compilatore Visual C++ di Microsoft in Visual Studio 2015 e versioni successive). |
| g o G                        | Stampa un valore in virgola mobile o nel <i>formato f</i> oppure nel formato esponenziale e (o E), in base alla grandezza del valore.                                                            |
| L                            | Va posto prima dello specificatore di conversione di numeri in virgola mobile per indicare che viene stampato un valore in virgola mobile long double.                                           |

Figura 9.3 Specificatori di conversione di numeri in virgola mobile.

### 9.5.1 Specificatori di conversione e, E e f

I valori stampati con gli specificatori di conversione e, E e f, per impostazione predefinita, presentano *sei cifre di precisione* alla destra del punto decimale (es. 1.045927); altre precisioni si possono specificare esplicitamente. Lo specificatore di conversione f stampa sempre almeno una cifra alla sinistra del punto decimale. Gli specificatori di conversione e ed E stampano, rispettivamente, la e minuscola e la E maiuscola prima dell'esponente e stampano *esattamente una sola* cifra alla sinistra del punto decimale.

### 9.5.2 Specificatori di conversione g e G

Lo specificatore di conversione g (o G) stampa sia nel formato e (E) che nel formato f *senza zeri finali* (1.234000 è stampato come 1.234). I valori sono stampati con e (E) se, dopo la conversione nella notazione esponenziale, l'esponente del valore è minore di -4 o maggiore o uguale alla precisione specificata (*sei cifre significative* preimpostate per g e G). Altrimenti, per stampare il valore viene usato lo specificatore di conversione f. È richiesta almeno una cifra decimale perché sia stampato il punto decimale. Ad esempio, i valori 0.0000875, 8750000.0, 8.75 e 87.50 sono stampati, con lo specificatore di conversione g, come 8.75e-05, 8.75e+06, 8.75 e 87.5. Per il valore 0.0000875 si usa la notazione e perché, quando è convertito nella notazione esponenziale, il suo esponente (-5) è minore di -4. Per il valore 8750000.0 si usa la notazione e perché il suo esponente (6) è uguale alla

precisione preimpostata. La precisione per gli specificatori di conversione g e G indica il numero massimo di cifre significative stampate, compresa la cifra alla sinistra del punto decimale. Il valore 1234567.0 è stampato come 1.234567e+06, usando lo specificatore di conversione %g (ricordate che tutti gli specificatori di conversione di numeri in virgola mobile hanno una *precisione preimposta di 6*). Vi sono sei cifre significative nel risultato. La differenza tra g e G è identica alla differenza tra e ed E quando il valore viene stampato con la notazione esponenziale: la g minuscola fa sì che sia stampata una e minuscola, e una G maiuscola fa sì che sia stampata una E maiuscola).



### Prevenzione di errori 9.1

*Quando inviate dati in uscita, assicuratevi che l'utente sia informato delle situazioni in cui i dati possono essere imprecisi a causa della formattazione (es. errori di arrotondamento dovuti alla precisione specificata).*

### 9.5.3 Dimostrare gli specificatori di conversione in virgola mobile

La Figura 9.4 illustra l'uso di ognuno degli specificatori di conversione di numeri in virgola mobile. Gli specificatori di conversione %E, %e e %g fanno sì che il valore sia *arrotondato* nell'output, mentre lo specificatore di conversione %f non lo fa.



### Portabilità 9.2

*Con alcuni compilatori l'esponente negli output sarà mostrato con due cifre alla destra del segno +.*

```

1 // Fig. 9.4: fig09_04.c
2 // Uso degli specificatori di conversione di numeri in virgola mobile
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 printf("%e\n", 1234567.89);
8 printf("%e\n", +1234567.89); // non viene stampato il segno piu'
9 printf("%e\n", -1234567.89); // viene stampato il meno
10 printf("%E\n", 1234567.89);
11 printf("%f\n", 1234567.89); // sei cifre a destra del punto decimale
12 printf("%g\n", 1234567.89); // stampa con la lettera minuscola e
13 printf("%G\n", 1234567.89); // stampa con la lettera maiuscola E
14 }
```

```

1.234568e+006
1.234568e+006
-1.234568e+006
1.234568E+006
1234567.890000
1.23457e+006
1.23457E+006

```

**Figura 9.4** Uso degli specificatori di conversione di numeri in virgola mobile.

## 9.6 Stampa di stringhe e caratteri

Gli specicatori di conversione `c` ed `s` sono usati per stampare, rispettivamente, singoli caratteri e stringhe. Lo specicatore di conversione `c` richiede un argomento `char`. Lo specicatore di conversione `s` fa sì che i caratteri siano stampati finché non si incontra un carattere nullo di terminazione ('`\0`'). Se per qualche motivo la stringa da stampare non ha un terminatore nullo, la funzione `printf` continuerà a stampare finché infine non incontrerà un byte zero. Il programma mostrato nella Figura 9.5 stampa caratteri e stringhe con gli specicatori di conversione `c` e `s`.

```

1 // Fig. 9.5: fig09_05c
2 // Uso degli specicatori di conversione di caratteri e stringhe
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 char character = 'A'; // inizializza un char
8 printf("%c\n", character);
9
10 printf("%s\n", "This is a string");
11
12 char string[] = "This is a string"; // inizializza un array di char
13 printf("%s\n", string);
14
15 const char *stringPtr = "This is also a string"; // puntatore a char
16 printf("%s\n", stringPtr);
17 }
```

```

A
This is a string
This is a string
This is also a string
```

**Figura 9.5** Uso degli specicatori di conversione di caratteri e stringhe.

La maggior parte dei compilatori non cattura errori nella stringa di controllo della formattazione, quindi solitamente non ci si accorge di tali errori finché un programma non produce risultati scorretti al momento dell'esecuzione.



### Errore comune di programmazione 9.3

*Usare `%c` per stampare una stringa è un errore. Lo specicatore di conversione `%c` si aspetta un argomento `char`. Una stringa è un puntatore a `char` (cioè un `char *`).*



### Errore comune di programmazione 9.4

*Usare `%s` per stampare un argomento `char` causa spesso un errore irreversibile in fase d'esecuzione, chiamato violazione di accesso. Lo specicatore di conversione `%s` si aspetta un argomento di tipo puntatore a `char`.*



### Errore comune di programmazione 9.5

*Usare virgolette singole attorno alle stringhe di caratteri è un errore di sintassi. Le stringhe di caratteri devono essere racchiuse tra virgolette doppie.*



### Errore comune di programmazione 9.6

*L'uso delle doppie virgolette attorno a una costante carattere crea un puntatore a una stringa formata da due caratteri, il secondo dei quali è quello nullo di terminazione.*

## 9.7 Altri specificatori di conversione

La Figura 9.6 mostra gli specificatori di conversione p e %. Il %p usato nel programma della Figura 9.7 stampa il valore di ptr e l'indirizzo di x; questi valori sono identici perché a ptr è assegnato l'indirizzo di x. L'ultima istruzione printf usa %% per stampare il carattere % in una stringa di caratteri.



### Portabilità 9.2

*Lo specificatore di conversione p stampa un indirizzo in un formato definito dall'implementazione (su molti sistemi viene usata la notazione esadecimale invece di quella decimale).*



### Errore comune di programmazione 9.7

*Cercare di stampare un carattere letterale di percentuale usando % invece di %% nella stringa di controllo del formato. Quando in una stringa di controllo del formato compare %, questo deve essere seguito da uno specificatore di conversione.*

| Specificatore di conversione | Descrizione                                                                   |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| p                            | Stampa il valore di un puntatore in un formato definito dall'implementazione. |
| %                            | Stampa il carattere di percentuale.                                           |

**Figura 9.6** Altri specificatori di conversione.

```

1 // Fig. 9.7: fig09_07.c
2 // Uso degli specificatori di conversione p e %
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 int x = 12345; // inizializza int x
8 int *ptr = &x; // assegna l'indirizzo di x a ptr
9
10 printf("The value of ptr is %p\n", ptr);
11 printf("The address of x is %p\n\n", &x);
12
13 puts("Printing a %% in a format control string\n");
14 }
```

```
The value of ptr is 002EF778
The address of x is 002EF778

Printing a % in a format control string
```

**Figura 9.7** Uso degli specificatori di conversione p e %.

## 9.8 Stampare con larghezza di campo e precisione

La dimensione esatta di un campo in cui sono stampati i dati è specificata da una **larghezza di campo**. Se la larghezza di campo è maggiore rispetto ai dati che vengono stampati, questi vengono normalmente *allineati a destra* all'interno del campo. Un intero che rappresenta la larghezza di campo è inserito tra il segno di percentuale (%) e lo specificatore di conversione (es. %4d).

### 9.8.1 Specificare larghezze di campo per la stampa di interi

La Figura 9.8 stampa due gruppi di cinque numeri ciascuno, *allineando a destra* i numeri contenenti meno cifre della larghezza di campo. La larghezza di campo viene aumentata per stampare valori più lunghi del campo. Notate che il segno *meno* di un valore negativo usa una posizione di un carattere nella larghezza di campo. Le larghezze di campo possono essere usate con tutti gli specificatori di conversione.



#### Errore comune di programmazione 9.8

*Non fornire una larghezza di campo sufficientemente grande per rappresentare un valore da stampare può provocare lo spostamento di altri dati stampati e produrre output che generano confusione. Siate consapevoli dei vostri dati!*

```

1 // Fig. 9.8: fig09_08.c
2 // Allineamento a destra di interi in un campo
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 printf("%4d\n", 1);
8 printf("%4d\n", 12);
9 printf("%4d\n", 123);
10 printf("%4d\n", 1234);
11 printf("%4d\n\n", 12345);
12
13 printf("%4d\n", -1);
14 printf("%4d\n", -12);
15 printf("%4d\n", -123);
16 printf("%4d\n", -1234);
17 printf("%4d\n", -12345);
18 }
```

```
1
12
123
1234
12345

-1
-12
-123
-1234
-12345
```

**Figura 9.8** Allineamento a destra di interi in un campo.

### 9.8.2 Specificare la precisione per interi, numeri in virgola mobile e stringhe

La funzione `printf` permette inoltre di specificare la precisione con cui i dati sono stampati. La precisione ha significati differenti per i diversi tipi di dati. Quando si usa con specificatori di conversione di interi, la precisione indica *il numero minimo di cifre da stampare*. Se il valore stampato contiene meno cifre della precisione specificata e il valore di precisione ha uno zero iniziale o un punto decimale, vengono inseriti degli zeri come prefissi per il valore stampato fino a raggiungere il numero totale di cifre richiesto dalla precisione. Se nel valore di precisione non è presente né uno zero né un punto decimale, sono invece inseriti degli spazi. La precisione preimpostata per gli interi è 1. Quando viene usata con gli specificatori di conversione di numeri in virgola mobile e, E ed f, la precisione è *il numero di cifre che compaiono dopo il punto decimale*. Quando viene usata con gli specificatori di conversione g e G, la precisione è *il numero massimo di cifre significative da stampare*. Quando è usata con lo specificatore di conversione s, la precisione è *il numero massimo di caratteri appartenenti alla stringa da scrivere*.

Per specificare la precisione, mettete un punto decimale (.) seguito da un intero che rappresenta la precisione tra il segno di percentuale e lo specificatore di conversione. La Figura 9.9 illustra l'uso della precisione nelle stringhe di controllo del formato. Quando il valore in virgola mobile è stampato con una precisione più piccola del numero originario di cifre decimali nel valore, questo è *arrotondato*.

```
1 // Fig. 9.9: fig09_09.c
2 // Stampa di interi, numeri in virgola mobile e stringhe
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 puts("Using precision for integers");
8 int i = 873; // inizializza int i
9 printf("\t%.4d\n\t%.9d\n\n", i, i);
10
11 puts("Using precision for floating-point numbers");
12 double f = 123.94536; // inizializza double f
13 printf("\t%.3f\n\t%.3e\n\t%.3g\n\n", f, f, f);
14
15 puts("Using precision for strings");
```

```

16 char s[] = "Happy Birthday"; // inizializza l'array di char s
17 printf("\t%.11s\n", s);
18 }
```

Using precision for integers

```

0873
000000873
```

Using precision for floating-point numbers

```

123.945
1.239e+002
124
```

Using precision for strings

```
Happy Birth
```

**Figura 9.9** Stampa di interi, numeri in virgola mobile e stringhe con specifica della precisione.

### 9.8.3 Combinare larghezze di campo e precisioni

La larghezza di campo e la precisione possono essere combinate inserendo la larghezza di campo, seguita da un punto decimale, seguito a sua volta da un valore di precisione tra il segno di percentuale e lo specificatore di conversione, come nell'istruzione

```
printf("%9.3f", 123.456789);
```

che stampa 123.457 con tre cifre alla destra del punto decimale, allineato a destra in un campo di nove cifre.

È possibile specificare la larghezza di campo e la precisione usando espressioni intere nella lista degli argomenti che segue dopo la stringa di controllo del formato. Per usare questa modalità, inserite un asterisco (\*) al posto della larghezza di campo o della precisione (o di entrambe). Il corrispondente argomento int nella lista degli argomenti viene valutato e usato al posto dell'asterisco. Un valore di larghezza di campo può essere positivo o negativo (il che fa sì che l'output sia allineato a sinistra nel campo, come descritto nel prossimo paragrafo). L'istruzione

```
printf("%*.*f", 7, 2, 98.736);
```

usa 7 per la larghezza di campo, 2 per la precisione e invia in uscita il valore 98.74 allineato a destra.

## 9.9 Uso di flag nella stringa di controllo del formato per printf

La funzione `printf` permette di inserire anche dei *flag* per integrare le sue funzionalità di formattazione dell'output. Sono disponibili cinque flag da usare nelle stringhe di controllo del formato (Figura 9.10). Per utilizzare un flag in una stringa di controllo del formato, inseritelo immediatamente alla destra del segno di percentuale. È possibile combinare assieme diversi flag in un solo specificatore di conversione.

| Flag           | Descrizione                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - (segno meno) | Allinea a sinistra l'output dentro il campo specificato.                                                                                                                                                                    |
| + (segno più)  | Stampa come prefisso il <i>segno più</i> per i valori positivi e il <i>segno meno</i> per i valori negativi.                                                                                                                |
| spazio         | Stampa uno spazio prima di un valore positivo non stampato con il flag +.                                                                                                                                                   |
| #              | Premetti 0 al valore in output quando è usato con lo specificatore di conversione ottale o.                                                                                                                                 |
|                | Premetti 0x o 0X al valore in output quando è usato con lo specificatore di conversione esadecimale x o X.                                                                                                                  |
|                | Forza la scrittura di un punto decimale per un numero in virgola mobile stampato con e, E, f, g o G che <i>non</i> contiene una parte frazionale.<br>(Normalmente il punto decimale è stampato solo se lo segue una cifra.) |
|                | Con gli specificatori g e G gli zeri finali non vengono eliminati.                                                                                                                                                          |
| 0 (zero)       | Riempì un campo con <i>zeri iniziali</i> .                                                                                                                                                                                  |

**Figura 9.10** Flag della stringa di controllo del formato.

### 9.9.1 Allineamento a destra e a sinistra

La Figura 9.11 illustra l'allineamento a destra e l'allineamento a sinistra di una stringa, di un intero, di un carattere e di un numero in virgola mobile. La riga 7 invia in uscita una riga di numeri che rappresentano le posizioni delle colonne, dandovi la possibilità di confermare che l'allineamento a destra e a sinistra abbia funzionato correttamente.

```

1 // Fig. 9.11: fig09_11.c
2 // Allineamento a destra e a sinistra di valori
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 puts("1234567890123456789012345678901234567890\n");
8 printf("%10s%10d%10c%10f\n\n", "hello", 7, 'a', 1.23);
9 printf("%-10s%-10d%-10c%-10f\n", "hello", 7, 'a', 1.23);
10 }
```

```

1234567890123456789012345678901234567890
 hello 7 a 1.230000

hello 7 a 1.230000

```

**Figura 9.11** Allineamento a destra e a sinistra di valori.

### 9.9.2 Stampare numeri positivi e negativi con e senza il flag +

La Figura 9.12 stampa un numero positivo e un numero negativo, ognuno con e senza il flag +. Il segno *meno* è stampato in entrambi i casi, ma il segno *più* è stampato solo quando è usato il flag +.

```

1 // Fig. 9.12: fig09_12.c
2 // Stampa di numeri positivi e negativi con e senza il flag +
3 #include <stdio.h>
```

```

4
5 int main(void)
6 {
7
8 printf("%d\n%d\n", 786, -786);
9 printf("%+d\n%+d\n", 786, -786);
10 }

```

```

786
-786
+786
-786

```

**Figura 9.12** Stampa di numeri positivi e negativi con e senza il flag +.

### 9.9.3 Usare il flag spazio

Il programma della Figura 9.13 premette uno spazio a un numero positivo con il **flag spazio**. Questo è utile per allineare i numeri positivi e negativi con lo stesso numero di cifre. Il valore –547 non è preceduto da uno spazio nell'output a causa del suo segno meno.

```

1 // Fig. 9.13: fig09_13.c
2 // Uso del flag spazio
3 // non preceduto da + o da -
4 #include <stdio.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 printf(" % d\n% d\n", 547, -547);
9 }

```

```

547
-547

```

**Figura 9.13** Uso del flag spazio.

### 9.9.4 Usare il flag #

La Figura 9.14 usa il **flag #** per premettere 0 a un valore ottale e 0x e 0X a valori esadecimali, e inoltre per forzare la stampa del punto decimale in un valore stampato con g.

```

1 // Fig. 9.14: fig09_14.c
2 // Uso del flag # con gli specificatori di conversione
3 // o, x, X e qualsiasi specificatore di valori in virgola mobile
4 #include <stdio.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 int c = 1427; // inizializza c
9 printf("%#o\n", c);
10 printf("%#x\n", c);
11 printf("%#X\n", c);
12

```

```

13 double p = 1427.0; // inizializza p
14 printf("\n%g\n", p);
15 printf("%#g\n", p);
16 }
```

```

02623
0x593
0X593

1427
1427.00
```

**Figura 9.14** Uso del flag # con specificatori di conversione.

### 9.9.5 Usare il flag 0

Il programma della Figura 9.15 combina il flag + e il flag 0 (zero) per stampare 452 in un campo di nove spazi con un segno + e zeri iniziali, poi stampa di nuovo 452 usando soltanto il flag 0 e un campo di nove spazi.

```

1 // Fig. 9.15: fig09_15.c
2 // Uso del flag 0 (zero)
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 printf("%+09d\n", 452);
8 printf("%09d\n", 452);
9 }
```

```
+00000452
00000452
```

**Figura 9.15** Uso del flag 0 (zero).

## 9.10 Stampare letterali e sequenze di escape

Come avete visto nel corso del libro, i caratteri letterali inclusi nelle stringhe di controllo del formato sono semplicemente inviati in uscita da `printf`. Tuttavia, vi sono diversi caratteri che sono un “problema”, come le virgolette (") che delimitano la stessa stringa di controllo del formato. Vari caratteri di controllo, come *newline* e *tab*, devono essere rappresentati con sequenze di escape. Una sequenza di escape è rappresentata da un backslash (\) seguito da un particolare carattere di escape. La Figura 9.16 elenca le sequenze di escape e le azioni che queste causano.

## 9.11 Leggere input formattati con `scanf`

Una precisa *formattazione dell'input* può essere realizzata con `scanf`. Ogni istruzione `scanf` contiene una stringa di controllo del formato che descrive il formato dei dati da inserire. La stringa di controllo del formato consiste di specificatori di conversione e caratteri letterali. La funzione `scanf` presenta le seguenti funzionalità di formattazione dell'input:

1. Leggere tutti i tipi di dati.
2. Leggere caratteri specifici da uno stream di input.
3. Saltare caratteri specifici nello stream di input.

| Sequenza di escape                     | Descrizione                                                                                                         |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| \' (virgoletta singola)                | Invia in uscita il carattere di virgoletta singola (').                                                             |
| \\" (virgolette doppie)                | Invia in uscita il carattere di virgolette doppie (").                                                              |
| \? (punto interrogativo)               | Invia in uscita il carattere di punto interrogativo (?).                                                            |
| \\" (backslash)                        | Invia in uscita il carattere di backslash (\).                                                                      |
| \a (messaggio di avviso o squillo)     | Emetti un segnale acustico o visivo (di solito con un segnale luminoso nella finestra di esecuzione del programma). |
| \b (backspace)                         | Sposta il cursore indietro di una posizione sulla riga corrente.                                                    |
| \f (pagina nuova o avanzamento pagina) | Sposta il cursore all'inizio della successiva pagina logica.                                                        |
| \n (newline)                           | Sposta il cursore all'inizio della riga <i>successiva</i> .                                                         |
| \r (ritorno a capo)                    | Sposta il cursore all'inizio della riga <i>corrente</i> .                                                           |
| \t (tab orizzontale)                   | Sposta il cursore alla posizione del tab orizzontale successivo.                                                    |
| \v (tab verticale)                     | Sposta il cursore alla posizione del tab verticale successivo.                                                      |

**Figura 9.16** Sequenze di escape.

### 9.11.1 Sintassi di scanf

La funzione `scanf` viene scritta nella forma seguente:

`scanf(stringa di controllo del formato, altri argomenti);`

La *stringa di controllo del formato* descrive i formati dell'input, e *altri argomenti* è una serie di puntatori alle variabili nelle quali sarà memorizzato l'input.



#### Buona pratica di programmazione 9.1

*Quando leggete dei dati, stampate un prompt di richiesta all'utente di un dato o di una porzione di dati alla volta. Evitate di chiedere all'utente di inserire molti dati in risposta a una singola richiesta.*



#### Buona pratica di programmazione 9.2

*Considerate sempre cosa faranno l'utente e il vostro programma quando (non se) saranno inseriti dati scorretti, ad esempio un valore per un intero che non ha senso nel contesto di un programma o una stringa senza punteggiatura o spazi.*

### 9.11.2 Specificatori di conversione di scanf

La Figura 9.17 riepiloga gli specificatori di conversione usati per leggere tutti i tipi di dati. Il resto di questo paragrafo presenta programmi che illustrano la lettura di dati con i vari specificatori di conversione di `scanf`. Osservate che gli specificatori di conversione `d` e `i` hanno significati differenti per l'input con `scanf`, mentre sono intercambiabili per l'output con `printf`.

| Specificatore di conversione    | Descrizione                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Interi</i>                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| d                               | Leggi un <i>intero decimale con o senza segno</i> . L'argomento corrispondente è un puntatore a un <i>int</i> .                                                                                                                                                                  |
| i                               | Leggi un <i>intero decimale, ottale o esadecimale con o senza segno</i> . L'argomento corrispondente è un puntatore a un <i>int</i> .                                                                                                                                            |
| o                               | Leggi un <i>intero ottale</i> . L'argomento corrispondente è un puntatore a un <i>int</i> senza segno.                                                                                                                                                                           |
| u                               | Leggi un <i>intero decimale senza segno</i> . L'argomento corrispondente è un puntatore a un <i>int</i> senza segno.                                                                                                                                                             |
| x o X                           | Leggi un <i>intero esadecimale</i> . L'argomento corrispondente è un puntatore a un <i>int</i> senza segno.                                                                                                                                                                      |
| h, l e ll                       | Vanno posti prima di uno qualsiasi degli specificatori di conversione di interi per indicare che si deve leggere, rispettivamente, un intero <i>short</i> , <i>long</i> o <i>long long</i> .                                                                                     |
| <i>Numeri in virgola mobile</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| e, E, f, g o G                  | Leggi un <i>valore in virgola mobile</i> . L'argomento corrispondente è un puntatore a una variabile in virgola mobile.                                                                                                                                                          |
| l o L                           | Vanno posti prima di uno qualunque degli specificatori di conversione di numeri in virgola mobile per indicare che si deve leggere un valore <i>double</i> o <i>long double</i> . L'argomento corrispondente è un puntatore a una variabile <i>double</i> o <i>long double</i> . |
| <i>Caratteri e stringhe</i>     |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| c                               | Leggi un <i>carattere</i> . L'argomento corrispondente è un puntatore a <i>char</i> ; non viene aggiunto alcun carattere nullo ('\0').                                                                                                                                           |
| s                               | Leggi una <i>stringa</i> . L'argomento corrispondente è un puntatore a un array di tipo <i>char</i> , grande abbastanza da contenere la stringa e un carattere nullo di terminazione ('\0') che viene aggiunto automaticamente.                                                  |
| <i>Insieme di scansione</i>     |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| [caratteri per la scansione]    | Esegui la scansione di una stringa per un insieme di caratteri memorizzati in un array.                                                                                                                                                                                          |
| <i>Altri</i>                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| p                               | Leggi un <i>indirizzo</i> nello stesso formato prodotto da un'istruzione <i>printf</i> con lo specificatore di formato %p.                                                                                                                                                       |
| n                               | Memorizza il numero di caratteri letti fino a quel punto nella chiamata corrente a <i>scanf</i> . L'argomento corrispondente è un puntatore a un <i>int</i> .                                                                                                                    |
| %                               | Ignora un segno di percentuale (%) nell'input.                                                                                                                                                                                                                                   |

**Figura 9.17** Specificatori di conversione per *scanf*.

### 9.11.3 Leggere interi con scanf

Il programma della Figura 9.18 legge valori interi con vari specificatori di conversione di interi e stampa gli interi come interi decimali. Lo specificatore di conversione %i legge interi decimali, ottali ed esadecimali.

```

1 // Fig. 9.18: fig09_18.c
2 // Lettura di input con specificatori di conversione di interi
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 int a;
8 int b;
9 int c;
10 int d;
11 int e;
12 int f;
13 int g;
14
15 puts("Enter seven integers: ");
16 scanf("%d%i%i%i%o%u%x", &a, &b, &c, &d, &e, &f, &g);
17
18 puts("\nThe input displayed as decimal integers is:");
19 printf("%d %d %d %d %d %d\n", a, b, c, d, e, f, g);
20 }
```

```
Enter seven integers:
-70 -70 070 0x70 70 70 70
```

```
The input displayed as decimal integers is:
-70 -70 56 112 56 70 112
```

**Figura 9.18** Lettura di dati in ingresso con specificatori di conversione di interi.

### 9.11.4 Leggere numeri in virgola mobile con scanf

Quando si leggono numeri in virgola mobile, si può usare uno qualunque degli specificatori di conversione di numeri in virgola mobile e, E, f, g o G. La Figura 9.19 legge tre numeri in virgola mobile, uno per ciascuno dei tre tipi di specificatori di conversione, e stampa tutti e tre i numeri con lo specificatore di conversione f.

```

1 // Fig. 9.19: fig09_19.c
2 // Lettura di numeri in virgola mobile
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main(void)
7 {
8 double a;
```

```

9 double b;
10 double c;
11
12 puts("Enter three floating-point numbers:");
13 scanf("%le%lf%lg", &a, &b, &c);
14
15 printf("\nHere are the numbers entered in plain:");
16 puts(" floating-point notation:\n");
17 printf("%f\n%f\n%F\n", a, b, c);
18 }

```

Enter three floating-point numbers:

1.27987 1.27987e+03 3.38476e-06

Here are the numbers entered in plain floating-point notation:

1.279870  
1279.870000  
0.000003

**Figura 9.19** Lettura di dati in ingresso con specificatori di conversione di numeri in virgola mobile.

### 9.11.5 Leggere caratteri e stringhe con scanf

Caratteri e stringhe vengono letti usando, rispettivamente, gli specificatori di conversione `c` e `s`. La Figura 9.20 richiede all'utente l'inserimento di una stringa. Il programma riceve in ingresso il primo carattere della stringa con `%c` e lo memorizza nella variabile di tipo carattere `x`, poi legge il resto della stringa con `%s` e lo immagazzina nell'array di caratteri `y`.

```

1 // Fig. 9.20: fig09_20.c
2 // Lettura di caratteri e stringhe
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 char x;
8 char y[9];
9
10 printf("%s", "Enter a string: ");
11 scanf("%c%s", &x, y);
12
13 puts("The input was:\n");
14 printf("the character \"%c\" and the string \"%s\"\n", x, y);
15 }

```

Enter a string: Sunday

The input was:

the character "S" and the string "unday"

**Figura 9.20** Lettura di caratteri e stringhe.

### 9.11.6 Usare insiemi di scansione con scanf

Una sequenza di caratteri può essere letta usando un insieme di scansione. Un insieme di scansione è un insieme di caratteri racchiusi fra parentesi quadre, [], e preceduti da un segno di percentuale nella stringa di controllo del formato. Un insieme di scansione esamina i caratteri nello stream di input, cercando solamente i caratteri corrispondenti ai caratteri contenuti nell'insieme di scansione. Ogni volta che viene trovato un carattere, viene memorizzato nell'argomento corrispondente: un puntatore a un array di caratteri. La lettura di caratteri termina quando si incontra un carattere non contenuto nell'insieme di scansione. Se il primo carattere nello stream di input *non* corrisponde a un carattere nell'insieme di scansione, l'array non viene modificato. La Figura 9.21 usa l'insieme di scansione [aeiou] per eseguire la scansione dello stream di ingresso alla ricerca di vocali. Notate che vengono lette le prime sette lettere dell'input. L'ottava lettera (h) non è nell'insieme di scansione e pertanto la scansione viene terminata.

```

1 // Fig. 9.21: fig09_21.c
2 // Uso di un insieme di scansione
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main(void)
7 {
8 char z[9]; // definisci l'array z
9
10 printf("%s", "Enter string: ");
11 scanf("%8[aeiou]", z); // cerca un insieme di caratteri
12
13 printf("The input was \"%s\"\n", z);
14 }
```

```
Enter string: oooeoahah
The input was "ooeeeooa"
```

**Figura 9.21** Uso di un insieme di scansione.

L'insieme di scansione può essere usato anche per eseguire la scansione di caratteri non contenuti in tale insieme usando un insieme di scansione invertito. Per creare un insieme di scansione invertito, mettete un accento circonflesso (^) dentro le parentesi quadre prima dei caratteri per i quali eseguire la scansione. Ciò fa sì che vengano memorizzati i caratteri che non compaiono nell'insieme. Quando si incontra un carattere contenuto nell'insieme di scansione invertito, l'input termina. La Figura 9.22 usa l'insieme di scansione invertito [^aeiou] per cercare consonanti, più propriamente per cercare “lettere non vocali”.

```

1 // Fig. 9.22: fig09_22.c
2 // Uso di un insieme di scansione invertito
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 char z[9];
8
9 printf("%s", "Enter a string: ");
```

```
10 scanf("%8[^aeiou]", z); // insieme di scansione invertito
11
12 printf("The input was \"%s\"\n", z);
13 }
```

```
Enter a string: String
The input was "Str"
```

Figura 9.22 Uso di un insieme di scansione invertito.

### 9.11.7 Usare larghezze di campo con scanf

È possibile usare un valore di larghezza di campo in uno specificatore di conversione per scanf per leggere un numero specifico di caratteri dallo stream di input. Il programma della Figura 9.23 legge una serie di cifre consecutive come un intero di due cifre e un intero formato dalle restanti cifre dallo stream di input.

```
1 // Fig. 9.23: fig09_23.c
2 // Lettura di dati con una larghezza di campo
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 int x;
8 int y;
9
10 printf("%s", "Enter a six digit integer: ");
11 scanf("%2d%d", &x, &y);
12
13 printf("The integers input were %d and %d\n", x, y);
14 }
```

```
Enter a six digit integer: 123456
The integers input were 12 and 3456
```

Figura 9.23 Lettura di dati con una larghezza di campo.

### 9.11.8 Tralasciare caratteri in uno stream di input

Spesso è necessario *tralasciare* dei caratteri nello stream di input. Ad esempio, una data si potrebbe inserire come

11-10-1999

Ogni numero della data deve essere memorizzato, ma i trattini che separano i numeri possono essere scartati. Per eliminare i caratteri superflui, includeteli nella stringa di controllo del formato di scanf (i caratteri di spaziatura – come spazi, newline e tab – ignorano tutti i caratteri di spaziatura iniziali). Ad esempio, per tralasciare i trattini nell'input, usate l'istruzione

```
scanf("%d-%d-%d", &month, &day, &year);
```

Sebbene questa `scanf` elimini i trattini nell'input precedente, è possibile che la data venga inserita come

10/11/1999

In questo caso, la `scanf` precedente *non* eliminerebbe i caratteri superflui. Per questa ragione, `scanf` prevede il carattere \* di soppressione dell'assegnazione. Questo carattere permette a `scanf` di leggere qualunque tipo di dato dall'input e di scartarlo senza assegnarlo a una variabile. Il programma della Figura 9.24 usa il carattere di soppressione dell'assegnazione nello specificatore di conversione %c per indicare che un carattere che compare nello stream di input va letto ed eliminato. Solo il mese, il giorno e l'anno vengono memorizzati. I valori delle variabili sono stampati per dimostrare che di fatto sono stati letti correttamente. Le liste di argomenti per ogni chiamata di `scanf` non contengono variabili per gli specificatori di conversione che usano il carattere di soppressione dell'assegnazione. I caratteri corrispondenti sono semplicemente *eliminati*.

```

1 // Fig. 9.24: fig09_24.c
2 // Lettura ed eliminazione di caratteri dallo stream di input
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7 int month = 0;
8 int day = 0;
9 int year = 0;
10 printf("%s", "Enter a date in the form mm-dd-yyyy: ");
11 scanf("%d%c%d%c%d", &month, &day, &year);
12 printf("month = %d day = %d year = %d\n\n", month, day, year);
13
14 printf("%s", "Enter a date in the form mm/dd/yyyy: ");
15 scanf("%d%c%d%c%d", &month, &day, &year);
16 printf("month = %d day = %d year = %d\n", month, day, year);
17 }
```

```
Enter a date in the form mm-dd-yyyy: 11-18-2012
month = 11 day = 18 year = 2012
```

```
Enter a date in the form mm/dd/yyyy: 11/18/2012
month = 11 day = 18 year = 2012
```

**Figura 9.24** Lettura ed eliminazione di caratteri dallo stream di input.

## 9.12 Programmazione sicura in C

Il C standard elenca molti casi in cui l'uso di argomenti scorretti per funzioni di libreria può produrre *comportamenti indefiniti*. Questi possono provocare vulnerabilità della sicurezza, per cui vanno evitati. Tali problemi possono verificarsi quando si usa `printf` (o una qualunque delle sue varianti, come `sprintf`, `fprintf`, `printf_s`, ecc.) con specificazioni di conversione scritte in modo improprio. La regola FIO00.C del CERT ([www.securecoding.cert.org](http://www.securecoding.cert.org)) esamina questi problemi e presenta una tabella che mostra le combinazioni valide per i flag di formattazione, i modificatori di lunghezza e i caratteri specificatori di conversione da usare nelle specificazioni di

conversione. La tabella mostra anche il tipo di argomento adatto per ogni specificazione di conversione valida. In generale, quando studiate un linguaggio di programmazione, se la specificazione del linguaggio dice che fare qualcosa può portare a un comportamento indefinito, evitate di farlo per prevenire vulnerabilità della sicurezza.

## Riepilogo

### Paragrafo 9.2 Stream

- Tutte le operazioni di input e output vengono effettuate tramite stream, che sono sequenze di byte.
- Normalmente, lo stream standard input è connesso alla tastiera e gli stream standard output e standard error sono connessi allo schermo del computer.
- I sistemi operativi spesso permettono di ridirigere gli stream standard input e standard output verso altri dispositivi.

### Paragrafo 9.3 Formattazione dell'output con printf

- Una stringa di controllo del formato descrive i formati in cui vengono stampati i valori di output. La stringa di controllo del formato è costituita da specificatori di conversione, flag, larghezze di campo, precisioni e caratteri letterali.
- Una specificazione di conversione è composta da un segno di percentuale (%) e di uno specificatore di conversione.

### Paragrafo 9.4 Stampa di interi

- Gli interi sono stampati con i seguenti specificatori di conversione: d o i per interi (con o senza segno) o per interi senza segno in forma ottale, u per interi senza segno in forma decimale e x o X per interi senza segno in forma esadecimale. Il modificatore h, l o ll viene premesso agli specificatori di conversione precedenti per indicare, rispettivamente, un intero short, long o long long.

### Paragrafo 9.5 Stampa di numeri in virgola mobile

- I valori in virgola mobile sono stampati con i seguenti specificatori di conversione: e o E per la notazione esponenziale, f per la notazione regolare di numeri in virgola mobile e g o G per entrambe le notazioni e (o E) ed f. Quando è indicato lo specificatore di conversione g (o G), si usa lo specificatore di conversione e (o E) se l'esponente del valore è minore di -4 o maggiore o uguale alla precisione con cui il valore è stampato.
- La precisione per gli specificatori di conversione g e G indica il numero massimo di cifre significative stampate.

### Paragrafo 9.6 Stampa di stringhe e caratteri

- Lo specificatore di conversione c stampa un carattere.
- Lo specificatore di conversione s stampa una stringa di caratteri che termina col carattere nullo.

### Paragrafo 9.7 Altri specificatori di conversione

- Lo specificatore di conversione p stampa un indirizzo in un modo definito dall'implementazione (su molti sistemi si usa la notazione esadecimale).
- Lo specificatore di conversione %% fa sì che venga stampato un letterale %.

**Paragrafo 9.8 Stampare con larghezza di campo e precisione**

- Se la larghezza di campo è maggiore dell'oggetto che viene stampato, per impostazione predefinita l'oggetto è allineato a destra.
- Le larghezze di campo possono essere usate con tutti gli specificatori di conversione.
- La precisione usata con gli specificatori di conversione di interi indica il numero minimo di cifre stampate. Vengono premessi degli zeri al valore stampato finché il numero di cifre non è uguale alla precisione.
- La precisione usata con gli specificatori di conversione di numeri in virgola mobile e, E e f indica il numero di cifre che compaiono dopo il punto decimale. La precisione usata con gli specificatori di conversione di numeri in virgola mobile g e G indica il numero di cifre significative da stampare.
- La precisione usata con lo specificatore di conversione s indica il numero di caratteri da stampare.
- La larghezza di campo e la precisione possono essere combinate mettendo tra il segno di per centuale e lo specificatore di conversione prima la larghezza di campo, poi un punto decimale e infine la precisione.
- È possibile specificare la larghezza di campo e la precisione con espressioni intere nella lista di argomenti che segue la stringa di controllo del formato. Per fare così, usate un asterisco (\*) per la larghezza di campo o la precisione. L'argomento corrispondente nella lista di argomenti viene usato al posto dell'asterisco.

**Paragrafo 9.9 Uso di flag nella stringa di controllo del formato per printf**

- Il flag – allinea il suo argomento a sinistra in un campo.
- Il flag + stampa un segno più per i valori positivi e un segno meno per i valori negativi.
- Il flag spazio stampa uno spazio che precede un valore positivo che non viene stampato con il flag +.
- Il flag # premette 0 ai valori ottali, 0x o 0X ai valori esadecimali e forza la stampa del punto decimale per i valori in virgola mobile con e, E, f, g o G.
- Il flag 0 stampa zeri iniziali per un valore che non occupa la sua intera larghezza di campo.

**Paragrafo 9.10 Stampare letterali e sequenze di escape**

- La maggior parte dei caratteri letterali da stampare in un'istruzione printf può essere semplicemente inclusa nella stringa di controllo del formato. Tuttavia, vi sono diversi caratteri “problematici”, come il carattere di doppie virgolette (") che delimita la stessa stringa di controllo del formato. Vari caratteri di controllo, come newline e tab, devono essere rappresentati con sequenze di escape. Una sequenza di escape è rappresentata con un backslash (\) seguito da un particolare carattere di escape.

**Paragrafo 9.11 Leggere input formattati con scanf**

- Una precisa formattazione dell'input viene realizzata con la funzione di libreria scanf.
- Gli interi vengono letti con scanf usando gli specificatori di conversione d e i per gli interi con o senza segno, e o, u, x o X per gli interi senza segno. I modificatori h, l e ll sono posti prima di uno specificatore di conversione di interi per leggere, rispettivamente, un intero short, long e long long.

- I valori in virgola mobile sono letti con `scanf` usando gli specificatori di conversione `e`, `E`, `f`, `g` o `G`. I modificatori `l` e `L` sono posti prima di uno qualsiasi degli specificatori di conversione di numeri in virgola mobile per indicare che il valore in input è un valore, rispettivamente, `double` o `long double`.
- I caratteri sono letti con `scanf` con lo specificatore di conversione `c`.
- Le stringhe sono lette con `scanf` con lo specificatore di conversione `s`.
- Una `scanf` con insieme di scansione esegue la scansione dei caratteri in input, cercando solo i caratteri corrispondenti ai caratteri contenuti in tale insieme. Quando viene trovato uno di questi caratteri, esso viene memorizzato in un array di caratteri. Quando si incontra un carattere non contenuto nell'insieme di scansione, la lettura di caratteri termina.
- Per creare un insieme di scansione invertito, mettete un accento circonflesso (^) dentro le parentesi quadre prima dei caratteri per cui effettuare la scansione. Questo fa sì che i caratteri letti con `scanf` e che non compaiono nell'insieme di scansione vengano memorizzati finché non si incontra un carattere contenuto nell'insieme di scansione invertito.
- Gli indirizzi sono letti con `scanf` con lo specificatore di conversione `p`.
- Lo specificatore di conversione `n` memorizza il numero di caratteri letti fino a quel momento nella `scanf` corrente. L'argomento corrispondente è un puntatore a `int`.
- Il carattere di soppressione dell'assegnazione legge i dati dallo stream di input e li elimina.
- La larghezza di campo si usa in `scanf` per leggere un numero specifico di caratteri dallo stream di input.

## Esercizi di autovalutazione

### 9.1 Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti asserzioni:

- Tutto l'input e l'output è trattato in forma di \_\_\_\_\_.
- Lo stream \_\_\_\_\_ è normalmente connesso alla tastiera.
- Lo stream \_\_\_\_\_ è normalmente connesso allo schermo del computer.
- Una precisa formattazione dell'output si ottiene con la funzione \_\_\_\_\_.
- La stringa di controllo del formato può contenere \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_.
- Lo specificatore di conversione \_\_\_\_\_ o \_\_\_\_\_ può essere usato per inviare in uscita un intero decimale con segno.
- Gli specificatori di conversione \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_ sono usati per stampare interi senza segno in forma, rispettivamente, ottale, decimale ed esadecimale.
- I modificatori \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_ sono messi prima degli specificatori di conversione di interi per indicare che si devono stampare valori interi `short` o `long`.
- Lo specificatore di conversione \_\_\_\_\_ è usato per stampare un valore in virgola mobile con notazione esponenziale.
- Il modificatore \_\_\_\_\_ viene messo prima di uno specificatore di conversione di un numero in virgola mobile per indicare che deve essere stampato un valore `long double`.
- Gli specificatori di conversione `e`, `E` ed `f` sono stampati con \_\_\_\_\_ cifre di precisione alla destra del punto decimale, se non è specificata alcuna precisione.
- Gli specificatori di conversione \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_ sono usati per stampare, rispettivamente, stringhe e caratteri.
- Tutte le stringhe terminano con il carattere \_\_\_\_\_.

- n) La larghezza di campo e la precisione in uno specificatore di conversione per `printf` possono essere controllate con espressioni intere ponendo un \_\_\_\_\_ per la larghezza di campo o per la precisione e mettendo un'espressione intera nell'argomento corrispondente della lista di argomenti.
- o) Il flag \_\_\_\_\_ fa sì che l'output sia allineato a sinistra in un campo.
- p) Il flag \_\_\_\_\_ fa sì che i valori siano stampati o con un segno più o con un segno meno.
- q) Una precisa formattazione dell'input viene realizzata con la funzione \_\_\_\_\_.
- r) Un \_\_\_\_\_ serve per fare la scansione di una stringa per caratteri specifici da memorizzare in un array.
- s) Lo specificatore di conversione \_\_\_\_\_ può essere usato per leggere interi ottali, decimali ed esadecimali con o senza segno.
- t) Gli specificatori di conversione \_\_\_\_\_ possono essere usati per leggere un valore `double`.
- u) Il \_\_\_\_\_ è usato per leggere dati dallo stream di input ed eliminarli senza assegnarli a una variabile.
- v) Una \_\_\_\_\_ può essere usata in uno specificatore di conversione per `scanf` per indicare che si deve leggere un numero specifico di caratteri o di cifre dallo stream di input.
- 9.2** Trovate l'errore in ognuna delle seguenti istruzioni e spiegate come sarebbe possibile correggerlo.
- L'istruzione seguente deve stampare il carattere 'c'.  
`printf("%s\n", 'c');`
  - L'istruzione seguente deve stampare 9.375%.  
`printf("%.3f%", 9.375);`
  - L'istruzione seguente deve stampare il primo carattere della stringa "Monday".  
`printf("%c\n", "Monday");`
  - `puts("A string in quotes");`
  - `printf(%d%d, 12, 20);`
  - `printf("%c", "x");`
  - `printf("%s\n", 'Richard');`
- 9.3** Scrivete un'istruzione per ognuna delle seguenti operazioni:
- Stampare 1234 allineato a destra in un campo di 10 cifre.
  - Stampare 123.456789 in notazione esponenziale con un segno (+ o -) e 3 cifre di precisione.
  - Leggere un valore `double` e memorizzarlo nella variabile `number`.
  - Stampare 100 in forma ottale preceduto da 0.
  - Leggere una stringa e memorizzarla nell'array di caratteri `string`.
  - Leggere caratteri e memorizzarli nell'array `n` finché non si incontra un carattere diverso da una cifra.
  - Usare le variabili intere `x` e `y` per specificare la larghezza di campo e la precisione usata per stampare il valore `double` 87.4573.
  - Leggere un valore della forma 3.5%. Memorizzare il valore della percentuale nella variabile `float percent` ed eliminare il % dallo stream di input. Non usare il carattere di soppressione dell'assegnazione.
  - Stampare 3.333333 come valore `long double` con un segno (+ o -) in un campo di 20 caratteri con una precisione di 3.

## Risposte agli esercizi di autovalutazione

- 9.1 a) stream. b) standard input. c) standard output. d) `printf`. e) specificatori di conversione, flag, larghezze di campo, precisioni, caratteri letterali. f) d, i, g) o, u, x (o X). h) h, l, i) e (o E). j) L. k) 6. l) s, c. m) NULL ('\\0'). n) asterisco (\*). o) - (meno). p) + (più). q) `scanf`. r) insieme di scansione, s) i. t) le, LE, lf, lg o 1G. u) carattere di soppressione dell'assegnazione (\*). v) larghezza di campo.
- 9.2 a) Errore: lo specificatore di conversione s si aspetta un argomento di tipo puntatore a `char`.  
Correzione: per stampare il carattere 'c' usate lo specificatore di conversione %c oppure cambiate 'c' in "c".
- b) Errore: cercare di stampare il carattere letterale % senza usare lo specificatore di conversione %%.  
Correzione: usate %% per stampare un carattere letterale %.
- c) Errore: lo specificatore di conversione c si aspetta un argomento di tipo `char`.  
Correzione: per stampare il primo carattere di "Monday" usate lo specificatore di conversione %1s.
- d) Errore: cercare di stampare il carattere letterale " senza usare la sequenza di escape \".  
Correzione: sostituite ogni carattere di doppie virgolette all'interno della stringa con \".
- e) Errore: la stringa di controllo del formato non è racchiusa tra doppie virgolette:  
Correzione: racchiudete %d%d tra doppie virgolette.
- f) Errore: il carattere x è racchiuso tra doppie virgolette.  
Correzione: le costanti carattere da stampare con %c devono essere racchiuse tra virgolette singole.
- g) Errore: la stringa da stampare è racchiusa tra virgolette singole.  
Correzione: usate le doppie virgolette invece delle virgolette singole per rappresentare una stringa.
- 9.3 a) `printf("%10d\n", 1234);`  
b) `printf("%+.3e\n", 123.456789);`  
c) `scanf("%lf", &number);`  
d) `printf("%#o\n", 100);`  
e) `scanf("%s", string);`  
f) `scanf("%[0123456789]", n);`  
g) `printf("%.*f\n", x, y, 87.4573);`  
h) `scanf("%f%%", &percent);`  
i) `printf("%+20.3Lf\n", 3.333333);`

## Esercizi

- 9.4 Scrivete un'istruzione `printf` o `scanf` per ognuna delle seguenti operazioni:
- Stampare l'intero senza segno 40000 allineato a sinistra in un campo di 15 cifre con 8 cifre.
  - Leggere un valore esadecimale e memorizzarlo nella variabile hex.
  - Stampare 200 con e senza segno.
  - Stampare 100 nella forma esadecimale preceduta da 0x.
  - Leggere caratteri e memorizzarli nell'array s finché non si incontra la lettera p.
  - Stampare 1.234 preceduto da zeri in un campo di 9 cifre.

- g) Leggere un valore temporale della forma hh:mm:ss, memorizzando le singole parti nelle variabili intere hour, minute e second. Tralasciare i due punti (:) nello stream di input. Usare il carattere di soppressione dell'assegnazione.
- h) Leggere una stringa della forma "characters" dallo standard input. Memorizzare la stringa nell'array di caratteri s. Eliminare le doppie virgolette dallo stream di input.
- i) Leggere un valore temporale della forma hh:mm:ss, memorizzando le singole parti nelle variabili intere hour, minute e second. Tralasciare i due punti (:) nello stream di input. Non usare il carattere di soppressione dell'assegnazione.
- 9.5 Mostrate cosa stampa ognuna delle seguenti istruzioni. Se un'istruzione è scorretta, indicate perché.
- `printf("%-10d\n", 10000);`
  - `printf("%c\n", "This is a string");`
  - `printf("%.*1f\n", 8, 3, 1024.987654);`
  - `printf("%#o\n %#X\n %#e\n", 17, 17, 1008.83689);`
  - `printf("% 1d\n%+1d\n", 1000000, 1000000);`
  - `printf("%10.2E\n", 444.93738);`
  - `printf("%10.2g\n", 444.93738);`
  - `printf("%d\n", 10.987);`
- 9.6 Trovate l'errore (o gli errori) in ognuno dei seguenti segmenti di programma. Spiegate come ogni errore può essere corretto.
- `printf("%s\n", 'Happy Birthday');`
  - `printf("%c\n", 'Hello');`
  - `printf("%c\n", "This is a string");`
  - L'istruzione seguente deve stampare "Bon Voyage":  
`printf("""%s""", "Bon Voyage");`
  - `char day[] = "Sunday";`
  - `printf("%s\n", day[3]);`
  - `puts('Enter your name: ');`
  - `printf(%f, 123.456);`
  - L'istruzione seguente deve stampare i caratteri 'O' e 'K':  
`printf("%s%s\n", 'O', 'K');`
  - `char s[10];`
  - `scanf("%c", s[7]);`
- 9.7 (*Differenze tra %d e %i*) Scrivete un programma per verificare la differenza tra gli specificatori di conversione %d e %i quando sono usati in istruzioni scanf. Chiedete all'utente di inserire due interi separati da uno spazio. Usate le istruzioni

```
scanf("%i%d", &x, &y);
printf("%d %d\n", x, y);
```

per leggere e stampare i valori. Testate il programma con i seguenti insiemi di dati di input:

|      |      |
|------|------|
| 10   | 10   |
| -10  | -10  |
| 010  | 010  |
| 0x10 | 0x10 |

- 9.8 (*Stampa di numeri con varie larghezze di campo*) Scrivete un programma per verificare i risultati della stampa del valore intero 12345 e del valore in virgola mobile 1.2345 in campi di varie dimensioni. Cosa succede quando i valori sono stampati in campi con meno cifre dei loro valori?
- 9.9 (*Arrotondamento di numeri in virgola mobile*) Scrivete un programma che stampi il valore 100.453627 arrotondato alla cifra più vicina, quale quella dei decimi, dei centesimi, dei millesimi e dei decimillesimi.
- 9.10 (*Conversione di temperature*) Scrivete un programma che converte temperature intere in gradi Fahrenheit da 0 a 212 gradi in temperature Celsius in virgola mobile con 3 cifre di precisione. Eseguite il calcolo usando la formula
- ```
celsius = 5.0 / 9.0 * ( fahrenheit - 32 );
```
- L'output va stampato in due colonne allineate a destra di 10 caratteri ciascuna e le temperature Celsius vanno precedute da un segno sia per valori positivi che per quelli negativi.
- 9.11 (*Sequenze di escape*) Scrivete un programma per provare le sequenze di escape \', \" , \? , \\ , \a , \b , \n , \r e \t. Per le sequenze di escape che spostano il cursore, stampate un carattere prima e dopo la stampa della sequenza di escape, così è chiaro dove è stato spostato il cursore.
- 9.12 (*Stampa di un punto interrogativo*) Scrivete un programma che determini se ? può essere stampato come un carattere letterale facente parte di una stringa di controllo del formato di printf invece di usare la sequenza di escape \?.
- 9.13 (*Leggere un intero con ogni specificatore di conversione di scanf*) Scrivete un programma che legga il valore 437 usando ognuno degli specificatori di conversione per scanf. Stampate ogni valore letto usando tutti gli specificatori di conversione di interi.
- 9.14 (*Stampare un numero con gli specificatori di conversione di numeri in virgola mobile*) Scrivete un programma che usi ognuno degli specificatori di conversione e, f e g per leggere il valore 1.2345. Stampate il valore di ogni variabile per provare che è possibile usare ognuno degli specificatori di conversione per leggere questo stesso valore.
- 9.15 (*Leggere stringhe tra virgolette*) In alcuni linguaggi di programmazione le stringhe sono inserite circondate da virgolette singole o da virgolette doppie. Scrivete un programma che legga le tre stringhe suzy, "suzy" e 'suzy'. Le virgolette singole e doppie sono ignorate dal C o lette come parte della stringa?
- 9.16 (*Stampare un punto interrogativo come una costante carattere*) Scrivete un programma che determini se è possibile stampare ? come la costante carattere '?' invece che con la sequenza di escape della costante carattere '\?', usando lo specificatore di conversione %c nella stringa di controllo del formato di un'istruzione printf.
- 9.17 (*Uso di %g con varie precisioni*) Scrivete un programma che usi lo specificatore di conversione g per stampare il valore 9876.12345. Stampate il valore con precisioni nell'intervallo da 1 a 9.



OBIETTIVI

- Creare e usare strutture (**struct**), unioni (**union**) ed enumerazioni (**enum**).
- Comprendere **struct** autoreferenziali.
- Apprendere le operazioni che possono essere effettuate su esempi di **struct**.
- Inizializzare membri di **struct**.
- Accedere a membri di **struct**.
- Passare esempi di **struct** a funzioni per valore e per riferimento.
- Usare la parola chiave **typedef** per creare alias per nomi di tipi esistenti.
- Apprendere le operazioni che possono essere effettuate su **union**.
- Inizializzare **union**.
- Manipolare dati interi con gli operatori bit a bit (cioè applicati ai singoli bit).
- Creare campi di bit per memorizzare dati in modo compatto.
- Usare costanti **enum**.
- Considerare problemi di sicurezza quando si lavora con **struct**, manipolazione di bit ed **enum**.

10.1 Introduzione

Le strutture, talvolta chiamate aggregati nel C standard, sono collezioni di variabili collegate sotto un unico nome. Le strutture possono contenere variabili di vari tipi differenti di dati (contrariamente agli array, che contengono *solo* elementi dello stesso tipo di dati). Le strutture sono usate comunemente per definire *record* di dati da memorizzare in file (vedi Capitolo 11). I puntatori e le strutture facilitano la formazione di strutture di dati più complesse come liste collegate, code, pile e alberi (vedi Capitolo 12). Esamineremo inoltre:

- la parola chiave **typedef** per creare *alias* per tipi di dati definiti in precedenza
- le unioni (**union**); simili alle strutture, ma con membri che *condividono* lo stesso spazio di memoria
- gli operatori bit a bit per manipolare i bit degli operandi interi

- i campi di bit: membri `unsigned int` o `int` di strutture o di unioni per le quali si specifica il numero di bit in cui essi sono memorizzati, così da impacchettare le informazioni facilmente in modo compatto
- le enumerazioni: insiemi di costanti intere rappresentate da identificatori.

10.2 Definizione di strutture

Le strutture sono tipi di dati derivati, essendo costruite usando oggetti di altri tipi. Considerate la seguente definizione di struttura:

```
struct card {
    char *face;
    char *suit;
};
```

La parola chiave `struct` introduce una definizione di struttura. L'identificatore `card` è l'etichetta della struttura, che denoma la definizione di struttura e viene usata con `struct` per dichiarare le variabili del tipo di struttura, ad esempio `struct card`. Le variabili dichiarate entro le parentesi della definizione di struttura sono i membri della struttura. I membri dello stesso tipo di struttura devono avere nomi unici, ma due tipi di strutture differenti possono contenere membri dello stesso nome senza che ciò crei un conflitto (vedremo presto perché). Ogni definizione di struttura *deve* terminare con un punto e virgola.



Errore comune di programmazione 10.1

Dimenticare il punto e virgola che termina una definizione di struttura è un errore di sintassi.

La definizione di `struct card` contiene i membri `face` e `suit`, ognuno di tipo `char *`. I membri di una struttura possono essere variabili dei tipi di dati primitivi (es. `int`, `float`, ecc.) o aggregati, come array e altre strutture. Come abbiamo visto nel Capitolo 6, ciascun elemento di un array deve essere dello *stesso* tipo. I membri di una struttura, invece, possono essere di tipi differenti. Ad esempio, la seguente definizione `struct` contiene membri di tipo array di caratteri per il nome e il cognome di un impiegato, un membro `unsigned int` per l'età dell'impiegato, un membro `char` che contiene 'M' o 'F' per il sesso dell'impiegato e un membro `double` per la sua paga oraria:

```
struct employee {
    char firstName[20];
    char lastName[20];
    unsigned int age;
    char gender;
    double hourlySalary;
};
```

10.2.1 Strutture autoreferenziali

Una variabile di tipo `struct` non può essere dichiarata nella definizione di quello stesso tipo di `struct`. È possibile includere, tuttavia, un puntatore a quel tipo di `struct`. Ad esempio, in `struct employee2`:

```

struct employee2 {
    char firstName[20];
    char lastName[20];
    unsigned int age;
    char gender;
    double hourlySalary;
    struct employee2 teamLeader; // ERRORE
    struct employee2 *teamLeaderPtr; // puntatore
};
```

l'esempio di se stessa (`teamLeader`) è un errore. Poiché `teamLeader` è un puntatore (al tipo `struct employee2`), è accettato nella definizione. Una struttura contenente un membro che è un puntatore allo stesso tipo di struttura è detta **struttura autoreferenziale**. Le strutture autoreferenziali sono usate nel Capitolo 12 per costruire strutture di dati collegate.



Errore comune di programmazione 10.2

Una struttura non può contenere un esempio di se stessa.

10.2.2 Definizione di variabili di tipo struttura

Le definizioni di strutture *non* riservano alcuno spazio in memoria; invece, ogni definizione crea un nuovo tipo di dati usato per definire le variabili – come un progetto di come costruire esempi di quella `struct`. Le variabili di tipo struttura sono definite come le variabili di altri tipi. La definizione

```
struct card aCard, deck[52], *cardPtr;
```

dichiara `aCard` variabile di tipo `struct card`, `deck` un array con 52 elementi di tipo `struct card` e, infine, `cardPtr` un puntatore a `struct card`. Dopo l'istruzione precedente, abbiamo riservato memoria per un oggetto `struct card` chiamato `aCard`, 52 oggetti `struct card` nell'array `deck` e un puntatore non inizializzato di tipo `struct card`. Le variabili di un dato tipo di struttura possono anche essere dichiarate mettendo una lista dei nomi delle variabili, separata da virgolette, tra la parentesi che chiude la definizione di struttura e il punto e virgola che la termina. Ad esempio, la definizione precedente avrebbe potuto essere accorpata nella definizione di `struct card` come segue:

```

struct card {
    char *face;
    char *suit;
} aCard, deck[52], *cardPtr;
```

10.2.3 Etichette delle strutture

Le etichette delle strutture sono facoltative. Se una definizione di struttura non contiene un'etichetta, le variabili del tipo della struttura possono essere dichiarate *soltanto* nella definizione della struttura, *non* in una dichiarazione separata.



Buona pratica di programmazione 10.1

Mettete sempre l'etichetta quando create un tipo di struttura. L'etichetta è richiesta per dichiarare nuove variabili del tipo di struttura in seguito nel programma.

10.2.4 Operazioni che si possono eseguire sulle strutture

Le sole operazioni valide eseguibili sulle strutture sono:

- assegnare variabili `struct` a variabili `struct` dello stesso tipo (vedi Paragrafo 10.7) – per un membro puntatore, viene copiato solo l'indirizzo memorizzato nel puntatore;
- accedere all'indirizzo (&) di una variabile di tipo struttura (vedi Paragrafo 10.4);
- accedere ai membri di una variabile di tipo struttura (vedi Paragrafo 10.4);
- usare l'operatore `sizeof` per determinare la dimensione di variabili `struct`.



Errore comune di programmazione 10.3



Assegnare una struttura di un tipo a una struttura di un tipo differente è un errore in fase di compilazione.

Le strutture non vanno confrontate usando gli operatori `==` e `!=`, perché i membri delle strutture non sono necessariamente memorizzati in byte consecutivi di memoria. A volte vi sono "buchi" in una struttura, perché i computer possono memorizzare tipi specifici di dati solo all'interno dei confini di certe unità di memoria come metà parola, una parola intera o una parola doppia. Una parola è un'unità di memoria (di solito 4 o 8 byte) usata per memorizzare dati in un computer. Considerate la seguente definizione di struttura, nella quale vengono dichiarati `sample1` e `sample2` di tipo `struct example`:

```
struct example {
    char c;
    int i;
} sample1, sample2;
```

Un computer con parole di quattro byte può richiedere che ogni membro di `struct example` sia allineato su un confine di parola, ossia all'inizio di una parola (questo dipende dalla macchina). La Figura 10.1 mostra un esempio di allineamento in memoria per una variabile di tipo `struct example` a cui è stato assegnato il carattere 'a' e l'intero 97 (sono mostrate le rappresentazioni in termini di bit dei valori). Se i membri sono memorizzati allineati all'inizio di una parola, vi è un buco di tre byte (i byte 1–3 nella figura) nella memoria per le variabili di tipo `struct example`. Il valore nel buco di tre byte è indefinito. Anche se i valori dei membri di `sample1` e `sample2` sono effettivamente uguali, le strutture non sono necessariamente uguali, perché è probabile che i buchi indefiniti di tre byte non contengano valori identici.

Byte	0	1	2	3	4	5	6	7
	01100001				00000000	00000000	00000000	01100001

Figura 10.1 Possibile allineamento in memoria per la variabile di tipo `struct example` in cui viene mostrata un'area indefinita in memoria.



Portabilità 10.1

Poiché la dimensione dei dati di un particolare tipo e le caratteristiche relative all'allineamento in memoria sono dipendenti dalla macchina, lo è anche la rappresentazione di una struttura.

10.3 Inizializzazione di strutture

Le strutture possono essere inizializzate usando liste di inizializzatori come con gli array. Per inizializzare una struttura, fate seguire al nome della variabile nella definizione un segno di ugualità e una lista di inizializzatori separati da virgole e racchiusi tra parentesi. Ad esempio, la dichiarazione

```
struct card aCard = { "Three", "Hearts" };
```

crea la variabile `aCard` di tipo `struct card` (come definita nel Paragrafo 10.2) e inizializza il membro `face` a `"Three"` e il membro `suit` a `"Hearts"`. Se nella lista vi sono *meno* inizializzatori dei membri nella struttura, i restanti membri sono automaticamente inizializzati a 0 (o `NULL` se il membro è un puntatore). Le variabili di tipo struttura definite al di fuori di una definizione di funzione (cioè esternamente) sono inizializzate a 0 o a `NULL` se non sono esplicitamente inizializzate nella definizione esterna. Le variabili di tipo struttura possono anche essere inizializzate con istruzioni di assegnazione in cui si assegna loro una variabile di struttura dello stesso tipo, o in cui si assegnano valori ai membri *individuali* della struttura.

10.4 Accesso ai membri delle strutture con . e ->

Si usano due operatori per accedere ai membri delle strutture: l'**operatore di membro di struttura** (`.`), chiamato anche **operatore punto**, e l'**operatore di puntatore a struttura** (`->`), chiamato anche **operatore freccia**. L'operatore di membro di struttura accede a un membro di una struttura tramite il nome di una variabile di tipo struttura. Ad esempio, per stampare il membro `suit` della variabile di tipo struttura `aCard` definita nel Paragrafo 10.3, potete usare l'istruzione

```
printf("%s", aCard.suit); // stampa Hearts
```

L'operatore di puntatore a struttura, formato da un segno meno (`-`) e da un segno di maggiore di (`>`) senza spazi che si frappongono, accede a un membro della struttura per mezzo di un **puntatore alla struttura**. Supponete che il puntatore `cardPtr` sia stato dichiarato come puntatore a `struct card` e che l'indirizzo della struttura `aCard` sia stato assegnato a `cardPtr`. Per stampare il membro `suit` della struttura `aCard` con il puntatore `cardPtr` potete usare l'istruzione

```
printf("%s", cardPtr->suit); // stampa Hearts
```

L'espressione `cardPtr->suit` è equivalente a `(*cardPtr).suit`, che dereferenzia il puntatore e accede al membro `suit` usando l'operatore di membro di struttura. Le parentesi sono qui necessarie perché l'operatore di membro di struttura (`.`) ha una precedenza più alta dell'operatore che dereferenzia il puntatore (`*`). L'operatore di puntatore a struttura e l'operatore di membro di struttura, insieme con le parentesi usate per chiamare le funzioni e le parentesi quadre (`[]`) usate per l'indicizzazione di array, hanno la precedenza più alta e sono associativi da sinistra a destra.



Buona pratica di programmazione 10.2

Non mettete spazi attorno agli operatori . e ->. Omettere gli spazi contribuisce a evidenziare che le espressioni in cui sono contenuti gli operatori sono essenzialmente singoli nomi di variabili.



Errore comune di programmazione 10.4

Inserire uno spazio tra i componenti – e > dell'operatore di puntatore a struttura o tra i componenti di un qualsiasi altro operatore formato da una sequenza multipla di tasti eccetto ?: è un errore di sintassi.



Errore comune di programmazione 10.5

Tentare di fare riferimento a un membro di una struttura usando solamente il nome del membro è un errore di sintassi.



Errore comune di programmazione 10.6

*Non usare parentesi quando ci si riferisce al membro di una struttura usando un puntatore e l'operatore di membro di struttura (es. *cardPtr.suit) è un errore di sintassi. Per evitare questo problema usate invece l'operatore freccia (->).*

Il programma della Figura 10.2 illustra l'uso degli operatori di membro di struttura e di puntatore a struttura. Usando l'operatore di membro di struttura, ai membri della struttura aCard sono assegnati rispettivamente i valori "Ace" e "Spades" (righe 17 e 18). Al puntatore cardPtr è assegnato l'indirizzo della struttura aCard (riga 20). La funzione printf stampa i membri della variabile di tipo struttura aCard usando l'operatore di membro di struttura con il nome della variabile aCard, l'operatore di puntatore a struttura con il puntatore cardPtr e l'operatore di membro di struttura con il puntatore cardPtr dereferenziato (righe 22–24).

```
1 // Fig. 10.2: fig10_02.c
2 // Operatore di membro di struttura e
3 // operatore di puntatore a struttura
4 #include <stdio.h>
5
6 // definizione della struttura card
7 struct card {
8     char *face; // definisci il puntatore face
9     char *suit; // definisci il puntatore suit
10 };
11
12 int main(void)
13 {
14     struct card aCard; // definisci una variabile di tipo struct card
15
16     // inserisci le stringhe in aCard
17     aCard.face = "Ace";
18     aCard.suit = "Spades";
```

```

19     struct card *cardPtr = &aCard; // assegna l'indirizzo di aCard a cardPtr
20
21
22     printf("%s%s%s\n%s%s%s\n%s%s%s\n", aCard.face, " of ", aCard.suit,
23            cardPtr->face, " of ", cardPtr->suit,
24            (*cardPtr).face, " of ", (*cardPtr).suit);
25 }

```

```

Ace of Spades
Ace of Spades
Ace of Spades

```

Figura 10.2 Operatore di membro di struttura e operatore di puntatore a struttura.

10.5 Uso delle strutture con le funzioni

Le strutture possono essere passate alle funzioni nei seguenti modi:

- passando i loro membri individuali,
- passando l'intera struttura o
- passando un puntatore alla struttura.

Quando le strutture o i loro membri individuali sono passati a una funzione, sono passati per valore. Pertanto, i membri di una struttura di una funzione chiamante non possono essere modificati dalla funzione chiamata. Per passare una struttura per riferimento, passate l'indirizzo di una variabile di tipo struttura. Gli array di strutture, come tutti gli altri array, sono automaticamente passati per riferimento.

Nel Capitolo 6 abbiamo affermato che un array può essere passato per valore usando una struttura. Per farlo, create una struttura con l'array come membro. Le strutture sono passate per valore, per cui l'array è passato per valore.



Errore comune di programmazione 10.7

Presumere che le strutture, come gli array, siano passate automaticamente per riferimento e cercare di modificare i valori di una struttura della funzione chiamante nella funzione chiamata è un errore logico.



Prestazioni 10.1

Passare le strutture per riferimento è più efficiente che passare le strutture per valore (cosa che richiede la copiatura dell'intera struttura).

10.6 `typedef`

La parola chiave `typedef` fornisce un meccanismo per creare sinonimi (o alias) per tipi di dati precedentemente definiti. I nomi per i tipi di strutture sono spesso definiti con `typedef` per creare nomi di tipo più brevi. Ad esempio, l'istruzione

```
typedef struct card Card;
```

definisce il nuovo nome di tipo `Card` come sinonimo per il tipo `struct card`. I programmati in C usano spesso `typedef` per definire un tipo di struttura, per cui non è necessaria l'etichetta della struttura.

Ad esempio, la definizione seguente

```
typedef struct {
    char *face;
    char *suit;
} Card;
```

crea il tipo di struttura `Card` senza la necessità di un'istruzione separata `typedef`.



Buona pratica di programmazione 10.3

Scrivete in maiuscolo la prima lettera dei nomi creati con `typedef` per mettere in evidenza che sono sinonimi di altri nomi di tipo.

`Card` è ora utilizzabile per dichiarare variabili di tipo `struct card`. La dichiarazione

```
Card deck[52];
```

dichiara un array di 52 strutture `Card` (cioè variabili di tipo `struct card`). Creare un nome nuovo con `typedef` non crea un nuovo tipo; `typedef` crea semplicemente un nuovo nome di tipo, che può essere usato come alias per un nome di tipo esistente. Un nome significativo contribuisce a rendere il programma autodocumentante. Ad esempio, quando leggiamo la dichiarazione precedente, sappiamo che “`deck` è un array di 52 `Card`”.

Spesso si usa `typedef` per creare sinonimi dei tipi di dati fondamentali. Ad esempio, un programma che richiede interi di quattro byte può usare il tipo `int` su un sistema e il tipo `long` su un altro. I programmi progettati per la portabilità usano spesso `typedef` per creare un alias per interi di quattro byte, come `Integer`. L'alias `Integer` può essere cambiato una volta nel programma per far sì che il programma lavori su entrambi i sistemi.



Portabilità 10.2

Usate `typedef` per contribuire a rendere un programma più portatile.



Buona pratica di programmazione 10.4

L'uso di `typedef` può contribuire a rendere un programma più leggibile e mantenibile.

10.7 Esempio: simulazione ad alte prestazioni del mescolamento e della distribuzione di carte

Il programma nella Figura 10.3 si basa sulla simulazione del mescolamento e della distribuzione di carte esaminata nel Capitolo 7. Il programma rappresenta il mazzo di carte come un array di strutture e usa algoritmi ad alte prestazioni per mescolare e distribuire. L'output del programma è mostrato nella Figura 10.4.

```
1 // Fig. 10.3: fig10_03.c
2 // Programma per mescolare e distribuire le carte con uso di strutture
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5 #include <time.h>
6
7 #define CARDS 52
8 #define FACES 13
9
10 // definizione della struttura card
11 struct card {
12     const char *face; // definisci il puntatore face
13     const char *suit; // definisci il puntatore suit
14 };
15
16 typedef struct card Card; // nuovo nome di tipo per struct card
17
18 // prototipi
19 void fillDeck(Card * const wDeck, const char * wFace[],
20     const char * wSuit[]);
21 void shuffle(Card * const wDeck);
22 void deal(const Card * const wDeck);
23
24 int main(void)
25 {
26     Card deck[CARDS]; // definisci l'array di Card
27
28     // inizializza un array di puntatori
29     const char *face[] = { "Ace", "Deuce", "Three", "Four", "Five",
30         "Six", "Seven", "Eight", "Nine", "Ten",
31         "Jack", "Queen", "King"};
32
33     // inizializza un array di puntatori
34     const char *suit[] = { "Hearts", "Diamonds", "Clubs", "Spades"};
35
36     srand(time(NULL)); // randomizza
37
38     fillDeck(deck, face, suit); // carica il mazzo con le carte
39     shuffle(deck); // metti le carte in ordine casuale
40     deal(deck); // distribuisci tutte le 52 carte
41 }
42
43 // metti le stringhe nelle strutture Card
44 void fillDeck(Card * const wDeck, const char * wFace[],
45     const char * wSuit[])
46 {
47     // effettua un'iterazione attraverso wDeck
48     for (size_t i = 0; i < CARDS; ++i) {
49         wDeck[i].face = wFace[i % FACES];
50         wDeck[i].suit = wSuit[i / FACES];
51     }
}
```

```

52 }
53
54 // mescola le carte
55 void shuffle(Card * const wDeck)
56 {
57     // effettua un'iterazione attraverso wDeck scambiando a caso le carte
58     for (size_t i = 0; i < CARDS; ++i) {
59         size_t j = rand() % CARDS;
60         Card temp = wDeck[i];
61         wDeck[i] = wDeck[j];
62         wDeck[j] = temp;
63     }
64 }
65
66 // distribuisci le carte
67 void deal(const Card * const wDeck)
68 {
69     // effettua un'iterazione attraverso wDeck
70     for (size_t i = 0; i < CARDS; ++i) {
71         printf("%5s of %-8s", wDeck[i].face , wDeck[i].suit ,
72                (i + 1) % 4 ? " " : "\n");
73     }
74 }

```

Figura 10.3 Programma per mescolare e distribuire le carte con uso di strutture.

Three of Hearts	Jack of Clubs	Three of Spades	Six of Diamonds
Five of Hearts	Eight of Spades	Three of Clubs	Deuce of Spades
Jack of Spades	Four of Hearts	Deuce of Hearts	Six of Clubs
Queen of Clubs	Three of Diamonds	Eight of Diamonds	King of Clubs
King of Hearts	Eight of Hearts	Queen of Hearts	Seven of Clubs
Seven of Diamonds	Nine of Spades	Five of Clubs	Eight of Clubs
Six of Hearts	Deuce of Diamonds	Five of Spades	Four of Clubs
Deuce of Clubs	Nine of Hearts	Seven of Hearts	Four of Spades
Ten of Spades	King of Diamonds	Ten of Hearts	Jack of Diamonds
Four of Diamonds	Six of Spades	Five of Diamonds	Ace of Diamonds
Ace of Clubs	Jack of Hearts	Ten of Clubs	Queen of Diamonds
Ace of Hearts	Ten of Diamonds	Nine of Clubs	King of Spades
Ace of Spades	Nine of Diamonds	Seven of Spades	Queen of Spades

Figura 10.4 Output della simulazione ad alte prestazioni del mescolamento e della distribuzione delle carte.

La funzione `fillDeck` (righe 44–52) del programma inizializza l'array di `Card` in ordine dall'"Asso" al "Re" per ogni seme. L'array di `Card` viene passato (nella riga 39) alla funzione `shuffle` (righe 55–64), dove è implementato l'algoritmo ad alte prestazioni per mescolare. La funzione `shuffle` prende un array di 52 carte come argomento. La funzione effettua un'iterazione per le 52 carte (righe 58–63). Per ogni `Card` viene scelto a caso un numero tra 0 e 51. Dopodiché, la carta corrente e la carta selezionata a caso sono scambiate nell'array (righe 60–62). Viene effettuato un totale di 52 scambi in una singola passata lungo l'intero array, e l'array di `Card` è

mescolato! Questo algoritmo *non può* soffrire del problema della *posposizione indefinita* come l'algoritmo per mescolare presentato nel Capitolo 7. Poiché le carte sono state scambiate sul posto nell'array, l'algoritmo ad alte prestazioni per la distribuzione, implementato nella funzione `deal` (righe 67–74), richiede *solamente* un'iterazione lungo l'array per distribuire le carte mescolate.



Errore comune di programmazione 10.8

Dimenticare di includere l'indice dell'array quando ci si riferisce a strutture individuali in un array di strutture è un errore di sintassi.

Algoritmo di mescolamento Fisher-Yates

Si consiglia di utilizzare un algoritmo di mescolamento *imparziale* per i giochi di carte reali. Un tale algoritmo garantisce che tutte le possibili sequenze di carte mescolate abbiano le stesse probabilità di verificarsi. L'Esercizio 10.18 chiede di fare ricerche sul popolare algoritmo di mescolamento imparziale Fisher-Yates e di usarlo per implementare il metodo `shuffle` di `DeckOfCards` della Figura 10.3.

10.8 Unioni

Un'unione è un *tipo di dati derivato* (come una struttura) con membri *che condividono lo stesso spazio di memoria*. Per diverse situazioni in un programma, alcune variabili possono non essere rilevanti mentre altre possono esserlo, e così un'unione fa *condividere* spazio di memoria invece di sprecarlo per variabili che non vengono usate. I membri di un'unione possono appartenere a *qualsiasi* tipo di dati. Il numero di byte utilizzati per memorizzare un'unione deve essere sufficiente almeno a contenere il membro *più grande*. Si può fare riferimento soltanto a un membro alla volta e di conseguenza a un solo tipo di dati alla volta. È vostra responsabilità assicurare che si faccia riferimento ai dati in un'unione con il tipo di dati appropriato.



Errore comune di programmazione 10.9

Fare riferimento ai dati in un'unione con una variabile del tipo sbagliato è un errore logico.



Portabilità 10.3

Se i dati sono memorizzati in un'unione come un tipo e a essi si fa riferimento come a un altro tipo, i risultati sono dipendenti dall'implementazione.

10.8.1 Dichiaraione di unioni

Una definizione `union` ha lo stesso formato di una definizione di struttura. La definizione

```
union number {
    int x;
    double y;
};
```

indica che `number` è un tipo `union` con membri `int x` e `double y`. La definizione di un'unione è normalmente posta in un file di intestazione e inclusa in tutti i file sorgente che usano il tipo `union`.



Osservazione di Ingegneria del software 10.1

Come con una definizione struct, una definizione union crea semplicemente un nuovo tipo. Porre una definizione union o struct al di fuori di una funzione non crea una variabile globale.

10.8.2 Operazioni eseguibili su unioni

Le operazioni che possono essere eseguite su un'unione sono:

- assegnare un'unione a un'altra unione dello stesso tipo,
- accedere all'indirizzo (&) di una variabile di tipo unione e
- accedere ai membri di un'unione usando l'operatore di membro di struttura e l'operatore di puntatore a struttura.

Le unioni non vanno confrontate usando gli operatori == e != per le stesse ragioni per cui non vanno confrontate le strutture.

10.8.3 Inizializzare unioni in dichiarazioni

In una dichiarazione, un'unione può essere inizializzata con un valore dello stesso tipo del primo membro dell'unione. Ad esempio, per l'unione definita nel Paragrafo 10.8.1, l'istruzione

```
union number value = { 10 };
```

è un'inizializzazione valida della variabile di tipo unione value perché l'unione è inizializzata con un int, mentre la dichiarazione seguente troncherebbe la parte dopo il punto decimale del valore dell'inizializzatore (alcuni compilatori forniranno un avvertimento a tale riguardo):

```
union number value = { 1.43 };
```



Portabilità 10.4

La quantità di memoria richiesta per memorizzare un'unione è dipendente dall'implementazione, ma sarà sempre almeno tanto grande quanto quella richiesta dal membro più grande dell'unione.



Portabilità 10.5

È possibile che alcune unioni non siano facilmente portabili su altri sistemi. Il fatto che un'unione sia portabile o meno dipende spesso dai requisiti di allineamento nella memoria per i tipi di dati dei membri dell'unione su un dato sistema.

10.8.4 Esempio di uso di unioni

Il programma nella Figura 10.5 usa la variabile value (riga 13) del tipo union number (righe 6–9) per stampare il valore memorizzato nell'unione sia come un int sia come un double. L'output del programma è dipendente dall'implementazione. L'output del programma mostra che la rappresentazione interna di un valore double può essere alquanto differente dalla rappresentazione di un int.

```

1 // Fig. 10.5: fig10_05.c
2 // Stampa del valore di un'unione con entrambi i tipi di dati dei membri
3 #include <stdio.h>
4
5 // definizione dell'unione number
6 union number {
7     int x;
8     double y;
9 };
10
11 int main(void)
12 {
13     union number value; // definisci la variabile di tipo union
14
15     value.x = 100; // inserisci un intero nell'unione
16     printf("%s\n%s\n%s\n %d\n\n%s\n %f\n\n\n",
17         "Put 100 in the integer member",
18         "and print both members.",
19         "int:", value.x,
20         "double:", value.y);
21
22     value.y = 100.0; // inserisci un double nella stessa unione
23     printf("%s\n%s\n%s\n %d\n\n%s\n %f\n",
24         "Put 100.0 in the floating member",
25         "and print both members.",
26         "int:", value.x,
27         "double:", value.y);
28 }

```

Figura 10.5 Stampa del valore di un'unione con entrambi i tipi di dati dei membri.

10.9 Operatori bit a bit

I computer rappresentano tutti i dati internamente come sequenze di bit. Ogni bit può assumere il valore 0 o il valore 1. Sulla maggior parte dei sistemi, una sequenza di 8 bit forma un byte, la tipica unità di memoria per una variabile di tipo `char`. Altri tipi di dati sono memorizzati in numeri di byte più grandi. Gli operatori bit a bit sono usati per manipolare i bit di operandi interi, sia `signed` che `unsigned`. Con gli operatori bit a bit sono normalmente usati gli interi senza segno, che sono riepilogati nella Figura 10.6.



Portabilità 10.6

Le manipolazioni dei dati bit a bit sono dipendenti dalla macchina.

Gli operatori bit a bit AND, OR inclusivo e OR esclusivo confrontano i loro due operandi bit per bit. L'*operatore bit a bit AND* mette a 1 ogni bit nel risultato se il bit corrispondente in entrambi gli operandi è 1. L'*operatore bit a bit OR inclusivo* mette a 1 ogni bit nel risultato se il bit corrispondente nell'uno o nell'altro operando (o in entrambi) è 1. L'*operatore bit a bit OR esclusivo* mette a 1 ogni bit nel risultato se i bit corrispondenti in ogni operando sono differenti. L'*operatore di spostamento a sinistra* sposta a sinistra i bit del suo operando sinistro del numero di bit specificato nel suo operando destro. L'*operatore di spostamento a destra* sposta a destra i bit nel suo operando sinistro del numero di bit specificato nel suo operando destro. L'*operatore bit a bit complemento* mette a 1 nel risultato tutti i bit che sono a 0 nel suo operando e mette a 0 nel risultato tutti i bit che sono a 1 (operazione nota anche come *attivazione/disattivazione* dei bit). Gli esempi che seguono presentano un'analisi dettagliata di ogni operatore bit a bit. Gli operatori bit a bit sono riepilogati nella Figura 10.6.

Operatore	Descrizione
& AND bit a bit	Confronta i suoi due operandi bit per bit. I bit nel risultato sono messi a 1 se i bit corrispondenti nei due operandi sono <i>entrambi</i> 1.
OR inclusivo bit a bit	Confronta i suoi due operandi bit per bit. I bit nel risultato sono messi a 1 se <i>almeno uno</i> dei bit corrispondenti nei due operandi è 1.
^ OR esclusivo bit a bit (conosciuto anche come XOR bit a bit)	I bit nel risultato sono posti a 1 se esattamente <i>uno soltanto</i> dei bit corrispondenti nei due operandi è 1.
<< spostamento a sinistra	Sposta a sinistra i bit del primo operando del numero di bit specificato dal secondo operando; i bit da destra vengono riempiti con 0.
>> spostamento a destra	Sposta a destra i bit del primo operando del numero di bit specificato dal secondo operando; il metodo di riempimento da sinistra è dipendente dalla macchina quando l'operando sinistro è negativo.
~ complemento a uno	Tutti i bit 0 sono messi a 1 e tutti i bit 1 sono messi a 0.

Figura 10.6 Operatori bit a bit.

La trattazione degli operatori bit a bit in questo paragrafo illustra le rappresentazioni binarie degli operandi interi. Per una descrizione dettagliata del sistema numerico binario (detto anche in base 2) consultate l'Appendice C. Per via della dipendenza dalla macchina delle manipolazioni di singoli bit, è possibile che questi programmi non funzionino correttamente o funzionino in modo differente sul vostro sistema.

10.9.1 Stampa di un intero senza segno nella sua rappresentazione in bit

Quando si usano gli operatori bit a bit, è utile stampare i valori in binario per mostrare gli effetti esatti di questi operatori. Il programma della Figura 10.7 stampa un `unsigned int` nella sua rappresentazione binaria in gruppi di otto bit ciascuno per facilitarne la leggibilità. Per gli esempi in questo paragrafo presupponiamo un'implementazione dove gli `unsigned int` sono memorizzati in 4 byte (32 bit) di memoria.

```

1 // Fig. 10.7: fig10_07.c
2 // Stampa di un int senza segno nella sua rappresentazione in bit
3 #include <stdio.h>
4
5 void displayBits(unsigned int value); // prototipo
6
7 int main(void)
8 {
9     unsigned int x; // variabile per memorizzare l'input dell'utente
10
11    printf("%s", "Enter a nonnegative int: ");
12    scanf("%u", &x);
13
14    displayBits(x);
15 }
16
17 // mostra i bit di un valore int senza segno
18 void displayBits(unsigned int value)
19 {
20     // definisci displayMask ed effettua uno spostamento a sinistra di 31 bit
21     unsigned int displayMask = 1 << 31;
22
23     printf("%10u = ", value);
24
25     // effettua un'iterazione attraverso tutti i bit
26     for (unsigned int c = 1; c <= 32; ++c) {
27         putchar(value & displayMask ? "1" : "0");
28         value <= 1; // sposta value a sinistra di 1 bit
29
30         if (c % 8 == 0) { // stampa uno spazio dopo 8 bit
31             putchar(" ");
32         }
33     }
34
35     putchar("\n");
36 }
```

```
Enter a nonnegative int: 65000
65000 = 00000000 00000000 11111101 11101000
```

Figura 10.7 Stampa di un intero senza segno nella sua rappresentazione in bit.

La funzione `displayBits` (righe 18–36) utilizza l'operatore bit a bit AND per combinare la variabile `value` con la variabile `displayMask` (riga 27). Spesso, l'operatore bit a bit AND è usato con un operando chiamato maschera, un valore intero con bit specifici messi a 1. Le maschere servono per *nascondere* alcuni bit in un valore mentre *vengono selezionati* altri bit. Nella funzione `displayBits`, alla variabile maschera `displayMask` è assegnato il valore

```
1 << 31      (10000000 00000000 00000000 00000000)
```

L'operatore di spostamento a sinistra sposta il valore 1 dal bit di ordine più basso (più a destra) al bit di ordine più alto (più a sinistra) in `displayMask` ed effettua il riempimento con bit 0 da destra. La riga 27

```
putchar(value & displayMask ? "1" : "0");
```

determina se si deve stampare un 1 o uno 0 per il bit corrente più a sinistra della variabile `value`. Quando `value` e `displayMask` vengono combinati usando `&`, tutti i bit eccetto il bit di ordine più alto nella variabile `value` sono “mascherati” (nascosti), perché ogni bit “in AND” con 0 dà 0. Se il bit più a sinistra è 1, `value & displayMask` dà un valore diverso da zero (vero) e viene stampato 1, altrimenti viene stampato 0. Il valore della variabile `value` è allora spostato a sinistra di un bit tramite l'espressione `value <= 1` (questo è equivalente a `value = value << 1`). Questi passi si ripetono per ogni bit nella variabile `unsigned value`. La Figura 10.8 riepiloga i risultati della combinazione di due bit con l'operatore bit a bit AND.



Errore comune di programmazione 10.10

Usare l'operatore logico AND (&&) al posto dell'operatore bit a bit AND (&) – e viceversa – è un errore.

Bit 1	Bit 2	Bit 1 & Bit 2
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Figura 10.8 Risultati della combinazione di due bit con l'operatore bit a bit AND (`&`).

10.9.2 Rendere la funzione `displayBits` più scalabile e portabile

Nella riga 21 della Figura 10.7 abbiamo impostato a mano l'intero 31 per indicare che il valore 1 andava spostato al bit più a sinistra nella variabile `displayMask`. In modo simile, nella riga 26 abbiamo impostato a mano l'intero 32 per indicare che il ciclo deve essere iterato 32 volte, una volta per ogni bit nella variabile `value`. Abbiamo supposto che gli `unsigned int` fossero sempre memorizzati in 32 bit (quattro byte) di memoria. Molti dei computer odierni più diffusi usano architetture hardware con parole di 32 o 64 bit. Come programmatore in C, dovete lavorare su tante diverse architetture hardware e qualche volta gli `unsigned int` saranno memorizzati con un numero di bit più piccolo o più grande.



Portabilità 10.7

Possiamo rendere il programma nella Figura 10.7 più generico e più portabile sostituendo gli interi 31 (riga 21) e 32 (riga 26) con espressioni che calcolino questi interi, in base alla dimensione di un `unsigned int` per la piattaforma sulla quale viene eseguito il programma. La costante simbolica `CHAR_BIT` (definita in `<limits.h>`) rappresenta il numero di bit in un byte (normalmente 8). Ricordatevi che `sizeof` determina il numero di byte usati per memorizzare un oggetto o un tipo. L'espressione `sizeof(unsigned int)` assume il valore 4 per `unsigned int` a 32 bit e 8 per `unsigned int` a 64 bit. È possibile sostituire 31 con `CHAR_BIT * sizeof(unsigned int) - 1` e sostituire 32 con `CHAR_BIT * sizeof(unsigned int)`. Per `unsigned int` a 32 bit, queste espressioni assumono il valore 31 e 32, rispettivamente; per `unsigned int` a 64 bit, assumono il valore 63 e 64.

10.9.3 Uso degli operatori bit a bit AND, OR inclusivo, OR esclusivo e complemento

Il programma della Figura 10.9 illustra l'uso degli operatori bit a bit AND, OR inclusivo, OR esclusivo e complemento. Il programma usa la funzione `displayBits` (righe 46–64) per stampare i valori `unsigned int`. L'output è mostrato nella Figura 10.10.

```

1 // Fig. 10.9: fig10_09.c
2 // Uso degli operatori bit a bit AND, OR inclusivo,
3 // OR esclusivo e complemento
4 #include <stdio.h>
5
6 void displayBits(unsigned int value); // prototipo
7
8 int main(void)
9 {
10     // illustra l'AND (&) bit a bit
11     unsigned int number1 = 65535;
12     unsigned int mask = 1;
13     puts("The result of combining the following");
14     displayBits(number1);
15     displayBits(mask);
16     puts("using the bitwise AND operator & is");
17     displayBits(number1 & mask);
18
19     // illustra l'OR inclusivo (|) bit a bit
20     number1 = 15;
21     unsigned int setBits = 241;
22     puts("\nThe result of combining the following");
23     displayBits(number1);
24     displayBits(setBits);
25     puts("using the bitwise inclusive OR operator | is");
26     displayBits(number1 | setBits);
27
28     // illustra l'OR esclusivo (^) bit a bit
29     number1 = 139;
30     unsigned int number2 = 199;

```

```

31 puts("\nThe result of combining the following");
32 displayBits(number1);
33 displayBits(number2);
34 puts("using the bitwise exclusive OR operator ^ is");
35 displayBits(number1 ^ number2);
36
37 // illustra il complemento (~) bit a bit
38 number1 = 21845;
39 puts("\nThe one's complement of");
40 displayBits(number1);
41 puts("is");
42 displayBits(~number1);
43 }
44
45 // stampa i bit di un valore unsigned int
46 void displayBits(unsigned int value)
47 {
48     // imposta displayMask
49     unsigned int displayMask = 1 << 31;
50
51     printf("%10u = ", value);
52
53     // effettua un'iterazione attraverso tutti i bit
54     for (unsigned int c = 1; c <= 32; ++c) {
55         putchar(value & displayMask ? "1" : "0");
56         value <<= 1; // sposta value a sinistra di 1 bit
57
58         if (c % 8 == 0) { // stampa uno spazio dopo 8 bit
59             putchar(" ");
60         }
61     }
62
63     putchar("\n");
64 }
```

Figura 10.9 Uso degli operatori bit a bit AND, OR inclusivo, OR esclusivo e complemento.

```

The result of combining the following
65535 = 00000000 00000000 11111111 11111111
      1 = 00000000 00000000 00000000 00000001
using the bitwise AND operator & is
      1 = 00000000 00000000 00000000 00000001

The result of combining the following
      15 = 00000000 00000000 00000000 00001111
      241 = 00000000 00000000 00000000 11110001
using the bitwise inclusive OR operator | is
      255 = 00000000 00000000 00000000 11111111
```

Figura 10.10 Output per il programma della Figura 10.9.

continua

```

The result of combining the following
 139 = 00000000 00000000 00000000 10001011
 199 = 00000000 00000000 00000000 11000111
using the bitwise exclusive OR operator ^ is
 76 = 00000000 00000000 00000000 01001100

The one's complement of
 21845 = 00000000 00000000 01010101 01010101
is
4294945450 = 11111111 11111111 10101010 10101010

```

Figura 10.10 Output per il programma della Figura 10.9.

Operatore bit a bit AND (&)

Nella Figura 10.9, alla variabile intera `number1` è assegnato il valore 65535 (00000000 00000000 11111111 11111111) nella riga 11 e alla variabile `mask` è assegnato il valore 1 (00000000 00000000 00000000 00000001) nella riga 12. Quando `number1` e `mask` sono combinati usando l'*operatore bit a bit AND (&)* nell'espressione `number1 & mask` (riga 17), il risultato è 00000000 00000000 00000000 00000001. Tutti i bit, eccetto il bit di ordine più basso nella variabile `number1`, sono “mascherati” (nascosti) da un'operazione AND con la variabile `mask`.

Operatore bit a bit OR inclusivo (|)

L'*operatore bit a bit OR inclusivo* è usato per mettere specifici bit a 1 in un operando. Nella Figura 10.9 alla variabile `number1` è assegnato 15 (00000000 00000000 00000000 00001111) nella riga 20 e alla variabile `setBits` è assegnato 241 (00000000 00000000 00000000 11110001) nella riga 21. Quando `number1` e `setBits` sono combinati usando l'*operatore bit a bit OR inclusivo* nell'espressione `number1 | setBits` (riga 26), il risultato è 255 (00000000 00000000 00000000 11111111). La Figura 10.11 riepiloga i risultati della combinazione di due bit con l'*operatore bit a bit OR inclusivo*.

Bit 1	Bit 2	Bit 1 Bit 2
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Figura 10.11 Risultati della combinazione di due bit con l'*operatore bit a bit OR inclusivo* (|).

Operatore bit a bit OR esclusivo (^)

L'*operatore bit a bit OR esclusivo* (^) mette ogni bit nel risultato a 1 se *esattamente* uno soltanto dei bit corrispondenti nei suoi due operandi è 1. Nella Figura 10.9, alle variabili `number1` e `number2` sono assegnati i valori 139 (00000000 00000000 00000000 10001011) e 199 (00000000 00000000 00000000 11000111) nella righe 29–30. Quando queste variabili sono combinate con l'*operatore bit a bit OR esclusivo* nell'espressione `number1 ^ number2` (riga 35), il risultato è 00000000 00000000 00000000 01001100. La Figura 10.12 riepiloga i risultati della combinazione di due bit con l'*operatore bit a bit OR esclusivo*.

Bit 1	Bit 2	Bit 1 ^ Bit 2
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Figura 10.12 Risultati della combinazione di due bit con l'operatore bit a bit OR esclusivo (^).

Operatore bit a bit complemento (~)

L'operatore bit a bit complemento (~) mette tutti i bit che sono 1 nel suo operando a 0 nel risultato e mette tutti i bit che sono 0 a 1 nel risultato, ossia "calcola il complemento a uno del valore". Nella Figura 10.9 alla variabile number1 è assegnato il valore 21845 (00000000 00000000 01010101 01010101) nella riga 38. Quando viene valutata l'espressione ~number1 (riga 42), il risultato è 11111111 11111111 10101010 10101010.

10.9.4 Uso degli operatori bit a bit di spostamento a sinistra e a destra

Il programma della Figura 10.13 illustra l'operatore di spostamento a sinistra (<<) e l'operatore di spostamento a destra (>>). Viene usata la funzione displayBits per stampare i valori unsigned int.

```

1 // Fig. 10.13: fig10_13.c
2 // Uso degli operatori di spostamento bit a bit
3 #include <stdio.h>
4
5 void displayBits(unsigned int value); // prototipo
6
7 int main(void)
8 {
9     unsigned int number1 = 960; // inizializza number1
10
11    // illustra lo spostamento a sinistra bit a bit
12    puts("\nThe result of left shifting");
13    displayBits(number1);
14    puts("8 bit positions using the left shift operator << is");
15    displayBits(number1 << 8);
16
17    // illustra lo spostamento a destra bit a bit
18    puts("\nThe result of right shifting");
19    displayBits(number1);
20    puts("8 bit positions using the right shift operator >> is");
21    displayBits(number1 >> 8);
22 }
23
24 // stampa i bit di un valore unsigned int
25 void displayBits(unsigned int value)
26 {

```

```

27 // imposta displayMask
28 unsigned int displayMask = 1 << 31;
29
30 printf("%7u = ", value);
31
32 // effettua un'iterazione attraverso tutti i bit
33 for (unsigned int c = 1; c <= 32; ++c) {
34     putchar(value & displayMask ? "1" : "0");
35     value <<= 1; // sposta value a sinistra di 1 bit
36
37     if (c % 8 == 0) { // stampa uno spazio dopo 8 bit
38         putchar(" ");
39     }
40 }
41
42 putchar("\n");
43 }

```

```

The result of left shifting
960 = 00000000 00000000 00000011 11000000
8 bit positions using the left shift operator << is
245760 = 00000000 00000011 11000000 00000000

```

```

The result of right shifting
960 = 00000000 00000000 00000011 11000000
8 bit positions using the right shift operator >> is
3 = 00000000 00000000 00000000 00000011

```

Figura 10.13 Uso degli operatori di spostamento bit a bit.

Operatore di spostamento a sinistra (<<)

L'operatore di spostamento a sinistra (<<) sposta a sinistra i bit del suo operando sinistro del numero di bit specificato nel suo operando destro. I bit vuoti a destra sono sostituiti con zeri; i bit spostati a sinistra vanno perduti. Nella Figura 10.13, alla variabile number1 è assegnato il valore 960 (00000000 00000000 00000011 11000000) nella riga 9. Il risultato dello spostamento a sinistra di 8 bit della variabile number1 nell'espressione number1 << 8 (riga 15) è 245760 (00000000 00000011 11000000 00000000).

Operatore di spostamento a destra (>>)

L'operatore di spostamento a destra (>>) sposta a destra i bit del suo operando sinistro del numero di bit specificato nel suo operando destro. Eseguire uno spostamento a destra su un unsigned int fa sì che i bit vuoti a sinistra siano sostituiti da zeri; i bit spostati a destra vanno perduti. Nella Figura 10.13, il risultato dello spostamento a destra di number1 nell'espressione number1 >> 8 (riga 21) è 3 (00000000 00000000 00000000 00000011).



Errore comune di programmazione 10.11

Il risultato dello spostamento a destra o a sinistra di un valore è indefinito se l'operando destro è negativo o se l'operando destro è più grande del numero di bit con cui è memorizzato l'operando sinistro.



Portabilità 10.8

Il risultato dello spostamento a destra di un numero negativo è definito in base all'implementazione.

10.9.5 Operatori di assegnazione bit a bit

Ogni operatore bit a bit binario ha un operatore di assegnazione corrispondente. Questi operatori di assegnazione bit a bit sono mostrati nella Figura 10.14 e sono usati in modo simile agli operatori di assegnazione aritmetici introdotti nel Capitolo 3.

Operatori di assegnazione bit a bit

- `&=` Operatore di assegnazione AND bit a bit.
- `|=` Operatore di assegnazione OR inclusivo bit a bit.
- `^=` Operatore di assegnazione OR esclusivo bit a bit.
- `<<=` Operatore di assegnazione di spostamento a sinistra.
- `>>=` Operatore di assegnazione di spostamento a destra.

Figura 10.14 Gli operatori di assegnazione bit a bit.

La Figura 10.15 mostra la precedenza e l'associatività dei vari operatori introdotti fino a questo punto nel testo; essi sono mostrati dall'alto in basso in ordine decrescente di precedenza.

Operatori	Associatività	Tipo
<code>() [] . -> ++ (postfisso) -- (postfisso)</code>	da sinistra a destra	con precedenza più alta
<code>+ - ++ -- ! & * ~ sizeof (tipo)</code>	da destra a sinistra	unario
<code>* / %</code>	da sinistra a destra	moltiplicativo
<code>+ -</code>	da sinistra a destra	additivo
<code><< >></code>	da sinistra a destra	di spostamento
<code>< <= > >=</code>	da sinistra a destra	relazionale
<code>== !=</code>	da sinistra a destra	di uguaglianza
<code>&</code>	da sinistra a destra	AND bit a bit
<code>^</code>	da sinistra a destra	XOR bit a bit
<code> </code>	da sinistra a destra	OR bit a bit
<code>&&</code>	da sinistra a destra	AND logico
<code> </code>	da sinistra a destra	OR logico
<code>? :</code>	da destra a sinistra	condizionale
<code>= += -= *= /= &= = ^= <<= >>= %=</code>	da destra a sinistra	di assegnazione
<code>,</code>	da sinistra a destra	virgola

Figura 10.15 Precedenza e associatività degli operatori.

10.10 Campi di bit

Il C consente di specificare il numero di bit con cui memorizzare un membro `unsigned int` o `int` di una struttura o di un'unione. Questo costrutto viene chiamato **campo di bit**. I campi di bit permettono un migliore utilizzo della memoria, memorizzando i dati nel minimo numero di bit necessario. I membri di un campo di bit *devono* essere dichiarati come `int` o `unsigned int`.

10.10.1 Definire campi di bit

Considerate la seguente definizione di struttura:

```
struct bitCard {
    unsigned int face : 4;
    unsigned int suit : 2;
    unsigned int color : 1;
};
```

che contiene tre campi di bit `unsigned int` (`face`, `suit` e `color`) usati per rappresentare una carta di un mazzo di 52 carte. Un campo di bit viene dichiarato facendo seguire il nome di un membro intero `unsigned` o `signed` da due punti (`:`) e da una costante intera rappresentante la larghezza del campo (cioè il numero di bit in cui il membro è memorizzato). La costante che rappresenta la larghezza del campo deve essere un intero tra 0 (vedi Paragrafo 10.10.3) e il numero totale di bit usati per memorizzare un `int` sul vostro sistema (incluso). I nostri esempi sono stati testati su un computer con interi a 4 byte (32 bit).

La definizione di struttura precedente indica che il membro `face` è memorizzato in 4 bit, il membro `suit` in 2 bit e il membro `color` in 1 bit. Il numero di bit si basa sull'intervallo di valori desiderato per ogni membro della struttura. Il membro `face` memorizza valori da 0 (Asso) a 12 (Re); 4 bit possono memorizzare valori nell'intervallo 0–15. Il membro `suit` memorizza valori da 0 a 3 (0 = Cuori, 1 = Quadri, 2 = Fiori, 3 = Picche); 2 bit possono memorizzare valori nell'intervallo 0–3. Infine, il membro `color` memorizza 0 (Rosso) o 1 (Nero); 1 bit può memorizzare 0 o 1.

10.10.2 Usare campi di bit per rappresentare i membri `face`, `suit` e `color` di una carta

Il programma della Figura 10.16 (il cui output è mostrato nella Figura 10.17) crea un array `deck` contenente 52 strutture `struct bitCard` nella riga 20. La funzione `fillDeck` (righe 31–39) inserisce le 52 carte nell'array `deck`, e la funzione `deal` (righe 43–55) stampa le 52 carte. Notate che ai membri campi di bit delle strutture si accede esattamente come a un qualsiasi altro membro della struttura. Il membro `color` è incluso come un ausilio per indicare il colore della carta su un sistema che permette la visualizzazione del colore.

```
1 // Fig. 10.16: fig10_16.c
2 // Rappresentazione di carte con campi di bit in una struttura
3 #include <stdio.h>
4 #define CARDS 52
5
6 // definizione della struttura bitCard con campi di bit
7 struct bitCard {
8     unsigned int face : 4; // 4 bit; 0-15
```

```

9     unsigned int suit : 2; // 2 bit; 0-3
10    unsigned int color : 1; // 1 bit; 0-1
11 }
12
13 typedef struct bitCard Card; // nuovo nome di tipo per la struttura
14
15 void fillDeck(Card * const wDeck); // prototipo
16 void deal(const Card * const wDeck); // prototipo
17
18 int main(void)
19 {
20     Card deck[CARDS]; // crea un array di Card
21
22     fillDeck(deck);
23
24     puts("Card values 0-12 correspond to Ace through King");
25     puts("Suit values 0-3 correspond Hearts, Diamonds, Clubs and Spades");
26     puts("Color values 0-1 correspond to red and black\n");
27     deal(deck);
28 }
29
30 // inizializza l'array di Card
31 void fillDeck(Card * const wDeck)
32 {
33     // effettua un'iterazione attraverso wDeck
34     for (size_t i = 0; i < CARDS; ++i) {
35         wDeck[i].face = i % (CARDS / 4);
36         wDeck[i].suit = i / (CARDS / 4);
37         wDeck[i].color = i / (CARDS / 2);
38     }
39 }
40
41 // stampa le carte nel formato a due colonne; le carte 0-25 indicizzate con
42 // k1 (colonna 1); le carte 26-51 indicizzate con k2 (colonna 2)
43 void deal(const Card * const wDeck)
44 {
45     printf("%-6s%-6s%-15s%-6s%-6s%\n", "Card", "Suit", "Color",
46           "Card", "Suit", "Color");
47
48     // effettua l'iterazione attraverso wDeck
49     for (size_t k1 = 0, k2 = k1 + 26; k1 < CARDS / 2; ++k1, ++k2) {
50         printf("Card:%3d Suit:%2d Color:%2d ", 
51               wDeck[k1].face, wDeck[k1].suit, wDeck[k1].color);
52         printf("Card:%3d Suit:%2d Color:%2d\n",
53               wDeck[k2].face, wDeck[k2].suit, wDeck[k2].color);
54     }
55 }
```

Figura 10.16 Rappresentazione di carte con campi di bit in una struttura.

Card values 0-12 correspond to Ace through King
 Suit values 0-3 correspond Hearts, Diamonds, Clubs and Spades
 Color values 0-1 correspond to red and black

Card	Suit	Color	Card	Suit	Color
0	0	0	0	2	1
1	0	0	1	2	1
2	0	0	2	2	1
3	0	0	3	2	1
4	0	0	4	2	1
5	0	0	5	2	1
6	0	0	6	2	1
7	0	0	7	2	1
8	0	0	8	2	1
9	0	0	9	2	1
10	0	0	10	2	1
11	0	0	11	2	1
12	0	0	12	2	1
0	1	0	0	3	1
1	1	0	1	3	1
2	1	0	2	3	1
3	1	0	3	3	1
4	1	0	4	3	1
5	1	0	5	3	1
6	1	0	6	3	1
7	1	0	7	3	1
8	1	0	8	3	1
9	1	0	9	3	1
10	1	0	10	3	1
11	1	0	11	3	1
12	1	0	12	3	1

Figura 10.17 Output del programma nella Figura 10.16.



Prestazioni 10.2

I campi di bit riducono la quantità di memoria di cui ha bisogno un programma.



Portabilità 10.9

Le manipolazioni dei campi di bit sono dipendenti dalla macchina.



Errore comune di programmazione 10.12

Tentare di accedere a bit individuali di un campo di bit come se fossero elementi di un array è un errore di sintassi. I campi di bit non sono “array di bit”.



Errore comune di programmazione 10.13

Tentare di accedere all'indirizzo di un campo di bit (l'operatore & non può essere usato con campi di bit, perché questi non hanno indirizzi).



Prestazioni 10.3

Sebbene i campi di bit facciano risparmiare spazio di memoria, usarli può far sì che il compilatore generi un codice in linguaggio macchina che viene eseguito più lentamente. Ciò accade perché sono necessarie ulteriori operazioni in linguaggio macchina per accedere soltanto a porzioni di un'unità di memoria indirizzabile. Questo è uno dei molti esempi di compromesso spazio-tempo che ricorrono nell'informatica.

10.10.3 Campi di bit anonimi

È possibile specificare un campo di bit anonimo da usare per occupare lo spazio libero della struttura. Ad esempio, la definizione di struttura

```
struct example {  
    unsigned int a : 13;  
    unsigned int : 19;  
    unsigned int b : 4;  
};
```

usa per occupare lo spazio libero della struttura un campo anonimo di 19 bit: non è possibile memorizzare niente in quei 19 bit. Il membro **b** (sul nostro computer con parole di 4 byte) è memorizzato in un'altra unità di memoria.

Un campo di bit anonimo con larghezza zero viene usato per allineare il successivo campo di bit su un nuovo *confine di unità di memoria*. Ad esempio, la definizione di struttura

```
struct example {  
    unsigned int a : 13;  
    unsigned int : 0;  
    unsigned int : 4;  
};
```

usa un campo anonimo di 0 bit per tralasciare i restanti bit (tanti quanti ve ne sono) dell'unità di memoria in cui è memorizzato **a** e per allineare **b** sul successivo confine di unità di memoria.

10.11 Costanti di enumerazione

Un'enumerazione (esaminata brevemente nel Paragrafo 5.11), introdotta dalla parola chiave **enum**, è un insieme di costanti intere di enumerazione rappresentate da identificatori. I valori in un **enum** partono da 0, a meno che non sia specificato diversamente, e sono incrementati nell'ordine di 1. Ad esempio, l'enumerazione

```
enum months {  
    JAN, FEB, MAR, APR, MAY, JUN, JUL, AUG, SEP, OCT, NOV, DEC  
};
```

crea un nuovo tipo, **enum months**, in cui gli identificatori sono impostati, rispettivamente, con gli interi da 0 a 11.

Per numerare i mesi da 1 a 12, usate la seguente enumerazione:

```
enum months {
    JAN = 1, FEB, MAR, APR, MAY, JUN, JUL, AUG, SEP, OCT, NOV, DEC
};
```

Poiché il primo valore nella precedente enumerazione è esplicitamente posto a 1, i valori restanti sono incrementati a partire da 1, ottenendo così i valori da 1 a 12. Gli *identificatori* in un'enumerazione *devono essere unici*. Il valore di ogni costante in un'enumerazione può essere impostato esplicitamente nella definizione, assegnando un valore all'identificatore. Più membri di un'enumerazione *possono avere lo stesso valore costante*.

Nel programma della Figura 10.18, la variabile di tipo enumerazione `month` è usata in un'istruzione `for` per stampare i mesi dell'anno dall'array `monthName`. Abbiamo impostato `monthName[0]` con la stringa vuota `""`. Potreste impostare `monthName[0]` a un valore come `***ERROR***` per indicare che si è verificato un errore logico.



Errore comune di programmazione 10.14

Assegnare un valore a una costante di enumerazione dopo che è stata definita è un errore di sintassi.



Buona pratica di programmazione 10.5

Usate solo lettere maiuscole nei nomi di costanti di enumerazione. Ciò fa risaltare queste costanti in un programma e vi ricorda che le costanti di enumerazione non sono variabili.

```
1 // Fig. 10.18: fig10_18.c
2 // Uso di un'enumerazione
3 #include <stdio.h>
4
5 // le costanti di enumerazione rappresentano i mesi dell'anno
6 enum months {
7     JAN = 1, FEB, MAR, APR, MAY, JUN, JUL, AUG, SEP, OCT, NOV, DEC
8 };
9
10 int main(void)
11 {
12     // inizializza un array di puntatori
13     const char *monthName[] = { "", "January", "February", "March",
14         "April", "May", "June", "July", "August", "September", "October",
15         "November", "December" };
16
17     // effettua un'iterazione attraverso months
18     for (enum months month = JAN; month <= DEC; ++month) {
19         printf("%2d%11s\n", month, monthName[month]);
20     }
21 }
```

```
1 January
2 February
3 March
4 April
5 May
6 June
7 July
8 August
9 September
10 October
11 November
12 December
```

Figura 10.18 Uso di un'enumerazione.

10.12 Strutture e unioni anonime

Precedentemente in questo capitolo abbiamo introdotto `struct` e `union`. Il C11 ora supporta `struct` e `union` anonime che possono essere annidate in `struct` e `union` con nome. I membri di una `struct` o `union` anonima annidata sono considerati membri della `struct` o dell'`union` che racchiude la loro `struct` o `union` anonima annidata e sono accessibili direttamente tramite un oggetto del tipo che racchiude. Per esempio, consideriamo la seguente dichiarazione di una `struct`:

```
struct MyStruct {
    int member1;
    int member2;

    struct {
        int nestedMember1;
        int nestedMember2;
    }; // fine della struttura annidata
}; // fine della struttura esterna
```

Per una variabile `myStruct` di tipo `struct MyStruct`, potete accedere ai membri come:

```
myStruct.member1;
myStruct.member2;
myStruct.nestedMember1;
myStruct.nestedMember2;
```

10.13 Programmazione sicura in C

Gli argomenti di questo capitolo riguardano varie linee guida e regole del CERT. Per maggiori informazioni visitate il sito www.securecoding.cert.org.

Guida linea del CERT per le struct

Come abbiamo visto nel Paragrafo 10.2.4, i requisiti di allineamento ai confini delle unità di memoria per i membri di tipi `struct` possono produrre byte extra contenenti dati indefiniti per ogni variabile `struct` che si crea. Ognuna delle linee guida seguenti riguarda questo problema:

- EXP03-C: a causa dei requisiti di *allineamento ai confini*, la dimensione di una variabile `struct` non è necessariamente la somma delle dimensioni dei suoi membri. Usate sempre `sizeof` per determinare il numero di byte in una variabile `struct`. Come vedrete, useremo questa tecnica nel Capitolo 11 per manipolare record di lunghezza fissa scritti su file e letti da file e per creare nel Capitolo 12 le cosiddette strutture dinamiche di dati.
- EXP04-C: come abbiamo visto nel Paragrafo 10.2.4, le variabili `struct` non possono essere confrontate per egualanza o inegualanza, perché potrebbero contenere byte di dati indefiniti. Di conseguenza, dovete confrontare i loro membri individuali.
- DCL39-C: in una variabile `struct` i byte extra indefiniti potrebbero contenere dati con requisiti di sicurezza (rimasti dall'uso precedente di quelle locazioni di memoria) che *non* devono essere accessibili. Questa linea guida del CERT esamina i meccanismi specifici del compilatore per *impacchettare i dati* al fine di eliminare questi byte extra.

Guida linea del CERT per typedef

- DCL05-C: le dichiarazioni complesse di tipo, come quelle per i puntatori a funzioni, possono essere difficili da leggere. Dovreste usare `typedef` per creare nomi di tipo autodocumentanti che rendano più leggibili i vostri programmi.

Guida linea del CERT per la manipolazione di bit

- INT02-C: come conseguenza delle regole di promozione per gli interi (esaminate nel Paragrafo 5.6), l'esecuzione di operazioni bit a bit su tipi interi più piccoli di `int` può portare a risultati inattesi. Sono necessari cast esplicativi per assicurare risultati corretti.
- INT13-C: alcune operazioni bit a bit su tipi interi *con segno* sono *definite in base all'implementazione*. Ciò significa che le operazioni possono avere risultati differenti a seconda del compilatore C usato. Per questa ragione, con gli operatori bit a bit vanno usati tipi interi *senza segno*.
- EXP46-C: gli operatori logici `&&` e `||` sono frequentemente confusi, rispettivamente, con gli operatori bit a bit `&` e `|`. L'uso di `&` e `|` nella condizione di un'espressione condizionale (`?:`) può portare a un comportamento inaspettato, perché gli operatori `&` e `|` non usano la valutazione di tipo corto circuito.

Guida linea del CERT per enum

- INT09-C: permettere a più costanti di enumerazione di avere lo *stesso* valore può generare errori logici difficili da trovare. Nella maggior parte dei casi, le costanti di enumerazione di un `enum` dovrebbero avere valori *unici*, in modo da evitare tali errori logici.

Riepilogo

Paragrafo 10.1 Introduzione

- Le strutture sono collezioni di variabili collegate sotto un unico nome. Esse possono contenere variabili di più tipi differenti di dati.
- Le strutture sono usate comunemente per definire record da memorizzare in file.
- I puntatori e le strutture facilitano la formazione di strutture di dati più complesse come liste collegate, code, pile e alberi.

Paragrafo 10.2 Definizione di strutture

- La parola chiave `struct` introduce una definizione di struttura.
- L'identificatore che segue la parola chiave `struct` è l'etichetta della struttura, la quale dà il nome alla definizione di struttura. L'etichetta della struttura è usata con la parola chiave `struct` per dichiarare le variabili di tipo struttura.
- Le variabili dichiarate tra le parentesi della definizione di struttura sono i membri della struttura.
- I membri dello stesso tipo di struttura devono avere nomi unici.
- Ogni definizione di struttura deve terminare con un punto e virgola.
- I membri di una struttura possono avere tipi di dati primitivi o aggregati.
- Una struttura non può contenere un esempio di se stessa (un membro del suo stesso tipo), ma può includere un puntatore al suo tipo.
- Una struttura contenente un membro che è un puntatore allo stesso tipo della struttura si dice struttura autoreferenziale. Le strutture autoreferenziali sono usate per costruire strutture di dati collegate.
- Le definizioni di strutture creano nuovi tipi di dati che vengono usati per definire variabili.
- Le variabili di un dato tipo di struttura possono essere dichiarate mettendo una lista di nomi di variabile separati da virgolette tra la parentesi graffa che chiude la definizione della struttura e il suo punto e virgola finale.
- L'etichetta di una struttura è facoltativa. Se una definizione di struttura non contiene un'etichetta, le variabili di tipo struttura possono essere dichiarate solo nella definizione di struttura.
- Le uniche operazioni valide che possono essere eseguite su strutture sono: assegnare variabili di tipo struttura a variabili dello stesso tipo, accedere all'indirizzo (&) di una variabile di tipo struttura, accedere ai membri di una variabile di tipo struttura e usare l'operatore `sizeof` per determinare la dimensione di una variabile di tipo struttura.

Paragrafo 10.3 Inizializzazione di strutture

- Le strutture possono essere inizializzate usando liste di inizializzatori.
- Se vi sono meno inizializzatori nella lista rispetto ai membri della struttura, i membri restanti sono automaticamente inizializzati a 0 (o a `NULL` se il membro è un puntatore).
- I membri delle variabili di tipo struttura definiti al di fuori di una definizione di funzione sono inizializzati a 0 o a `NULL` se non sono esplicitamente inizializzati nella definizione esterna.

- Le variabili di tipo struttura possono essere inizializzate con istruzioni di assegnazione, in cui si assegna loro una variabile di tipo struttura dello stesso tipo, o in cui si assegnano valori ai membri individuali della struttura.

Paragrafo 10.4 Accesso ai membri delle strutture con . e ->

- L'operatore (.) di membro di struttura e l'operatore (->) di puntatore a struttura sono usati per accedere ai membri di una struttura.
- L'operatore di membro di struttura accede a un membro della struttura tramite il nome di una variabile di tipo struttura.
- L'operatore di puntatore a struttura accede a un membro di una struttura per mezzo di un puntatore alla struttura.

Paragrafo 10.5 Uso delle strutture con le funzioni

- Le strutture possono essere passate alle funzioni passando i membri individuali di una struttura, passando un'intera struttura o passando un puntatore a una struttura.
- Le variabili di tipo struttura vengono passate per valore per impostazione predefinita.
- Per passare una struttura per riferimento, passate il suo indirizzo. Gli array di strutture, come tutti gli altri array, vengono passati automaticamente per riferimento.
- Per passare un array per valore, create una struttura con l'array come membro. Le strutture vengono passate per valore, per cui l'array viene passato per valore.

Paragrafo 10.6 typedef

- La parola chiave **typedef** fornisce un meccanismo per creare sinonimi per tipi definiti in precedenza.
- I nomi per i tipi di struttura sono definiti spesso con **typedef** per creare nomi di tipo più corti.
- typedef** è usato spesso per creare sinonimi per i tipi fondamentali di dati. Ad esempio, un programma che richiede interi di 4 byte può usare il tipo **int** su un sistema e il tipo **long** su un altro. I programmi progettati per la portabilità usano spesso **typedef** per creare un alias per interi di 4 byte come **Integer**. L'alias **Integer** può essere cambiato una sola volta nel programma per farlo funzionare su entrambi i sistemi.

Paragrafo 10.8 Unioni

- Un'unione è dichiarata con la parola chiave **union** e con lo stesso formato di una struttura. I suoi membri condividono lo stesso spazio di memoria.
- I membri di un'unione possono essere di un tipo qualsiasi di dati. Il numero di byte usati per memorizzare un'unione deve essere almeno sufficiente a contenere il membro più grande.
- Si può fare riferimento solo a un membro di un'unione alla volta. È vostra responsabilità assicurare che ai dati in un'unione si faccia riferimento con il tipo appropriato di dati.
- Le operazioni che possono essere eseguite su un'unione sono: assegnare un'unione a un'altra dello stesso tipo, accedere all'indirizzo (&) di una variabile di tipo **union** e accedere ai membri di un'unione usando l'operatore di membro di struttura e l'operatore di puntatore a struttura.
- Un'unione può essere inizializzata in una dichiarazione con un valore dello stesso tipo del suo primo membro.

Paragrafo 10.9 Operatori bit a bit

- I computer rappresentano tutti i dati internamente come sequenze di bit con i valori 0 o 1.
- Sulla maggior parte dei sistemi, una sequenza di 8 bit forma un byte, l'unità standard di memoria per una variabile di tipo `char`. Altri tipi di dati sono memorizzati in un numero maggiore di byte.
- Gli operatori bit a bit sono usati per manipolare i bit di operandi interi (`char`, `short`, `int` e `long`; sia con segno che senza segno). Normalmente si usano gli interi senza segno.
- Gli operatori bit a bit sono AND (`&`) bit a bit, OR (`|`) inclusivo bit a bit, OR (`^`) esclusivo bit a bit, lo spostamento a sinistra (`<<`), lo spostamento a destra (`>>`) e il complemento (`~`).
- Gli operatori bit a bit AND, OR inclusivo e OR esclusivo confrontano i loro due operandi bit a bit. L'operatore AND bit a bit mette ogni bit nel risultato a 1 se il bit corrispondente in entrambi gli operandi è 1. L'operatore OR inclusivo bit a bit mette ogni bit nel risultato a 1 se il bit corrispondente nell'uno o nell'altro operando o in entrambi è 1. L'operatore OR esclusivo bit a bit mette ogni bit nel risultato a 1 se i bit corrispondenti di entrambi gli operandi sono differenti.
- L'operatore di spostamento a sinistra sposta a sinistra i bit del suo operando sinistro del numero di bit specificato nel suo operando destro. I bit vuoti a destra sono sostituiti con zeri; i bit spostati a sinistra vanno perduti.
- L'operatore di spostamento a destra sposta a destra i bit nel suo operando sinistro del numero di bit specificati nel suo operando destro. L'esecuzione di uno spostamento a destra su un `unsigned int` fa sì che i bit vuoti alla sinistra siano sostituiti da zeri; i bit spostati a destra vanno perduti.
- L'operatore complemento bit a bit mette nel risultato a 1 tutti i bit che sono a 0 nel suo operando e a 0 tutti i bit che sono a 1.
- L'operatore AND bit a bit è usato spesso con un operando chiamato maschera, un valore intero con bit specifici messi a 1. Le maschere sono usate per nascondere alcuni bit in un valore mentre vengono selezionati altri bit.
- La costante simbolica `CHAR_BIT` (definita in `<limits.h>`) rappresenta il numero di bit in un byte (normalmente 8). Si può usare per rendere un programma di manipolazione di bit più scalabile e portabile.
- Ogni operatore bit a bit binario ha un operatore di assegnazione corrispondente.

Paragrafo 10.10 Campi di bit

- Il C consente di specificare il numero di bit in cui è memorizzato un membro intero `unsigned` o `signed` di una struttura o di un'unione. Questo costrutto si chiama campo di bit. I campi di bit consentono un migliore uso della memoria, memorizzando i dati nel numero minimo di bit necessario.
- Un campo di bit viene dichiarato facendo seguire il nome di un membro `unsigned int` o `int` da due punti (`:`) e da una costante intera rappresentante la larghezza del campo. La costante deve essere un intero tra 0 e il numero totale di bit usati per memorizzare un `int` sul sistema (incluso).
- Ai membri campo di bit di strutture si accede esattamente come a qualsiasi altro membro di strutture.
- È possibile specificare un campo di bit anonimo da usare per occupare lo spazio inutilizzato nella struttura.
- Un campo di bit anonimo con una larghezza 0 allinea il successivo campo di bit a un nuovo confine di unità di memoria.

Paragrafo 10.11 Costanti di enumerazione

- Un enum definisce un insieme di costanti intere rappresentate da identificatori. I valori in un enum partono da 0, a meno che non sia specificato diversamente, e sono incrementati di 1.
- Gli identificatori in un enum devono essere unici.
- Il valore di una costante enum può essere inserito in una definizione enum mediante un'assegnazione.

Esercizi di autovalutazione

10.1 Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti asserzioni:

- Una _____ è un insieme di variabili collegate sotto un unico nome.
- Un' _____ è un insieme di variabili sotto un unico nome in cui le variabili condividono la stessa memoria.
- I bit nel risultato di un'espressione che usa l'operatore _____ sono messi a 1 se i bit corrispondenti in ogni operando sono messi a 1. Altrimenti i bit sono messi a zero.
- Le variabili dichiarate in una definizione di struttura sono chiamate i suoi _____.
- In un'espressione che usa l'operatore _____, i bit sono messi a 1 se almeno uno dei bit corrispondenti in entrambi gli operandi è messo a 1. Altrimenti i bit sono messi a zero.
- La parola chiave _____ introduce una dichiarazione di struttura.
- La parola chiave _____ è usata per creare un sinonimo di un tipo di dati definito in precedenza.
- In un'espressione che usa l'operatore _____, i bit sono messi a 1 se esattamente uno solo dei bit corrispondenti in entrambi gli operandi è messo a 1. Altrimenti i bit sono messi a zero.
- L'operatore AND (&) bit a bit si usa spesso per _____ i bit, vale a dire per selezionare certi bit mentre gli altri vengono azzerati.
- La parola chiave _____ è usata per introdurre una definizione di unione.
- Il nome della struttura è detto _____ della struttura.
- Al membro di una struttura si accede sia con l'operatore di _____ sia con l'operatore di _____.
- Gli operatori di _____ e di _____ sono usati per spostare i bit di un valore, rispettivamente, a sinistra o a destra.
- Una _____ è un insieme di interi rappresentati da identificatori.

10.2 Stabilite se ognuna delle seguenti affermazioni è *vera* o *falsa*. Se *falsa*, spiegate perché.

- Le strutture possono contenere soltanto variabili di un tipo di dati.
- Due unioni possono essere confrontate (usando ==) per determinare se sono uguali.
- L'etichetta di una struttura è facoltativa.
- I membri di strutture differenti devono avere nomi unici.
- La parola chiave `typedef` è usata per definire nuovi tipi di dati.
- Le strutture vengono sempre passate alle funzioni per riferimento.
- Le strutture non possono essere confrontate usando gli operatori == e !=.

10.3 Scrivete del codice per effettuare ognuna delle seguenti operazioni:

- Definire una struttura chiamata `part` contenente la variabile `unsigned int partNumber` e l'array di `char partName` con valori che possono essere lunghi fino a 25 caratteri (incluso il carattere nullo di terminazione).
- Definire `Part` come sinonimo per il tipo `struct part`.

- c) Usare `Part` per dichiarare la variabile `a` di tipo `struct part`, l'array `b[10]` di tipi `struct part` e la variabile `ptr` di tipo puntatore a `struct part`.
d) Leggere un numero di una parte e un nome di una parte dalla tastiera e memorizzarli nei singoli membri della variabile `a`.
e) Assegnare i valori dei membri della variabile `a` all'elemento 3 dell'array `b`.
f) Assegnare l'indirizzo dell'array `b` alla variabile puntatore `ptr`.
g) Stampare i valori dei membri dell'elemento 3 dell'array `b` usando la variabile `ptr` e l'operatore di puntatore a struttura per riferirsi ai membri.
- 10.4** Trovate l'errore:
- a) Supponete che `struct card` sia stata definita come contenente due puntatori al tipo `char`, vale a dire `face` e `suit`. Supponete inoltre che la variabile `c` sia stata definita di tipo `struct card` e la variabile `cPtr` di tipo puntatore a `struct card`, e che alla variabile `cPtr` sia stato assegnato l'indirizzo di `c`.
- ```
printf("%s\n", *cPtr->face);
```
- b) Supponete che `struct card` sia stata definita come contenente due puntatori al tipo `char`, cioè `face` e `suit`, e che l'array `hearts[13]` sia stato definito di tipo `struct card`. La seguente istruzione deve stampare il membro `face` dell'elemento 10 dell'array.
- ```
printf("%s\n", hearts.face);
```
- c)
- ```
union values {
 char w;
 float x;
 double y;
};

union values v = { 1.27 }
```
- d)
- ```
struct person {
    char lastName[15];
    char firstName[15];
    unsigned int age;
}
```
- e) Supponete che `struct person` sia stata definita come nella voce (d) ma con la correzione appropriata.
- ```
person d;
```
- f) Supponete che la variabile `p` sia stata dichiarata come tipo `struct person` e che la variabile `c` sia stata dichiarata come tipo `struct card`.
- ```
p = c;
```

Risposte agli esercizi di autovalutazione

- 10.1** a) struttura. b) unione. c) AND (&) bit a bit. d) membri. e) OR (|) inclusivo bit a bit. f) struct. g) typedef. h) OR (^) esclusivo bit a bit. i) mascherare. j) union. k) etichetta. l) membro di struttura, puntatore a struttura. m) spostamento a sinistra (<<), spostamento a destra (>>). n) enumerazione.
- 10.2** a) Falso. Una struttura può contenere variabili di più tipi di dati.
b) Falso. Le unioni non possono essere confrontate, perché potrebbero esservi byte di dati indefiniti con valori differenti nelle variabili di tipo unione che sarebbero altrettanto identiche.

- c) Vero.
 d) Falso. I membri di strutture separate possono avere gli stessi nomi, ma i membri della stessa struttura devono avere nomi unici.
 e) Falso. La parola chiave `typedef` è usata per definire nomi nuovi (sinonimi) per tipi di dati definiti in precedenza.
 f) Falso. Le strutture vengono sempre passate alle funzioni per valore.
 g) Vero, a causa di problemi di allineamento.
- 10.3 a) `struct part {
 unsigned int partNumber;
 char partName[25];
};`
 b) `typedef struct part Part;`
 c) `Part a, b[10], *ptr;`
 d) `scanf("%d%24s", &a.partNumber, a.partName);`
 e) `b[3] = a;`
 f) `ptr = b;`
 g) `printf("%d %s\n", (ptr + 3)->partNumber, (ptr + 3)->partName);`
- 10.4 a) Le parentesi che devono racchiudere `*cPtr` sono state omesse, con la conseguenza che l'ordine di valutazione dell'espressione è scorretto. L'espressione deve essere
`cPtr->face`
oppure
`(*cPtr).face`
- b) L'indice dell'array è stato omesso. L'espressione deve essere
`hearts[10].face`
- c) Un'unione può essere inizializzata solo con un valore che ha lo stesso tipo del suo primo membro.
- d) È necessario un punto e virgola per terminare una definizione di struttura.
- e) La parola chiave `struct` è stata omessa dalla dichiarazione della variabile. La dichiarazione deve essere
`struct person d;`
- f) Le variabili di tipi differenti di strutture non possono essere assegnate l'una all'altra.

Esercizi

- 10.5 Fornite la definizione per ognuna delle seguenti strutture e unioni.
- a) La struttura `inventory` contenente l'array di caratteri `partName[30]`, l'intero `partNumber`, il membro `price` in virgola mobile, l'intero `stock` e l'intero `reorder`.
- b) L'unione `data` contenente `char c`, `short s`, `long b`, `float f` e `double d`.
- c) Una struttura chiamata `address` contenente gli array di caratteri `streetAddress[25]`, `city[20]`, `state[3]` e `zipCode[6]`.
- d) La struttura `student` contenente gli array `firstName[15]` e `lastName[15]` e la variabile `homeAddress` di tipo `struct address` della voce c).
- e) La struttura `test` contenente 16 campi di bit con larghezze di 1 bit. I nomi dei campi di bit sono le lettere da a a p.

- 10.6 Date le seguenti definizioni di strutture e di variabili,

```

struct customer {
    char lastName[15];
    char firstName[15];
    unsigned int customerNumber;
    struct {
        char phoneNumber[11];
        char address[50];
        char city[15];
        char state[3];
        char zipCode[6];
    } personal;
} customerRecord, *customerPtr;
customerPtr = &customerRecord;

```

scrivete un'espressione utilizzabile per accedere ai membri delle strutture in ognuna delle seguenti parti:

- Membro lastName della struttura customerRecord.
- Membro lastName della struttura puntata da customerPtr.
- Membro firstName della struttura customerRecord.
- Membro firstName della struttura puntata da customerPtr.
- Membro customerNumber della struttura customerRecord.
- Membro customerNumber della struttura puntata da customerPtr.
- Membro phoneNumber del membro personal della struttura customerRecord.
- Membro phoneNumber del membro personal della struttura puntata da customerPtr.
- Membro address del membro personal della struttura customerRecord.
- Membro address del membro personal della struttura puntata da customerPtr.
- Membro city del membro personal della struttura customerRecord.
- Membro city del membro personal della struttura puntata da customerPtr.
- Membro state del membro personal della struttura customerRecord.
- Membro state del membro personal della struttura puntata da customerPtr.
- Membro zipCode del membro personal della struttura customerRecord.
- Membro zipCode del membro personal della struttura puntata da customerPtr.

- 10.7 (*Modifiche al programma per il mescolamento e la distribuzione di carte*) Modificate il programma della Figura 10.16 per mescolare le carte usando un algoritmo di mescolamento ad alte prestazioni (come mostrato nella Figura 10.3). Stampate il mazzo risultante in un formato a due colonne che utilizzi i nomi di face e suit. Fate precedere ogni carta dal suo colore.
- 10.8 (*Uso di unioni*) Create un'unione integer con i membri **char** c, **short** s, **int** i e **long** b. Scrivete un programma che riceva in ingresso valori di tipo **char**, **short**, **int** e **long** e li memorizzi in variabili di tipo **union integer**. Ogni variabile di tipo **union** deve essere stampata come un **char**, uno **short**, un **int** e un **long**. I valori sono sempre stampati correttamente?
- 10.9 (*Uso di unioni*) Create l'unione floatingPoint con i membri **float** f, **double** d e **long double** x. Scrivete un programma che riceva in ingresso valori di tipo **float**, **double** e **long double** e li memorizzi in variabili di tipo **union floatingPoint**. Ogni variabile

di tipo unione deve essere stampata come un `float`, un `double` e un `long double`. I valori sono sempre stampati correttamente?

- 10.10 (*Spostamento a destra di interi*) Scrivete un programma che sposti a destra una variabile intera di 4 bit. Il programma deve stampare l'intero in bit prima e dopo l'operazione di spostamento. Il vostro sistema mette degli 0 o degli 1 nei bit vuoti?
- 10.11 (*Spostamento a sinistra di interi*) Spostare a sinistra un `unsigned int` di 1 bit è equivalente a moltiplicare il valore per 2. Scrivete la funzione `power2` che prende due argomenti interi `number` e `pow` e calcola

$$\text{number} * 2^{\text{pow}}$$

Usate l'operatore di spostamento per calcolare il risultato. Stampate i valori come interi e come bit.

- 10.12 (*Impacchettare caratteri in un intero*) L'operatore di spostamento a sinistra può essere usato per impacchettare quattro valori di tipo carattere in una variabile `unsigned int` di quattro byte. Scrivete un programma che riceva in ingresso quattro caratteri dalla tastiera e li passi alla funzione `packCharacters`. Per impacchettare quattro caratteri in una variabile `unsigned int`, assegnate il primo carattere alla variabile `unsigned int`, effettuate uno spostamento della variabile `unsigned int` a sinistra di 8 posizioni di bit e combinate la variabile `unsigned int` con il secondo carattere usando l'operatore OR inclusivo bit a bit. Ripetete questo processo per il terzo e il quarto carattere. Il programma deve inviare in uscita i caratteri nel loro formato in bit prima e dopo che siano impacchettati nello `unsigned int` per provare che i caratteri sono stati di fatto impacchettati correttamente.
- 10.13 (*Spacchettare caratteri da un intero*) Usando l'operatore di spostamento a destra, l'operatore AND bit a bit e una maschera, scrivete la funzione `unpackCharacters` che prenda il valore `unsigned int` dell'Esercizio 10.12 e lo spacchetti in quattro caratteri. Per spacchettare caratteri da un `unsigned int` di quattro byte, combinate il valore `unsigned int` con la maschera `4278190080` (`11111111 00000000 00000000 00000000`) e spostate completamente a destra gli 8 bit risultanti. Assegnate il valore risultante a una variabile `char`, quindi combinate il valore `unsigned int` con la maschera `16711680` (`00000000 11111111 00000000 00000000`). Assegnate il risultato a un'altra variabile `char`. Continuate questo processo con le maschere `65280` e `255`. Il programma deve stampare l'`unsigned int` in bit prima di essere spacchettato, poi stampare i caratteri in bit per confermare che sono stati spacchettati correttamente.
- 10.14 (*Inversione dell'ordine dei bit di un intero*) Scrivete un programma che inverta l'ordine dei bit in un valore `unsigned int`. Il programma deve ricevere in ingresso il valore dall'utente e chiamare la funzione `reverseBits` per stampare i bit in ordine inverso. Stampate il valore in bit sia prima che dopo l'inversione dei bit per confermare che essi siano stati invertiti correttamente.

- 10.15 (*Funzione portabile `displayBits`*) Modificate la funzione `displayBits` della Figura 10.7 in modo che essa sia portabile tra i sistemi che usano interi di 2 byte e i sistemi che usano interi di 4 byte. [Suggerimento: usate l'operatore `sizeof` per determinare la dimensione di un intero su una particolare macchina.]
- 10.16 (*Qual è il valore di X?*) Il programma seguente usa la funzione `multiple` per determinare se l'intero inserito dalla tastiera è un multiplo di qualche intero X. Analizzate la funzione `multiple`, quindi determinate il valore di X.

```
1 // ex10_16.c
2 // Questo programma determina se un valore e' un multiplo di X.
3 #include <stdio.h>
4
5 int multiple(int num); // prototipo
6
7 int main(void)
8 {
9     int y; // y memorizza un intero inserito dall'utente
10
11    puts("Enter an integer between 1 and 32000: ");
12    scanf("%d", &y);
13
14    // se y e' un multiplo di X
15    if (multiple(y)) {
16        printf("%d is a multiple of X\n", y);
17    }
18    else {
19        printf("%d is not a multiple of X\n", y);
20    }
21 }
22
23 // determina se num e' un multiplo di X
24 int multiple(int num)
25 {
26     int mask = 1; // inizializza mask
27     int mult = 1; // inizializza mult
28
29     for (int i = 1; i <= 10; ++i, mask <<= 1) {
30
31         if ((num & mask) != 0) {
32             mult = 0;
33             break;
34         }
35     }
36
37     return mult;
38 }
```

10.17 Cosa fa il seguente programma?

```
1 // ex10_17.c
2 #include <stdio.h>
3
4 int mystery(unsigned int bits); // prototipo
5
6 int main(void)
7 {
8     unsigned int x; // x memorizza un intero inserito dall'utente
9
10    puts("Enter an integer: ");
```

```

11     scanf("%u", &x);
12
13     printf("The result is %d\n", mystery(x));
14 }
15
16 // Cosa fa questa funzione?
17 int mystery(unsigned int bits)
18 {
19     unsigned int mask = 1 << 31; // inizializza mask
20     unsigned int total = 0; // inizializza total
21
22     for (unsigned int i = 1; i <= 32; ++i, bits <<= 1) {
23
24         if ((bits & mask) == mask) {
25             ++total;
26         }
27     }
28
29     return !(total % 2) ? 1 : 0;
30 }
```

- 10.18 (Algoritmo di mescolamento Fisher-Yates)** Fate ricerche on-line sull'algoritmo di mescolamento Fisher-Yates, poi utilizzatelo per reimplementare il metodo `shuffle` della Figura 10.3.

Prove sul campo

- 10.19 (Computerizzazione di cartelle cliniche)** Un argomento riguardante l'assistenza sanitaria, apparso ultimamente sui giornali, è quello della computerizzazione delle cartelle cliniche. Questa possibilità viene affrontata con cautela, a motivo, fra l'altro, di delicati problemi di riservatezza e sicurezza. Computerizzare le cartelle cliniche potrebbe semplificare la condivisione delle anamnesi dei pazienti fra i vari specialisti. Ciò potrebbe migliorare la qualità dell'assistenza sanitaria, contribuire a evitare incompatibilità tra i farmaci e prescrizioni erronie di questi ultimi, ridurre i costi e salvare vite nei casi d'emergenza. In questo esercizio progetterete una struttura "iniziale" `HealthProfile` per una persona. I membri della struttura devono comprendere il nome, il cognome, il sesso, la data di nascita (consistente in attributi separati per il giorno, il mese e l'anno di nascita), l'altezza e il peso della persona. Il vostro programma deve avere una funzione che riceve questi dati e li utilizza per impostare i membri di una variabile di tipo `HealthProfile`. Il programma deve includere anche le funzioni che calcolano e restituiscono l'età del paziente in anni, la massima frequenza cardiaca, l'intervallo della frequenza cardiaca normale (vedi Esercizio 3.47) e l'indice di massa corporea (BMI; vedi Esercizio 2.32). Il programma deve richiedere le informazioni di una persona, creare una variabile di tipo `HealthProfile` per essa e stampare le informazioni contenute in quella variabile (compreso il nome della persona, il cognome, il sesso, la data di nascita, l'altezza e il peso), quindi calcolare e stampare l'età della persona in anni, il BMI, la massima frequenza cardiaca e l'intervallo della frequenza cardiaca normale. Deve inoltre stampare la tabella dei "valori del BMI", come nell'Esercizio 2.32.



OBIETTIVI

- Comprendere i concetti di file e stream.
- Creare e leggere dati usando l'elaborazione di file ad accesso sequenziale.
- Creare, leggere e aggiornare dati usando l'elaborazione di file ad accesso casuale.
- Sviluppare un vero e proprio programma di elaborazione di transazioni.
- Studiare la programmazione sicura in C nell'ambito dell'elaborazione dei file.

11.1 Introduzione

Nel Capitolo 1 avete studiato la *gerarchia di dati*. La memorizzazione dei dati nelle variabili e negli array è *temporanea*: tali dati vanno *perduti* quando un programma termina. I file vengono usati per la memorizzazione a lungo termine di dati. I computer memorizzano file su dispositivi di memoria secondaria, come dischi fissi, unità allo stato solido, unità flash e DVD. In questo capitolo spiegheremo come i file di dati vengono creati, aggiornati ed elaborati dai programmi in C. Considereremo l'elaborazione di file sia ad accesso sequenziale che ad accesso casuale.

11.2 File e stream

Il C vede ogni file semplicemente come uno *stream* (flusso) *sequenziale di byte* (Figura 11.1). Ogni file termina o con un marcitore di **end-of-file** o dopo uno specifico numero di byte registrato in una struttura di dati di amministrazione gestita dal sistema – questo è determinato dalla piattaforma in uso e non si può vedere.



Figura 11.1 File di n byte dal punto di vista del C.

Stream standard in ogni programma

Quando un file viene *aperto*, a esso viene associato uno stream. Tre stream vengono aperti automaticamente quando inizia l'esecuzione di un programma:

- lo standard input (che riceve input dalla tastiera),
- lo standard output (che stampa output sullo schermo) e
- lo standard error (che stampa messaggi d'errore sullo schermo).

Canali di comunicazione

Gli stream forniscono i canali di comunicazione tra file e programmi. Ad esempio, lo stream standard input permette a un programma di leggere dati dalla tastiera, e lo stream standard output permette a un programma di stampare dati sullo schermo.

Struttura FILE

L'apertura di un file restituisce un puntatore a una struttura FILE (definita in `<stdio.h>`) contenente informazioni usate per elaborare il file. In alcuni sistemi operativi questa struttura comprende un descrittore di file, cioè un indice intero in un array del sistema operativo chiamato tabella dei file aperti. Ogni elemento dell'array contiene un blocco di controllo del file (FCB) in cui sono memorizzate le informazioni usate dal sistema operativo per amministrare un particolare file. Lo standard input, lo standard output e lo standard error vengono manipolati usando `stdin`, `stdout` e `stderr`.

Funzione di elaborazione di file fgetc

La Libreria Standard fornisce molte funzioni per leggere dati da file e per scrivere dati su file. La funzione `fgetc`, come `getchar`, legge un carattere da un file. La funzione `fgetc` riceve come argomento un puntatore a `FILE` per il file da cui si leggerà il carattere. La chiamata `fgetc(stdin)` legge un carattere da `stdin` (lo standard input). Tale chiamata è equivalente alla chiamata `getchar()`.

Funzione di elaborazione di file fputc

La funzione `fputc`, come `putchar`, scrive un carattere su un file. La funzione `fputc` riceve come argomenti un carattere da scrivere e un puntatore per il file su cui verrà scritto il carattere. La chiamata di funzione `fputc('a', stdout)` scrive il carattere 'a' su `stdout` (lo standard output). Questa chiamata è equivalente a `putchar('a')`.

Altre funzioni di elaborazione di file

Diverse altre funzioni, usate per leggere dati dallo standard input e scrivere dati sullo standard output, hanno, analogamente, funzioni corrispondenti con nomi simili per l'elaborazione di file. Le funzioni `fgets` e `fputs`, ad esempio, possono essere usate, rispettivamente, per leggere una riga da un file e per scrivere una riga su un file. Nei prossimi paragrafi introdurremo le funzioni equivalenti a `scanf` e `printf` per l'elaborazione di file, ovvero `fscanf` e `fprintf`. Più avanti nel capitolo esamineremo le funzioni `fread` e `fwrite`.

11.3 Creazione di un file ad accesso sequenziale

Il C non impone alcuna struttura a un file. Pertanto, nozioni come record di un file non fanno parte del linguaggio C. L'esempio seguente mostra come imporre a un file una struttura a record.

La Figura 11.2 crea un semplice file ad accesso sequenziale che potrebbe essere usato in un sistema che gestisce conti che tengono traccia delle somme di denaro dovute (crediti) dai clienti di un'azienda. Per ogni cliente il programma legge un numero di conto, il nome del cliente e il saldo del cliente (ossia la somma che il cliente deve all'azienda per beni e servizi ricevuti in passato). I dati ottenuti per ogni cliente costituiscono un "record" per quel cliente. Il numero di conto

in questa applicazione viene usato come la *chiave del record*: il file sarà creato e mantenuto ordinato secondo i numeri di conto. Questo programma presuppone che l'utente inserisca i record ordinati secondo i numeri di conto. In un grande sistema di gestione di conti sarebbero invece disponibili funzionalità per l'ordinamento, in modo che l'utente possa inserire i record in un ordine qualunque. I record verrebbero poi ordinati e scritti su file. [Nota: i programmi delle Figure 11.6 e 11.7 usano il file di dati creato nella Figura 11.2, per cui il programma di quest'ultima deve essere eseguito prima dei programmi delle Figure 11.6 e 11.7.]

```
1 // Fig. 11.2: fig11_02.c
2 // Creazione di un file sequenziale
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     FILE *cfPtr; // cfPtr = puntatore al file clients.txt
8
9     // fopen apre il file per la scrittura
10    if ((cfPtr = fopen("clients.txt", "w")) == NULL) {
11        puts("File could not be opened");
12    }
13    else {
14        puts("Enter the account, name, and balance.");
15        puts("Enter EOF to end input.");
16        printf("%s", "? ");
17
18        unsigned int account; // numero del conto
19        char name[30]; // nome del titolare del conto
20        double balance; // saldo del conto
21
22        scanf("%d%29s%lf", &account, name, &balance);
23
24        // scrivi numero del conto, nome e saldo nel file con fprintf
25        while (!feof(stdin) ) {
26            fprintf(cfPtr, "%d %s %.2f\n", account, name, balance);
27            printf("%s", "? ");
28            scanf("%d%29s%lf", &account, name, &balance);
29        }
30
31        fclose(cfPtr); // fclose chiude il file
32    }
33 }
```

```
Enter the account, name, and balance.
Enter EOF to end input.
? 100 Jones 24.98
? 200 Doe 345.67
? 300 White 0.00
? 400 Stone -42.16
? 500 Rich 224.62
? ^Z
```

Figura 11.2 Creazione di un file sequenziale.

11.3.1 Puntatore a un FILE

Ora analizziamo questo programma. La riga 7 definisce `cfpPtr` come un puntatore a una struttura `FILE`. Un programma in C amministra ogni file con una struttura `FILE` separata. Ogni file aperto deve avere un puntatore di tipo `FILE` dichiarato separatamente, usato per riferirsi al file. Per usare i file non occorre conoscere le caratteristiche specifiche della struttura `FILE`, ma se volete potete studiare la sua dichiarazione in `stdio.h`. Vedremo presto esattamente come la struttura `FILE` porti indirettamente al blocco di controllo del file (FCB) del sistema operativo.

11.3.2 Usare fopen per aprire il file

La riga 10 dà il nome al file ("clients.txt") che il programma deve usare e stabilisce una "linea di comunicazione" con il file. Alla variabile puntatore `cfPtr` è assegnato un puntatore alla struttura `FILE` per il file aperto con `fopen`. La funzione `fopen` riceve due argomenti:

- un nome di file (che può includere informazioni sul percorso, per localizzare la posizione del file) e
- una modalità di apertura del file.

La modalità di apertura del file "w" indica che il file deve essere aperto per scriverci, ovvero in scrittura. Se un file *non esiste* e viene aperto in scrittura, `fopen` *crea il file*. Se un file esistente viene aperto in scrittura, i suoi contenuti sono *eliminati senza avvertimento*. Nel programma, l'istruzione `if` è usata per determinare se il puntatore a file `cfPtr` è `NULL` (vale a dire, il file non è aperto perché non esiste o l'utente non ha il permesso di aprirlo). Se è `NULL`, il programma stampa un messaggio di errore e termina. Altrimenti, il programma elabora l'input e lo scrive sul file.



Errore comune di programmazione 11.1

Aprire un file esistente in scrittura ("w") quando, in realtà, l'utente vuole mantenere il file originale, ne elimina i contenuti senza avvertimento.



Errore comune di programmazione 11.2

Dimenticare di aprire un file prima di tentare di fare riferimento a esso in un programma è un errore logico.

11.3.3 Usare feof per controllare l'indicatore di end-of-file

Il programma richiede all'utente di inserire i vari campi per ogni record, oppure di inserire *end-of-file* quando l'inserimento dei dati è completato. La Figura 11.3 elenca le combinazioni di tasti per inserire un end-of-file per vari sistemi.

Sistema operativo	Combinazione di tasti
Linux/Mac OS X/UNIX	<Ctrl> d
Windows	<Ctrl> z poi premete Invio

Figura 11.3 Combinazioni di tasti per end-of-file in vari comuni sistemi operativi.

La riga 25 usa la funzione `feof` per determinare se l'indicatore di end-of-file è impostato per `stdin`. L'indicatore di end-of-file informa il programma che non vi sono più dati da elaborare. Nella Figura 11.2 l'indicatore di end-of-file viene impostato per lo standard input quando l'utente inserisce la combinazione di tasti di end-of-file. L'argomento per la funzione `feof` è un puntatore al file da testare per l'indicatore di end-of-file (`stdin` in questo caso). La funzione restituisce un valore diverso da zero (vero) quando l'indicatore di end-of-file è stato impostato; diversamente, la funzione restituisce zero. L'istruzione `while`, che in questo programma include la chiamata di `feof`, continua l'esecuzione finché non risulta impostato l'indicatore di end-of-file.

11.3.4 Usare `fprintf` per scrivere su un file

La riga 26 scrive dati sul file `clients.txt`. I dati possono essere recuperati in seguito da un programma progettato per leggere il file (vedi Paragrafo 11.4). La funzione `fprintf` è equivalente a `printf`, però `fprintf` riceve come argomento anche un puntatore a file per il file su cui saranno scritti i dati. La funzione `fprintf` può inviare in uscita dati allo standard output, usando `stdout` come puntatore a file, come in:

```
fprintf(stdout, "%d %s %.2f\n", account, name, balance);
```

11.3.5 Usare `fclose` per chiudere il file

Dopo l'inserimento della combinazione di end-of-file da parte dell'utente, il programma chiude il file `clients.txt` con `fclose` (riga 31) e termina. La funzione `fclose` riceve come argomento il puntatore al file (invece che il nome del file). *Se la funzione `fclose` non viene esplicitamente chiamata, il sistema operativo chiuderà normalmente il file al termine dell'esecuzione del programma.* Questo è un esempio di "manutenzione" da parte di un sistema operativo.



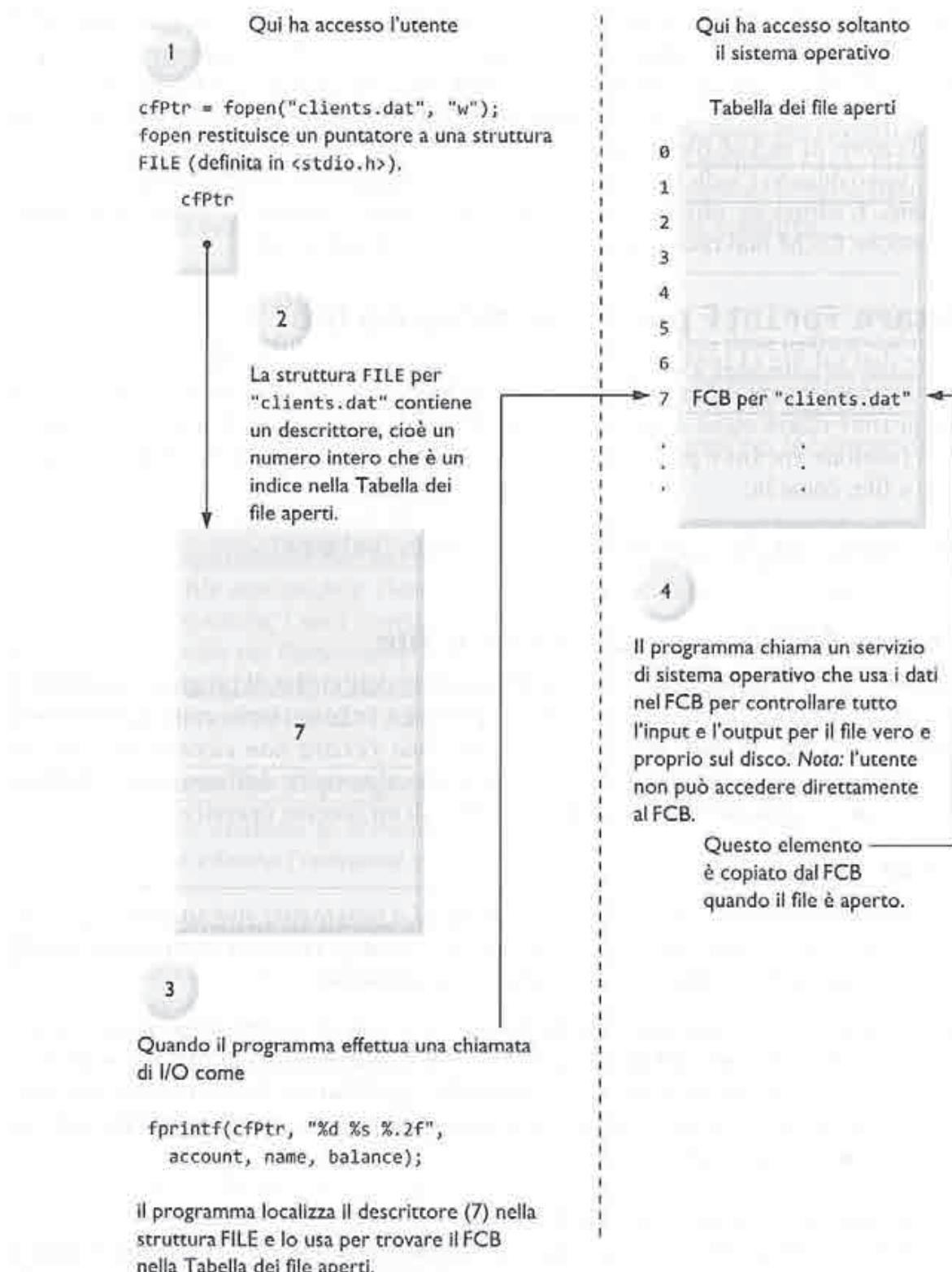
Prestazioni 11.1

La chiusura di un file può liberare risorse che altri utenti o programmi stanno forse aspettando, perciò dovete chiudere ogni file non appena esso non è più necessario, invece di aspettare che sia il sistema operativo a chiuderlo al termine del programma.

Nell'esempio di esecuzione del programma della Figura 11.2 l'utente inserisce informazioni per cinque conti, poi inserisce un end-of-file per segnalare che l'inserimento dei dati è completato. L'esempio di esecuzione non mostra come i record dei dati appaiano realmente nel file. Per verificare che il file è stato creato con successo, nel prossimo paragrafo presenteremo un programma che legge il file e stampa i suoi contenuti.

Relazione tra puntatori a FILE, strutture FILE e FCB

La Figura 11.4 illustra le relazioni tra i puntatori a FILE, le strutture FILE e i FCB. Quando viene aperto il file "clients.txt", un FCB per il file viene copiato in memoria. La figura mostra la connessione tra il puntatore del file restituito da `fopen` e il FCB usato dal sistema operativo per amministrare il file. I programmi possono elaborare uno o più file o non elaborare alcun file. Ogni file usato in un programma avrà un differente puntatore a file restituito da `fopen`. *Tutte le successive funzioni di elaborazione di file dopo l'apertura di un file devono riferirsi al file con il puntatore appropriato.*

**Figura 11.4** Relazioni tra i puntatori a FILE, le strutture FILE e i FCB.

11.3.6 Modalità di apertura dei file

I file possono essere aperti secondo diverse modalità, che sono riepilogate nella Figura 11.5. Ciascuna modalità di apertura dei file nella prima metà della tabella ha una corrispondente modalità *binaria* (contenente la lettera b) per manipolare file binari. Le modalità binarie saranno usate nei Paragrafi 11.5–11.9, quando introdurremo i file ad accesso casuale.

Modalità	Descrizione
r	Apre un file esistente per la lettura.
w	Crea un file per la scrittura. Se il file esiste già, <i>elimina</i> i contenuti correnti.
a	Apre o crea un file per scrivere alla fine del file – cioè, le operazioni di scrittura aggiungono dati al file.
r+	Apre un file esistente per l'aggiornamento (lettura e scrittura).
w+	Crea un file per l'aggiornamento. Se il file esiste già, <i>elimina</i> i contenuti correnti.
a+	Append: apre o crea un file per l'aggiornamento; tutta la scrittura è effettuata alla fine del file – cioè, le operazioni di scrittura aggiungono dati al file.
rb	Apre un file esistente per la lettura in forma binaria.
wb	Crea un file per la scrittura in forma binaria. Se il file esiste già, elimina i contenuti correnti.
ab	Append: apre o crea un file per la scrittura alla fine del file in forma binaria.
rb+	Apre un file esistente per l'aggiornamento (lettura e scrittura) in forma binaria.
wb+	Crea un file per l'aggiornamento in forma binaria. Se il file esiste già, elimina i contenuti correnti.
ab+	Append: apre o crea un file per l'aggiornamento in forma binaria; la scrittura è effettuata alla fine del file.

Figura 11.5 Modalità di apertura dei file.

Modalità esclusiva di scrittura del C11

Inoltre, il C11 fornisce una modalità *esclusiva* di scrittura, che si indica aggiungendo una x alla fine delle modalità w, w+, wb o wb+. Nella modalità esclusiva di scrittura, fopen fallirà se il file esiste già o non può essere creato. Se l'apertura di un file nella modalità esclusiva di scrittura riesce e il sistema sottostante supporta l'accesso esclusivo al file, allora solo il vostro programma può accedere al file finché è aperto. (Alcuni compilatori e piattaforme non supportano la modalità esclusiva di scrittura.) Se si verifica un errore mentre si apre un file in una qualsiasi modalità, fopen restituisce NULL.



Errore comune di programmazione 11.3

Aprire un file inesistente per la lettura è un errore.



Errore comune di programmazione 11.4

Aprire un file per la lettura o la scrittura senza che si siano ottenuti gli opportuni diritti di accesso (dipendenti dal sistema operativo) è un errore.



Errore comune di programmazione 11.5

Aprire un file per scrivere quando non c'è spazio disponibile è un errore in fase di esecuzione.



Errore comune di programmazione 11.6

Aprire un file in modalità di scrittura ("w") quando si deve aprire in modalità di aggiornamento ("r+") provoca l'eliminazione dei contenuti del file.



Prevenzione di errori 11.1

Apriete un file solo per la lettura (e non per l'aggiornamento) se i suoi contenuti non devono essere modificati. Ciò previene la modifica non intenzionale dei contenuti del file. Questo è un altro esempio del principio del privilegio minimo.

11.4 Lettura di dati da un file ad accesso sequenziale

I dati vengono memorizzati in un file in modo che, quando servono, si possano recuperare per l'elaborazione. Il paragrafo precedente ha illustrato come creare un file per l'accesso sequenziale. Il presente paragrafo mostra come leggere dati da un file in maniera sequenziale.

La Figura 11.6 legge record dal file "clients.txt" creato dal programma della Figura 11.2 e stampa i loro contenuti. La riga 7 indica che cfPtr è un puntatore a FILE. La riga 10 tenta di aprire il file "clients.txt" per leggere ("r") e determina se si è aperto con successo (vale a dire che fopen non restituisce NULL). La riga 19 legge un "record" dal file. La funzione fscanf è equivalente alla funzione scanf, però fscanf riceve come argomento un puntatore al file da cui sono letti i dati. Dopo la prima esecuzione di questa funzione, account avrà il valore 100, name il valore "Jones" e balance il valore 24.98. Ogni volta che viene eseguita la seconda istruzione fscanf (riga 24), il programma legge un altro record dal file e account, name e balance assumono nuovi valori. Quando il programma raggiunge la fine del file, il file viene chiuso (riga 27) e il programma termina. La funzione feof restituisce vero soltanto dopo che il programma tenta di leggere dati inesistenti dopo l'ultima riga.

```

1 // Fig. 11.6: fig11_06.c
2 // Lettura e stampa di un file sequenziale
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     FILE *cfPtr; // cfPtr = puntatore al file clients.txt
8
9     // fopen apre il file per la lettura
10    if ((cfPtr = fopen("clients.txt", "r")) == NULL) {
11        puts("File could not be opened");
12    }
13    else { // leggi account, name e balance dal file
14        unsigned int account; // numero del conto
15        char name[30]; // nome del titolare del conto
16        double balance; // saldo del conto
17
18        printf("%-10s%-13s%5s\n", "Account", "Name", "Balance");
19        fscanf(cfPtr, "%d%29s%lf", &account, name, &balance);
20

```

```

21 // finché non si incontra un end of file
22 while (!feof(cfPtr) ) {
23     printf("%-10d%-13s%7.2f\n", account, name, balance);
24     fscanf(cfPtr, "%d%29s%lf", &account, name, &balance);
25 }
26
27 fclose(cfPtr); // fclose chiude il file
28 }
29 }
```

Account	Name	Balance
100	Jones	24.98
200	Doe	345.67
300	White	0.00
400	Stone	-42.16
500	Rich	224.62

Figura 11.6 Lettura e stampa di un file sequenziale.

11.4.1 Reimpostare il puntatore di posizione del file

Per recuperare dati da un file in maniera sequenziale, un programma comincia normalmente a leggere dall'inizio del file e legge tutti i dati consecutivamente, finché non vengono trovati i dati desiderati. Durante l'esecuzione di un programma, può essere opportuno elaborare i dati in un file in maniera sequenziale diverse volte (dall'inizio del file). L'istruzione

```
rewind(cfPtr);
```

fa sì che il puntatore di posizione del file di un programma (il quale indica il numero del byte successivo da leggere o da scrivere nel file) sia riposizionato *all'inizio* (cioè al byte 0) del file puntato da cfPtr. Il puntatore di posizione del file *non* è realmente un puntatore. Piuttosto, è un valore intero che specifica il byte nel file oggetto della successiva lettura o scrittura. Questo è a volte detto *file offset*. Il puntatore di posizione del file è un membro della struttura FILE associata a ogni file.

11.4.2 Programma di interrogazione per il credito

Il programma della Figura 11.7 permette a un gestore del credito di ottenere liste di clienti con saldo zero (ossia clienti non debitori), di clienti con saldo a credito (ossia clienti ai quali l'azienda deve del denaro) e di clienti con saldo a debito (ossia clienti che devono denaro all'azienda per beni e servizi ricevuti). Un saldo a credito è una somma *negativa*; un saldo a debito è una somma *positiva*.

Il programma stampa un menu e permette al gestore del credito di inserire una delle seguenti quattro opzioni:

- l'opzione 1 produce una lista di conti con *saldi zero*,
- l'opzione 2 una lista di conti con *saldi a credito*,
- l'opzione 3 una lista di conti con *saldi a debito*,
- l'opzione 4 termina l'esecuzione del programma.

Un output di esempio è mostrato nella Figura 11.8.

```
1 // Fig. 11.7: fig11_07.c
2 // Programma di interrogazione per il credito
3 #include <stdio.h>
4
5 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
6 int main(void)
7 {
8     FILE *cfPtr; // puntatore al file clients.txt
9
10    // fopen apre il file per la lettura
11    if ((cfPtr = fopen("clients.txt", "r")) == NULL) {
12        puts("File could not be opened");
13    }
14    else {
15
16        // stampa le opzioni di richiesta
17        printf("%s", "Enter request\n"
18               " 1 - List accounts with zero balances\n"
19               " 2 - List accounts with credit balances\n"
20               " 3 - List accounts with debit balances\n"
21               " 4 - End of run\n");
22        unsigned int request; // numero di richiesta
23        scanf("%u", &request);
24
25        // elabora la richiesta dell'utente
26        while (request != 4) {
27            unsigned int account; // numero del conto
28            double balance; // saldo del conto
29            char name[30]; // nome del titolare del conto
30
31            // leggi il numero del conto, il nome e il saldo dal file
32            fscanf(cfPtr, "%d%29s%lf", &account, name, &balance);
33
34            switch (request) {
35                case 1:
36                    puts("\nAccounts with zero balances:");
37
38                    // leggi i contenuti del file (fino a eof)
39                    while (!feof(cfPtr)) {
40                        // scrive solo se balance è 0
41                        if (balance == 0) {
42                            printf("%-10d%-13s%7.2f\n",
43                                   account, name, balance);
44                        }
45
46                    // leggi il numero del conto, il nome e il saldo dal file
47                    fscanf(cfPtr, "%d%29s%lf",
48                           &account, name, &balance);
49            }
50        }
```

```
51         break;
52     case 2:
53         puts("\nAccounts with credit balances:\n");
54
55         // leggi i contenuti del file (fino a eof)
56         while (!feof(cfPtr)) {
57             // scrive solo se balance è minore di 0
58             if (balance < 0) {
59                 printf("%-10d%-13s%7.2f\n",
60                     account, name, balance);
61             }
62
63             // leggi il numero del conto, il nome e il saldo dal file
64             fscanf(cfPtr, "%d%29s%lf",
65                     &account, name, &balance);
66         }
67
68         break;
69     case 3:
70         puts("\nAccounts with debit balances:\n");
71
72         // leggi i contenuti del file (fino a eof)
73         while (!feof(cfPtr)) {
74             // scrive solo se balance è maggiore di 0
75             if (balance > 0) {
76                 printf("%-10d%-13s%7.2f\n",
77                     account, name, balance);
78             }
79
80             // leggi il numero del conto, il nome e il saldo dal file
81             fscanf(cfPtr, "%d%29s%lf",
82                     &account, name, &balance);
83         }
84
85         break;
86     }
87
88     rewind(cfPtr); // riporta cfPtr all'inizio del file
89
90     printf("%s", "\n? ");
91     scanf("%d", &request);
92 }
93
94     puts("End of run.");
95     fclose(cfPtr); // fclose chiude il file
96 }
97 }
```

Figura 11.7 Programma di interrogazione per il credito.

```

Enter request
1 - List accounts with zero balances
2 - List accounts with credit balances
3 - List accounts with debit balances
4 - End of run
? 1

Accounts with zero balances:
300      White      0.00

? 2

Accounts with credit balances:
400      Stone     -42.16

? 3

Accounts with debit balances:
100      Jones     24.98
200      Doe       345.67
500      Rich      224.62

? 4
End of run.

```

Figura 11.8 Esempio di output del programma di interrogazione per il credito della Figura 11.7.

Aggiornamento di un file sequenziale

I dati in questo tipo di file sequenziale non possono essere modificati senza il rischio di distruggere altri dati. Ad esempio, se il nome “White” deve essere cambiato in “Worthington”, il vecchio nome non può semplicemente venire sovrascritto. Il record per White è stato scritto sul file come

300 White 0.00

Se il record verrà riscritto iniziando dalla stessa posizione nel file usando il nuovo nome, il record sarà

300 Worthington 0.00

Il nuovo record è più grande (ha più caratteri) del record originario. I caratteri oltre la seconda “o” in “Worthington” sovraseranno l’inizio del record sequenziale successivo nel file. Il problema qui è che nel modello di input/output formattato con cui vengono usate `fprintf` e `fscanf`, i campi (e di conseguenza i record) possono variare in dimensioni. Ad esempio, i valori 7, 14, -117, 2074 e 27383 sono tutti `int` memorizzati internamente nello stesso numero di byte, ma richiedono campi di dimensioni differenti quando sono stampati sullo schermo o scritti su un file come testo.

Pertanto, l’accesso sequenziale con `fprintf` e `fscanf` non viene solitamente usato per *aggiornare i record sul posto*. Invece, l’intero file viene solitamente *riscritto*. Per effettuare il cambio di nome precedente, i record che vengono prima di 300 White 0.00 in un tale file ad accesso sequenziale verrebbero copiati in un nuovo file, il nuovo record verrebbe quindi scritto al posto di quello originale e i record successivi verrebbero copiati anch’essi nel nuovo file. Questo richiede l’elaborazione di ogni record nel file per aggiornare un record.

11.5 File ad accesso casuale

Come precedentemente affermato, i record in un file creato con la funzione di output formattato `fprintf` non sono necessariamente della stessa lunghezza. Invece, i record individuali che scrivete su e leggete da un file ad accesso casuale sono normalmente *di lunghezza fissa* e vi si può accedere direttamente (e quindi velocemente) senza effettuare ricerche in altri record. Questo rende i file ad accesso casuale adatti per i sistemi di prenotazione delle compagnie aeree, per i sistemi bancari, per i sistemi informatici dei punti vendita e per altri generi di sistemi di elaborazione di transazioni che richiedono l'accesso rapido a dati specifici. Vi sono altri modi per implementare file ad accesso casuale, ma limiteremo la nostra analisi a questo semplice approccio, usando record di lunghezza fissa.

Poiché ogni record in un file ad accesso casuale ha normalmente la stessa lunghezza, la posizione esatta di un record rispetto all'inizio del file può essere calcolata come una funzione della chiave del record. Vedremo presto come ciò facilita l'accesso *immediato* a record specifici anche in file di grandi dimensioni.

La Figura 11.9 illustra un modo per implementare un file ad accesso casuale. Un tale file è come un treno merci con molti vagoni, alcuni vuoti e alcuni con un carico. Ogni vagone del treno ha la stessa lunghezza.

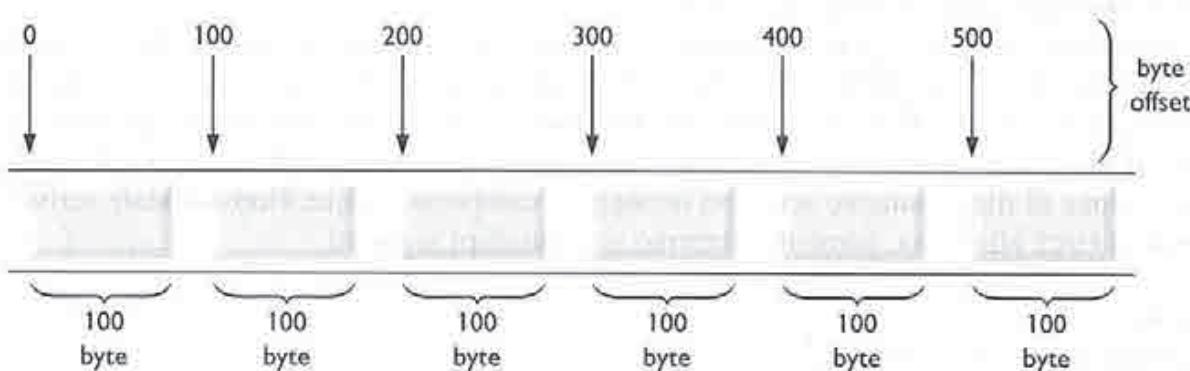


Figura 11.9 Un file ad accesso casuale dal punto di vista del C.

I record di lunghezza fissa permettono di inserire dati in un file ad accesso casuale *senza distruggere altri dati del file*. È anche possibile aggiornare o cancellare i dati memorizzati in precedenza senza riscrivere l'intero file. Nei paragrafi seguenti spiegheremo come

- creare un file ad accesso casuale,
- inserire i dati,
- leggere i dati sia in modo sequenziale che in modo casuale,
- aggiornare i dati e
- cancellare quelli non più necessari.

11.6 Creazione di un file ad accesso casuale

La funzione `fwrite` trasferisce un numero specificato di byte su un file, a cominciare da una data posizione in memoria. I dati sono scritti a iniziare dalla posizione nel file indicata dal puntatore di posizione del file. La funzione `fread` trasferisce un numero specificato di byte dalla posizione nel file specificata dal puntatore di posizione del file a un'area nella memoria, a cominciare da un indirizzo specificato.

Adesso, quando scriviamo un intero, invece di usare

```
fprintf(fPtr, "%d", number);
```

che potrebbe stampare o una singola cifra o anche 11 cifre (10 cifre più un segno, ognuna delle quali richiede 1 byte di memoria) per un intero di quattro byte, possiamo usare

```
fwrite(&number, sizeof(int), 1, fPtr);
```

che scrive *sempre* quattro byte, su un sistema con interi di quattro byte, contenuti in una variabile `number` sul file rappresentato da `fPtr` (descriveremo a breve l'argomento 1). In seguito, `fread` può essere usata per leggere quei quattro byte e memorizzarli in una variabile intera `number`. Sebbene `fread` e `fwrite` leggano e scrivano dati come numeri interi, in una dimensione fissa invece che in un formato di dimensione variabile, i dati che trattano sono elaborati nel formato da computer “raw data” (cioè byte di dati) invece che nel formato testo di `printf` e `scanf` facilmente leggibile dagli esseri umani. Poiché la rappresentazione “raw” (letteralmente “grezza”) dei dati è dipendente dal sistema, i “dati raw” potrebbero non essere leggibili su altri sistemi, o da parte di programmi prodotti da altri compilatori oppure con altre opzioni di compilazione.

fwrite e fread possono scrivere e leggere array

Le funzioni `fwrite` e `fread` possono leggere e scrivere array di dati da e su file. Il terzo argomento sia di `fread` che di `fwrite` è il numero di elementi dell'array che deve essere letto dal disco o scritto sul disco. La precedente chiamata alla funzione `fwrite` scrive un singolo intero su un file, cosicché il terzo argomento è 1 (come se si scrivesse un solo elemento di un array). I programmi di elaborazione di file raramente scrivono un singolo campo su un file. Normalmente scrivono un elemento `struct` alla volta, come mostreremo negli esempi seguenti.

Problema

Considerate il seguente problema:

Create un sistema di elaborazione della transazione in grado di memorizzare fino a 100 record di lunghezza fissa. Ogni record deve consistere in un numero di conto che sarà usato come chiave del record, un cognome, un nome e un saldo. Il programma risultante deve essere in grado di aggiornare un conto, inserire un nuovo record di conto, cancellare un conto ed elencare tutti i record di conto in un file di testo formattato per la stampa. Usate un file ad accesso casuale.

I paragrafi successivi introdurranno le tecniche necessarie per creare il programma di elaborazione della transazione. Il programma della Figura 11.10 mostra come aprire un file ad accesso casuale, come definire un formato di record usando il costrutto `struct`, come scrivere dati sul disco e come chiudere il file. Questo programma inizializza tutti e 100 i record del file “accounts.dat” con elementi `struct` vuoti, usando la funzione `fwrite`. Ogni elemento `struct` vuoto contiene 0 per il numero di conto, “” (la stringa vuota) per il cognome, “” per il nome e 0.0 per il saldo. Il file è inizializzato in questa maniera per riservare lo spazio in cui il file sarà memorizzato e perché sia possibile determinare se un record contiene dati.

```
1 // Fig. 11.10: fig11_10.c
2 // Creazione di un file ad accesso casuale in maniera sequenziale
3 #include <stdio.h>
4
5 // definizione della struttura clientData
```

```
6 struct clientData {
7     unsigned int acctNum; // numero del conto
8     char lastName[15]; // cognome del titolare del conto
9     char firstName[10]; // nome del titolare del conto
10    double balance; // saldo del conto
11 };
12
13 int main(void)
14 {
15     FILE *cfPtr; // puntatore al file accounts.dat
16
17     // fopen apre il file per la scrittura binaria
18     if ((cfPtr = fopen("accounts.dat", "wb")) == NULL) {
19         puts("File could not be opened.");
20     }
21     else {
22         // crea clientData con informazioni predefinite
23         struct clientData blankClient = {0, "", "", 0.0};
24
25         // scrive 100 record vuoti su file
26         for (unsigned int i = 1; i <= 100; ++i) {
27             fwrite(&blankClient, sizeof(struct clientData), 1, cfPtr);
28         }
29
30         fclose (cfPtr); // fclose chiude il file
31     }
32 }
```

Figura 11.10 Creazione di un file ad accesso casuale in maniera sequenziale.

La funzione `fwrite` scrive un blocco di byte su un file. La riga 27 fa sì che la struttura `blankClient` della dimensione `sizeof(struct clientData)` sia scritta sul file puntato da `cfPtr`. L'operatore `sizeof` restituisce la dimensione in byte del suo operando tra parentesi (in questo caso `struct clientData`).

La funzione `fwrite` può in realtà essere usata per scrivere più elementi di un array di oggetti. Per fare ciò, inserite nella chiamata a `fwrite` un puntatore a un array come primo argomento e il numero di elementi da scrivere come terzo argomento. Nell'istruzione precedente `fwrite` viene usata per scrivere un singolo oggetto che non è un elemento di un array. Scrivere un singolo oggetto è equivalente a scrivere un elemento di un array, da qui l'`1` nella chiamata di `fwrite`. [Nota: i programmi delle Figure 11.11, 11.14 e 11.15 usano il file di dati creato nella Figura 11.10, quindi dovete fare eseguire prima il programma di questa figura.]

11.7 Scrittura di dati in maniera casuale su un file ad accesso casuale

La Figura 11.11 scrive dati sul file "accounts.dat". Essa usa la combinazione di `fseek` e `fwrite` per memorizzare dati in posizioni specifiche del file. La funzione `fseek` imposta il puntatore di posizione del file a una posizione specifica nel file, quindi `fwrite` scrive i dati. Un esempio di esecuzione è mostrato nella Figura 11.12.

```
1 // Fig. 11.11: fig11_11.c
2 // Scrittura di dati in maniera casuale su un file ad accesso casuale
3 #include <stdio.h>
4
5 // definizione della struttura clientData
6 struct clientData {
7     unsigned int acctNum; // numero del conto
8     char lastName[15]; // cognome del titolare del conto
9     char firstName[10]; // nome del titolare del conto
10    double balance; // saldo del conto
11}; // fine della struttura clientData
12
13 int main(void)
14 {
15     FILE *cfPtr; // puntatore al file accounts.dat
16
17     // fopen apre il file per l'aggiornamento
18     if ((cfPtr = fopen("accounts.dat", "rb+")) == NULL) {
19         puts("File could not be opened.");
20     }
21     else {
22         // crea un oggetto clientData con informazioni predefinite
23         struct clientData client = {0, "", "", 0.0};
24
25         // richiedi all'utente di specificare il numero di conto
26         printf("%s", "Enter account number"
27               " (1 to 100, 0 to end input): ");
28         scanf("%d", &client.acctNum);
29
30         // l'utente inserisce le informazioni, che vengono copiate sul file
31         while (client.acctNum != 0) {
32             // l'utente inserisce il cognome, il nome e il saldo
33             printf("%s", "\nEnter lastname, firstname, balance: ");
34
35             // imposta il record con il cognome, il nome e il valore del saldo
36             fscanf(stdin, "%14s%9s%lf", client.lastName,
37                     client.firstName, &client.balance);
38
39             // cerca (seek) nel file la posizione del record specificato
40             fseek(cfPtr, (client.acctNum - 1) *
41                   sizeof(struct clientData), SEEK_SET);
42
43             // scrivi le informazioni specificate dall'utente sul file
44             fwrite(&client, sizeof(struct clientData), 1, cfPtr);
45
46             // consenti all'utente di inserire un altro numero di conto
47             printf("%s", "\nEnter account number: ");
48             scanf("%d", &client.acctNum);
49 }
```

```
50      fclose(cfPtr); // fclose chiude il file
51  }
52  }
53 }
```

Figura 11.11 Scrittura di dati in maniera casuale su un file ad accesso casuale.

```
Enter account number (1 to 100, 0 to end input): 37
Enter lastname, firstname, balance: Barker Doug 0.00
Enter account number: 29
Enter lastname, firstname, balance: Brown Nancy -24.54
Enter account number: 96
Enter lastname, firstname, balance: Stone Sam 34.98
Enter account number: 88
Enter lastname, firstname, balance: Smith Dave 258.34
Enter account number: 33
Enter lastname, firstname, balance: Dunn Stacey 314.33
Enter account number: 0
```

Figura 11.12 Esempio di esecuzione del programma della Figura 11.11.

11.7.1 Collocare il puntatore di posizione del file con fseek

Le righe 40–41 collocano il puntatore di posizione del file, per il file a cui cfPtr fa riferimento, nel punto in termini di byte calcolato da (`client.accountNum - 1`) * `sizeof(struct clientData)`. Il valore di questa espressione è chiamato offset o spostamento. Poiché il numero di conto è compreso tra 1 e 100, ma le posizioni dei byte nel file partono da 0, viene sottratto 1 dal numero di conto quando si calcola la posizione del record riferita ai byte. Così, per il record 1, il puntatore di posizione del file è impostato al byte 0 del file. La costante simbolica `SEEK_SET` indica che il puntatore di posizione del file è posizionato secondo il valore di offset riferito all'inizio del file. Come indica l'istruzione riportata sopra, un'operazione di seek per il numero di conto 1 nel file colloca il puntatore di posizione del file all'inizio del file, perché la posizione calcolata in termini di byte è 0.

La Figura 11.13 mostra il puntatore del file che si riferisce a una struttura FILE in memoria. Il puntatore di posizione del file in questo diagramma indica che il byte successivo da leggere o da scrivere si trova dopo 5 byte dall'inizio del file.

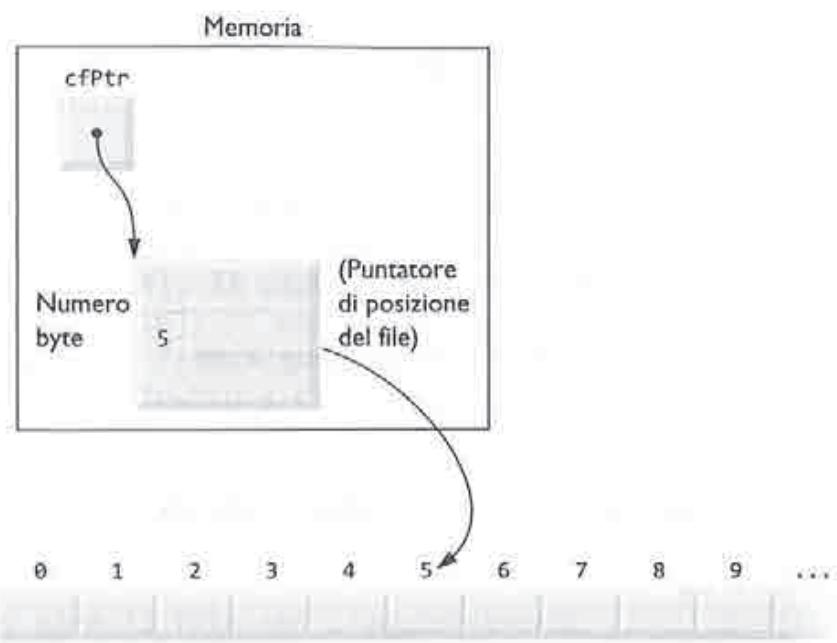


Figura 11.13 Puntatore di posizione del file che indica un offset di 5 byte dall'inizio del file.

Prototipo di funzione fseek

Il prototipo di funzione per fseek è

```
int fseek(FILE *stream, long int offset, int whence);
```

dove offset è il numero di byte di cui ci si deve spostare rispetto a whence nel file puntato da stream (un offset positivo indica uno spostamento in avanti e uno negativo uno spostamento all'indietro). L'argomento whence è uno dei valori SEEK_SET, SEEK_CUR o SEEK_END (tutti definiti in `<stdio.h>`), che indicano la posizione di riferimento per il posizionamento. SEEK_SET indica che il posizionamento è riferito all'*inizio* del file, SEEK_CUR alla *posizione corrente* nel file e SEEK_END alla *fine* del file.

11.7.2 Controllo sugli errori

Per semplicità, i programmi di questo capitolo *non* eseguono alcun controllo sugli errori. I programmi a livello industriale devono determinare se le funzioni come fscanf (Figura 11.11, righe 36–37)), fseek (righe 40–41) e fwrite (riga 44) operano correttamente, controllando i loro valori di ritorno. La funzione fscanf restituisce il numero di dati letti con successo, o il valore EOF se si verifica un problema durante la lettura dei dati. La funzione fseek restituisce un valore diverso da zero se l'operazione di accesso non può essere eseguita (ad esempio, il tentativo di accesso a una posizione prima dell'avvio del file). La funzione fwrite restituisce il numero di elementi che ha inviato in uscita con successo. Se questo numero è minore del *terzo argomento* nella chiamata della funzione, si è verificato un errore di scrittura.

11.8 Lettura di dati da un file ad accesso casuale

La funzione fread legge un numero specificato di byte da un file in memoria. Ad esempio,

```
fread(&client, sizeof(struct clientData), 1, cfPtr);
```

legge il numero di byte determinato da `sizeof(struct clientData)` dal file a cui `cfPtr` fa riferimento, memorizza i dati in `client` e restituisce il numero di elementi letti. I byte vengono letti dalla posizione specificata dal puntatore di posizione del file. È possibile far leggere alla funzione `fread` più elementi di un array di dimensione fissa, fornendo a essa un puntatore all'array nel quale memorizzare gli elementi e indicando il numero di elementi da leggere. L'istruzione precedente legge *un solo* elemento. Per leggerne *più di uno*, specificate il numero di elementi come terzo argomento di `fread`. La funzione `fread` restituisce il numero di elementi letti con successo. Se questo numero è minore del terzo argomento nella chiamata della funzione, allora si è verificato un errore di lettura.

La Figura 11.14 legge in maniera sequenziale ogni record nel file "accounts.dat", determina se ogni record contiene dati e stampa i dati formattati per i record contenenti dati. La funzione `feof` determina quando viene raggiunta la fine del file e la funzione `fread` trasferisce dati dal file alla struttura `clientData` `client`.

```
1 // Fig. 11.14: fig11_14.c
2 // Lettura sequenziale di un file ad accesso casuale
3 #include <stdio.h>
4
5 // definizione della struttura clientData
6 struct clientData {
7     unsigned int acctNum; // numero del conto
8     char lastName[15]; // cognome del titolare del conto
9     char firstName[10]; // nome del titolare del conto
10    double balance; // saldo del conto
11 };
12
13 int main(void)
14 {
15     FILE *cfPtr; // puntatore al file accounts.dat
16
17     // fopen apre il file per la lettura binaria
18     if ((cfPtr = fopen("accounts.dat", "rb")) == NULL) {
19         puts("File could not be opened.");
20     }
21     else {
22         printf("%-6s%-16s%-11s%10s\n", "Acct", "Last Name",
23                "First Name", "Balance");
24
25         // leggi tutti i record dal file (fino a eof)
26         while (!feof(cfPtr)) {
27             // crea clientData con informazioni predefinite
28             struct clientData client = {0, "", "", 0.0};
29
30             int result = fread(&client, sizeof(struct clientData), 1, cfPtr);
31
32             // stampa il record
33             if (result != 0 && client.acctNum != 0) {
34                 printf("%-6d%-16s%-11s%10.2f\n",
35                        client.acctNum, client.lastName,
36                        client.firstName, client.balance);
37         }
38     }
39 }
```

```

37         }
38     }
39
40     fclose(cfPtr); // fclose chiude il file
41 }
42 }
```

Acct	Last Name	First Name	Balance
29	Brown	Nancy	-24.54
33	Dunn	Stacey	314.33
37	Barker	Doug	0.00
88	Smith	Dave	258.34
96	Stone	Sam	34.98

Figura 11.14 Lettura sequenziale di un file ad accesso casuale.

11.9 Caso pratico: programma per l’elaborazione di transazioni

Ora presentiamo un programma di una certa complessità per l’elaborazione di transazioni (Figura 11.15) con l’uso di file ad accesso casuale. Il programma gestisce le informazioni relative ai conti correnti di una banca, aggiornando i conti esistenti, aggiungendo nuovi conti, cancellando conti e memorizzando un elenco di tutti i conti correnti in un file di testo per la stampa. Supponiamo che sia stato eseguito il programma che crea il file accounts.dat della Figura 11.10.

Opzione 1: Creare un elenco formattato di account

Il programma che presentiamo ha cinque opzioni. L’opzione 1 chiama la funzione `textFile` (righe 64–94) per memorizzare una lista formattata di tutti i conti (detta tipicamente `report`) in un file di testo con nome `accounts.txt` che può essere stampato in seguito. La funzione usa `fread` e le tecniche sequenziali di accesso a file utilizzate nel programma della Figura 11.14. Dopo l’opzione 1, il file `accounts.txt` contiene:

Acct	Last Name	First Name	Balance
29	Brown	Nancy	-24.54
33	Dunn	Stacey	314.33
37	Barker	Doug	0.00
88	Smith	Dave	258.34
96	Stone	Sam	34.98

Opzione 2: Aggiornare un account

L’opzione 2 chiama la funzione `updateRecord` (righe 97–140) per aggiornare un conto. La funzione aggiorna solo un record che esiste già, per cui la funzione dapprima controlla se il record specificato dall’utente è vuoto. Il record viene letto nella struttura `client` con `fread`, quindi il membro `acctNum` viene confrontato con 0. Se è 0, il record non contiene informazioni, per cui viene stampato un messaggio che dice che il record è vuoto. Poi viene stampato il menu con le sue scelte. Se il record contiene informazioni, la funzione `updateRecord` legge in ingresso l’ammontare della transazione, calcola il nuovo saldo e riscrive il record sul file. Un output tipico per l’opzione 2 è:

```
Enter account to update (1 - 100): 37
37 Barker Doug 0.00
Enter charge (+) or payment (-): +87.99
37 Barker Doug 87.99
```

Opzione 3: Creare un nuovo account

L'opzione 3 chiama la funzione newRecord (righe 177–215) per aggiungere un nuovo conto al file. Se l'utente inserisce un numero di conto di un conto esistente, newRecord stampa un messaggio di errore che indica che il record contiene già informazioni e vengono quindi ristampate le scelte del menu. Per aggiungere un nuovo conto, questa funzione usa lo stesso processo del programma nella Figura 11.11. Un output tipico per l'opzione 3 è

```
Enter new account number (1 - 100): 22
Enter lastname, firstname, balance
? Johnston Sarah 247.45
```

Opzione 4: Eliminare un account

L'opzione 4 chiama la funzione deleteRecord (righe 143–174) per cancellare un record dal file. La cancellazione è effettuata chiedendo all'utente il numero del conto e reinizializzando il record. Se il conto non contiene informazioni, deleteRecord stampa un messaggio di errore che indica che il conto non esiste.

Codice del programma per l'elaborazione della transazione

Il programma è mostrato nella Figura 11.15. Il file "accounts.dat" viene aperto per l'aggiornamento (lettura e scrittura) usando la modalità "rb+".

```
1 // Fig. 11.15: fig11_15.c
2 // Il programma per l'elaborazione della transazione legge sequenzialmente
3 // un file ad accesso casuale, aggiorna i dati già scritti sul file,
4 // crea nuovi dati da inserire nel file e cancella dati dal file.
5 #include <stdio.h>
6
7 // definizione della struttura clientData
8 struct clientData {
9     unsigned int acctNum; // numero di conto
10    char lastName[15]; // cognome del titolare del conto
11    char firstName[10]; // nome del titolare del conto
12    double balance; // saldo del conto
13 };
14
15 // prototipi
16 unsigned int enterChoice(void);
17 void textFile(FILE *readPtr);
18 void updateRecord(FILE *fPtr);
19 void newRecord(FILE *fPtr);
20 void deleteRecord(FILE *fPtr);
21
```

```
22 int main(void)
23 {
24     FILE *cfPtr; // puntatore al file accounts.dat
25
26     // fopen apre il file per l'aggiornamento
27     if ((cfPtr = fopen("accounts.dat", "rb+")) == NULL) {
28         puts("File could not be opened.");
29     }
30     else {
31         unsigned int choice; // scelta dell'utente
32
33         // consente all'utente di specificare l'azione
34         while ((choice = enterChoice()) != 5) {
35             switch (choice) {
36                 // crea un file di testo dal file di record
37                 case 1:
38                     textField(cfPtr);
39                     break;
40                     // aggiorna un record
41                 case 2:
42                     updateRecord(cfPtr);
43                     break;
44                     // crea un record
45                 case 3:
46                     newRecord(cfPtr);
47                     break;
48                     // cancella un record esistente
49                 case 4:
50                     deleteRecord(cfPtr);
51                     break;
52                     // stampa un messaggio per una scelta non valida
53                 default:
54                     puts("Incorrect choice");
55                     break;
56             }
57         }
58
59         fclose(cfPtr); // fclose chiude il file
60     }
61 }
62
63 // crea un file di testo formattato per la stampa
64 void textField(FILE *readPtr)
65 {
66     FILE *writePtr; // puntatore al file accounts.txt
67
68     // fopen apre il file di testo per la scrittura
69     if ((writePtr = fopen("accounts.txt", "w")) == NULL) {
70         puts("File could not be opened.");
71     }
```

```
72     else {
73         rewind(readPtr); // sposta il puntatore all'inizio del file
74         fprintf(writePtr, "%-6s%-16s%-11s%10s\n",
75                 "Acct", "Last Name", "First Name", "Balance");
76
77         // copia tutti i record sul file di testo
78         while (!feof(readPtr)) {
79             // crea un oggetto clientData con informazioni predefinite
80             struct clientData client = { 0, "", "", 0.0 };
81             int result =
82                 fread(&client, sizeof(struct clientData), 1, readPtr);
83
84             // scrivi un singolo record sul file di testo
85             if (result != 0 && client.acctNum != 0) {
86                 fprintf(writePtr, "%-6d%-16s%-11s%10.2f\n",
87                         client.acctNum, client.lastName,
88                         client.firstName, client.balance);
89             }
90         }
91
92         fclose(writePtr); // fclose chiude il file
93     }
94 }
95
96 // aggiorna il saldo in un record
97 void updateRecord(FILE *fPtr)
98 {
99     // ottieni il numero di conto da aggiornare
100    printf("%s", "Enter account to update (1 - 100): ");
101    unsigned int account; // numero del conto
102    scanf("%d", &account);
103
104    // sposta il puntatore del file al record corretto nel file
105    fseek(fPtr, (account - 1) * sizeof(struct clientData),
106          SEEK_SET);
107
108    // crea un oggetto clientData senza informazioni
109    struct clientData client = {0, "", "", 0.0};
110
111    // leggi il record dal file
112    fread(&client, sizeof(struct clientData), 1, fPtr);
113
114    // stampa un messaggio di errore se il conto non esiste
115    if (client.acctNum == 0) {
116        printf("Account # %d has no information.\n", account);
117    }
118    else { // aggiorna il record
119        printf("%-6d%-16s%-11s%10.2f\n\n",
120               client.acctNum, client.lastName,
121               client.firstName, client.balance);
```

```
122 // richiedi l'ammontare della transazione all'utente
123 printf("%s", "Enter charge (+) or payment (-): ");
124 double transaction; // ammontare della transazione
125 scanf("%lf", &transaction);
126 client.balance += transaction; // aggiorna il saldo del record
127
128 printf("%-6d%-16s%-11s%10.2f\n",
129     client.acctNum, client.lastName,
130     client.firstName, client.balance);
131
132 // sposta il puntatore del file al record corretto nel file
133 fseek(fPtr, (account - 1) * sizeof(struct clientData),
134     SEEK_SET);
135
136 // scrivi il record aggiornato al posto del vecchio record nel file
137 fwrite(&client, sizeof(struct clientData), 1, fPtr);
138
139 }
140 }
141
142 // cancella un record esistente
143 void deleteRecord(FILE *fPtr)
144 {
145     // ottieni il numero del conto da cancellare
146     printf("%s", "Enter account number to delete (1 - 100): ");
147     unsigned int accountNum; // numero del conto
148     scanf("%d", &accountNum);
149
150     // sposta il puntatore del file al record corretto nel file
151     fseek(fPtr, (accountNum - 1) * sizeof(struct clientData),
152         SEEK_SET);
153
154     struct clientData client; // memorizza il record letto dal file
155
156     // leggi il record dal file
157     fread(&client, sizeof(struct clientData), 1, fPtr);
158
159     // stampa un messaggio di errore se il record non esiste
160     if (client.acctNum == 0) {
161         printf("Account %d does not exist.\n", accountNum);
162     }
163     else { // cancella il record
164         // sposta il puntatore del file al record corretto nel file
165         fseek(fPtr, (accountNum - 1) * sizeof(struct clientData),
166             SEEK_SET);
167
168         struct clientData blankClient = {0, "", "", 0}; // cliente vuoto
169
170         // sostituisci il record esistente con il record vuoto
171         fwrite(&blankClient,
172             sizeof(struct clientData), 1, fPtr);
```

```
173     }
174 }
175
176 // crea e inserisci un record
177 void newRecord(FILE *fPtr)
178 {
179     // ottieni il numero del conto da creare
180     printf("%s", "Enter new account number (1 - 100): ");
181     unsigned int accountNum; // numero del conto
182     scanf("%d", &accountNum);
183
184     // sposta il puntatore del file al record corretto nel file
185     fseek(fPtr, (accountNum - 1) * sizeof(struct clientData),
186           SEEK_SET);
187
188     // crea clientData con informazioni predefinite
189     struct clientData client = {0, "", "", 0.0};
190
191     // leggi il record dal file
192     fread(&client, sizeof(struct clientData), 1, fPtr);
193
194     // stampa un messaggio di errore se il conto esiste già
195     if (client.acctNum != 0) {
196         printf("Account #%d already contains information.\n",
197               client.acctNum);
198     }
199     else { // crea il record
200         // l'utente inserisce il cognome, il nome e il saldo
201         printf("%s", "Enter lastname, firstname, balance\n? ");
202         scanf("%14s%9s%lf", &client.lastName, &client.firstName,
203               &client.balance);
204
205         client.acctNum = accountNum;
206
207         // sposta il puntatore del file al record corretto nel file
208         fseek(fPtr, (client.acctNum - 1) *
209               sizeof(struct clientData), SEEK_SET);
210
211         // inserisci il record nel file
212         fwrite(&client,
213               sizeof(struct clientData), 1, fPtr);
214     }
215 }
216
217 // consenti all'utente di inserire la scelta del menu
218 unsigned int enterChoice(void)
219 {
220     // stampa le opzioni disponibili
221     printf("%s", "\nEnter your choice\n"
222           "1 - store a formatted text file of accounts called\n"
```

```

223     "1 - \"accounts.txt\" for printing\n"
224     "2 - update an account\n"
225     "3 - add a new account\n"
226     "4 - delete an account\n"
227     "5 - end program\n? ");
228
229     unsigned int menuChoice; // scelta dell'utente
230     scanf("%u", &menuChoice); // ricevi la scelta dall'utente
231     return menuChoice;
232 }
```

Figura 11.15 Programma per la gestione di conti bancari.

11.10 Programmazione sicura in C

fprintf_s e fscanf_s

Gli esempi nei Paragrafi 11.3 e 11.4 usano le funzioni `fprintf` e `fscanf`, rispettivamente, per scrivere un testo su file e leggere un testo da file. L'Annex K del nuovo standard fornisce versioni più sicure di queste funzioni denominate `fprintf_s` e `fscanf_s` che sono identiche alle funzioni `printf_s` e `scanf_s` introdotte precedentemente, solo che richiedono anche la specifica di un argomento puntatore a `FILE` che indica il file da manipolare. Se le librerie standard del vostro compilatore C comprendono queste funzioni, vi conviene usarle al posto di `fprintf` e `fscanf`. Come con `scanf_s` e `printf_s`, le versioni di Microsoft di `fprintf` e `fscanf` differiscono da quelle nell'Annex K.

Capitolo 9 del CERT Secure C Coding Standard

Il Capitolo 9 del *CERT Secure C Coding Standard* è dedicato alle raccomandazioni e alle regole per input/output. Molte riguardano l'elaborazione di file in generale e diverse riguardano le funzioni di elaborazione di file presentate in questo capitolo. Per maggiori informazioni, visitate il sito www.securecoding.cert.org.

- FIO03-C. Quando si apre un file per scrivere, usando le modalità non esclusive di apertura del file (Figura 11.5), se il file esiste la funzione `fopen` lo apre ed elimina i suoi contenuti, senza fornire indicazioni riguardo all'esistenza del file prima della chiamata di `fopen`. Per assicurarsi che un file esistente *non* sarà aperto ed eliminato, si può usare la nuova *modalità esclusiva* del C11 (esaminata nel Paragrafo 11.3), che permette a `fopen` di aprire il file *solo* se *non* esiste già.
- FIO04-C. Nel codice sviluppato a livello industriale bisogna sempre controllare i valori di ritorno delle funzioni di elaborazione di file che restituiscono indicatori di errore, così da assicurarsi che le funzioni eseguano i loro compiti correttamente.
- FIO07-C. La funzione `rewind` non restituisce valori, pertanto non si può verificare se l'operazione sia riuscita. Si raccomanda, invece, di usare la funzione `fseek`, perché questa, se fallisce, restituisce un valore diverso da zero.
- FIO09-C. In questo capitolo abbiamo illustrato sia i file di testo che i file binari. Per via di differenze nelle rappresentazioni di dati binari su diverse piattaforme, spesso i file scritti in formato binario *non* sono portabili. Per rappresentazioni di file più portabili, prendete in considerazione l'uso di file di testo o di una libreria di funzioni in grado di gestire le differenze nelle rappresentazioni di file binari su diverse piattaforme.

- FIO14-C. Alcune funzioni di libreria non operano in maniera identica sui file di testo e sui file binari. In particolare, *non* si è sicuri che la funzione `fseek` lavori correttamente con i file binari se si specifica `SEEK_END`, pertanto è preferibile usare `SEEK_SET`.
- FIO42-C. Su molte piattaforme è possibile avere solo un numero limitato di file aperti contemporaneamente. Per questa ragione, occorre sempre chiudere un file non appena esso non è più necessario per il proprio programma.

Riepilogo

Paragrafo 11.1 Introduzione

- I file sono usati per la memorizzazione permanente di grandi quantità di dati.
- I computer memorizzano i file su dispositivi di memoria secondaria, come dischi fissi, unità allo stato solido, unità flash e DVD.

Paragrafo 11.2 File e stream

- Il C vede ciascun file come uno stream sequenziale di byte. Quando un file viene aperto, a esso viene associato uno stream.
- Tre stream vengono aperti automaticamente quando inizia l'esecuzione di un programma: lo standard input, lo standard output e lo standard error.
- Gli stream forniscono canali di comunicazione tra file e programmi.
- Lo stream standard input permette a un programma di leggere dati dalla tastiera, mentre lo stream standard output permette di stampare dati sullo schermo.
- L'apertura di un file restituisce un puntatore a una struttura `FILE` (definita in `<stdio.h>`) contenente informazioni utilizzate per elaborare il file. Questa struttura include un descrittore di file, cioè un indice per un array del sistema operativo, chiamato tabella dei file aperti. Ogni elemento dell'array contiene un blocco di controllo del file (FCB) che il sistema operativo usa per amministrare un particolare file.
- Lo standard input, lo standard output e lo standard error vengono manipolati usando i puntatori a file `stdin`, `stdout` e `stderr`.
- La funzione `fgetc` legge un carattere da un file. Essa riceve come argomento un puntatore a `FILE` per il file da cui verrà letto un carattere.
- La funzione `fputc` scrive un carattere su un file. Essa riceve come argomento un carattere da scrivere e un puntatore al file su cui verrà scritto il carattere.
- Le funzioni `fgets` e `fputs`, rispettivamente, leggono una riga da un file e scrivono una riga su un file.

Paragrafo 11.3 Creazione di un file ad accesso sequenziale

- Il C non assegna alcuna struttura a un file. È necessario specificare esplicitamente una struttura per un file per soddisfare le esigenze di una particolare applicazione.
- Un programma in C amministra ogni file con una struttura di tipo `FILE` separata.
- Ogni file aperto deve avere un puntatore a un tipo `FILE` dichiarato separatamente, che viene usato come riferimento al file.
- La funzione `fopen` riceve come argomenti un nome di file e una modalità di apertura del file e restituisce un puntatore alla struttura `FILE` per il file aperto.

- La modalità di apertura del file "w" indica che il file deve essere aperto per la scrittura. Se il file non esiste, fopen lo crea. Se il file esiste, i contenuti sono eliminati senza avvertimento.
- Se non è in grado di aprire un file, la funzione fopen restituisce NULL.
- La funzione feof riceve un puntatore a un FILE e restituisce un valore diverso da zero (vero) quando trova impostato l'indicatore di end-of-file; diversamente, la funzione restituisce zero. Ogni tentativo di lettura da un file per il quale feof restituisce vero fallirà.
- La funzione fprintf è equivalente a printf, solo che fprintf riceve anche come argomento un puntatore a file per il file su cui saranno scritti i dati.
- La funzione fclose riceve come argomento un puntatore a file e chiude il file specificato.
- Quando viene aperto un file, il blocco di controllo del file (FCB) per il file viene copiato nella memoria. Il FCB è usato dal sistema operativo per amministrare il file.
- Per creare un nuovo file, o per eliminarne i contenuti prima di scrivere dati, aprite il file per la scrittura ("w").
- Per leggere un file esistente, apritelo per la lettura ("r").
- Per aggiungere record alla fine di un file esistente, aprite il file in modalità *append* ("a").
- Per aprire un file così da poterci scrivere e leggere, apritelo per aggiornarlo in una delle tre modalità di aggiornamento: "r+", "w+" o "a+". La modalità "r+" apre un file per la lettura e la scrittura. La modalità "w+" crea un file per la lettura e la scrittura. Se il file esiste già, esso viene aperto e i suoi contenuti vengono eliminati. La modalità "a+" apre un file per la lettura e la scrittura. Tutta la scrittura è effettuata alla fine del file. Se il file non esiste, viene creato.
- Ogni modalità di apertura di un file ha una modalità binaria corrispondente (contenente la lettera b) per manipolare i file binari.
- Il C11 supporta anche la modalità esclusiva di scrittura, che si specifica aggiungendo x alle modalità w, w+, wb e wb+.

Paragrafo 11.4 Lettura di dati da un file ad accesso sequenziale

- La funzione fscanf è equivalente alla funzione scanf, solo che fscanf riceve anche come argomento un puntatore a file per il file da cui si leggono i dati.
- Per recuperare dati da un file in maniera sequenziale, un programma normalmente comincia la lettura dall'inizio del file e legge tutti i dati consecutivamente finché non trova quelli desiderati.
- La funzione rewind fa sì che il puntatore di posizione del file in un programma sia riposizionato all'inizio del file (cioè al byte 0) puntato dal suo argomento.
- Il puntatore di posizione del file è un valore intero che specifica la posizione espressa in byte nel file oggetto della successiva lettura o scrittura. Questo è a volte detto offset del file. Il puntatore di posizione del file è un membro della struttura FILE associata a ogni file.
- I dati di un file sequenziale non possono essere modificati senza il rischio di distruggere altri dati del file.

Paragrafo 11.5 File ad accesso casuale

- I record individuali di un file ad accesso casuale sono normalmente di lunghezza fissa e vi si può accedere direttamente (e quindi rapidamente) senza effettuare ricerche in altri record.
- Poiché ogni record in un file ad accesso casuale ha normalmente la stessa lunghezza, la posizione esatta di un record rispetto all'inizio del file può essere calcolata come una funzione della chiave del record.

- I record di lunghezza fissa permettono di inserire dati in un file ad accesso casuale senza distruggere altri dati. I dati memorizzati in precedenza possono anche essere aggiornati o cancellati senza riscrivere l'intero file.

Paragrafo 11.6 Creazione di un file ad accesso casuale

- La funzione `fwrite` trasferisce un numero specificato di byte su un file, iniziando da una posizione specificata in memoria.
- La funzione `fread` trasferisce un numero specificato di byte dalla posizione nel file specificata dal puntatore di posizione del file a un'area in memoria che inizia con un indirizzo specificato.
- Le funzioni `fread` e `fwrite` possono leggere e scrivere array di dati da e su file. Il terzo argomento sia di `fread` che di `fwrite` è il numero di elementi da elaborare.
- I programmi di elaborazione di file scrivono normalmente un elemento `struct` alla volta.
- La funzione `fwrite` scrive un blocco (numero specifico di byte) di dati su un file.
- Per scrivere diversi elementi di un array, specificate nella chiamata a `fwrite` un puntatore a un array come primo argomento e il numero di elementi da scrivere come terzo argomento.

Paragrafo 11.7 Scrittura di dati in maniera casuale su un file ad accesso casuale

- La funzione `fseek` imposta il puntatore di posizione di un dato file a una posizione specifica nel file. Il suo secondo argomento indica il numero di byte di cui spostarsi e il suo terzo argomento indica la posizione di riferimento. Il terzo argomento può avere uno di tre valori: `SEEK_SET`, `SEEK_CUR` o `SEEK_END` (tutti definiti in `<stdio.h>`). `SEEK_SET` indica che il riferimento per l'accesso ai dati è l'inizio del file, `SEEK_CUR` indica che è la posizione corrente nel file e `SEEK_END` indica che è la fine del file.
- I programmi realizzati a livello industriale devono determinare se le funzioni come `fscanf`, `fseek` e `fwrite` operano correttamente controllando i loro valori di ritorno.
- La funzione `fscanf` restituisce il numero di campi letti con successo o il valore `EOF` se si verifica un problema durante la lettura dei dati.
- La funzione `fseek` restituisce un valore diverso da zero se l'operazione non può essere eseguita.
- La funzione `fwrite` restituisce il numero di elementi che ha inviato in uscita con successo. Se questo numero è minore del terzo argomento nella chiamata della funzione, vuol dire che si è verificato un errore.

Paragrafo 11.8 Lettura di dati da un file ad accesso casuale

- La funzione `fread` legge un numero specificato di byte da un file nella memoria.
- La funzione `fread` può essere usata per leggere diversi elementi di un array di lunghezza fissa, fornendo a essa un puntatore all'array nel quale saranno memorizzati gli elementi e indicando il numero di elementi da leggere.
- La funzione `fread` restituisce il numero di elementi che ha letto con successo. Se questo numero è minore del terzo argomento nella chiamata della funzione, si è verificato un errore di lettura.

Esercizi di autovalutazione

- 11.1** Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti asserzioni:
- La funzione _____ chiude un file.
 - La funzione _____ legge i dati da un file in un modo simile a come `scanf` legge i dati da `stdin`.
 - La funzione _____ legge un carattere da un file specificato.
 - La funzione _____ legge una riga da un file specificato.
 - La funzione _____ apre un file.
 - La funzione _____ è usata normalmente quando si leggono dati da un file in applicazioni che richiedono l'accesso casuale.
 - La funzione _____ ricolloca il puntatore di posizione del file in un punto specifico del file.
- 11.2** Stabilite quali delle seguenti affermazioni sono *vere* e quali *false*. Se *false*, spiegate perché.
- La funzione `fscanf` non può essere usata per leggere dati dallo standard input.
 - Si deve esplicitamente usare `fopen` per aprire gli stream standard input, standard output e standard error.
 - Un programma deve chiamare esplicitamente la funzione `fclose` per chiudere un file.
 - Se il puntatore di posizione del file punta a una posizione in un file sequenziale diversa dall'inizio del file, il file deve essere chiuso e riaperto per leggerlo dall'inizio.
 - La funzione `fprintf` può scrivere sullo standard output.
 - I dati nei file ad accesso sequenziale vengono sempre aggiornati senza sovrascrivere altri dati.
 - Non è necessario esaminare tutti i record in un file ad accesso casuale per trovare un record specifico.
 - I record nei file ad accesso casuale non sono di lunghezza uniforme.
 - La funzione `fseek` può solo avere come riferimento l'inizio di un file.
- 11.3** Scrivete una singola istruzione per effettuare ognuna delle seguenti operazioni. Supponete che ciascuna di queste istruzioni si riferisca allo stesso programma.
- Scrivete un'istruzione che apra il file "oldmast.dat" per la lettura e assegni a `ofPtr` il puntatore a file restituito.
 - Scrivete un'istruzione che apra il file "trans.dat" per la lettura e assegni a `tfPtr` il puntatore a file restituito.
 - Scrivete un'istruzione che apra il file "newmast.dat" per la scrittura (e la creazione) e assegni a `nfPtr` il puntatore a file restituito.
 - Scrivete un'istruzione che legga un record dal file "oldmast.dat". Il record consiste nell'intero `accountNum`, nella stringa `name` e nel valore in virgola mobile `currentBalance`.
 - Scrivete un'istruzione che legga un record dal file "trans.dat". Il record consiste nell'intero `accountNum` e nel valore in virgola mobile `dollarAmount`.
 - Scrivete un'istruzione che scriva un record sul file "newmast.dat". Il record consiste nell'intero `accountNum`, nella stringa `name` e nel valore in virgola mobile `currentBalance`.
- 11.4** Trovate l'errore in ognuno dei seguenti segmenti di programma e spiegate come correggerlo.
- Il file a cui `fPtr` fa riferimento ("payables.dat") non è stato aperto.

```
printf(fPtr, "%d%s%d\n", account, company, amount);
```

- b) `open("receive.dat", "r+");`
- c) L'istruzione seguente deve leggere un record dal file "payables.dat". Il puntatore a file payPtr fa riferimento a questo file e il puntatore a file recPtr fa riferimento al file "receive.dat":
`scanf(recPtr, "%d%s%d\n", &account, company, &amount);`
- d) Il file "tools.dat" deve essere aperto per aggiungervi dati senza eliminare quelli correnti.
`if ((tfPtr = fopen("tools.dat", "w")) != NULL)`
- e) Il file "courses.dat" deve essere aperto in modalità *append* senza modificarne i contenuti correnti.
`if ((cfPtr = fopen("courses.dat", "w+")) != NULL)`

Risposte agli esercizi di autovalutazione

- 11.1** a) `fclose`. b) `fscanf`. c) `fgetc`. d) `fgets`. e) `fopen`. f) `fread`. g) `fseek`.
- 11.2** a) Falso. La funzione `fscanf` può essere usata per leggere dallo standard input includendo il puntatore allo stream standard input, `stdin`, nella sua chiamata.
- b) Falso. Questi tre stream sono aperti automaticamente dal C quando inizia l'esecuzione del programma.
- c) Falso. I file verranno chiusi quando l'esecuzione del programma terminerà, ma tutti i file vanno esplicitamente chiusi con `fclose`.
- d) Falso. È possibile usare la funzione `rewind` per ricollocare il puntatore di posizione del file all'inizio del file.
- e) Vero.
- f) Falso. Nella più parte dei casi, i record di file sequenziali non sono di lunghezza uniforme. Pertanto, è possibile che l'aggiornamento di un record porti a sovrascrivere altri dati.
- g) Vero.
- h) Falso. I record in un file ad accesso casuale sono normalmente di lunghezza uniforme.
- i) Falso. È possibile avere come riferimento l'inizio del file, la fine del file o la posizione corrente nel file.
- 11.3** a) `ofPtr = fopen("oldmast.dat", "r");`
- b) `tfPtr = fopen("trans.dat", "r");`
- c) `nfPtr = fopen("newmast.dat", "w");`
- d) `fscanf(ofPtr, "%d%s%f", &accountNum, name, ¤tBalance);`
- e) `fscanf(tfPtr, "%d%f", &accountNum, &dollarAmount);`
- f) `fprintf(nfPtr, "%d %s %.2f", accountNum, name, currentBalance);`
- 11.4** a) Errore: il file "payables.dat" non è stato aperto prima che si faccia riferimento al suo puntatore a file.
 Correzione: usate `fopen` per aprire "payables.dat" per la scrittura, l'aggiunta di dati in coda e l'aggiornamento.
- b) Errore: la funzione `open` non è una funzione del C standard.
 Correzione: usate la funzione `fopen`.
- c) Errore: la funzione `scanf` deve essere `fscanf`. La funzione `fscanf` usa il puntatore a file sbagliato per fare riferimento al file "payables.dat".
 Correzione: usate il puntatore a file `payPtr` per fare riferimento a "payables.dat" e usare `fscanf`.

- d) Errore: i contenuti del file "tools.dat" vengono eliminati perché il file viene aperto in scrittura ("w").
 Correzione: per aggiungere dati al file, aprite il file o per l'aggiornamento ("r+") o in modalità *append* ("a" o "a+").
- e) Errore: il file "courses.dat" viene aperto per l'aggiornamento in modalità "w+", che elimina i contenuti correnti del file.
 Correzione: aprite il file in modalità "a" o "a+".

Esercizi

11.5 Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti asserzioni:

- a) I computer memorizzano grandi quantità di dati su dispositivi secondari di memoria come _____.
- b) Un _____ è composto da diversi campi.
- c) Per facilitare il recupero di record specifici da un file, un campo in ogni record viene scelto come _____.
- d) Un gruppo di caratteri collegati che trasmette un significato è chiamato _____.
- e) I puntatori a file per i tre stream che vengono aperti automaticamente quando inizia l'esecuzione di un programma sono denominati _____, _____ e _____.
- f) La funzione _____ scrive un carattere su un file specificato.
- g) La funzione _____ scrive una riga su un file specificato.
- h) La funzione _____ è usata generalmente per scrivere dati su un file ad accesso casuale.
- i) La funzione _____ ricolloca il puntatore di posizione del file all'inizio del file.

11.6 Stabilite quali delle seguenti affermazioni sono *vere* e quali *false*. Se *false*, spiegate perché.

- a) Le straordinarie funzioni realizzate dai computer riguardano essenzialmente la manipolazione di zeri e uni.
- b) Le persone preferiscono manipolare bit invece di caratteri e campi, perché i bit sono più compatti.
- c) Le persone specificano i programmi e i dati usando caratteri; i computer, quindi, manipolano ed elaborano questi caratteri come gruppi di zeri e uni.
- d) Il codice postale di una persona è un esempio di campo numerico.
- e) I dati elaborati da un computer formano una gerarchia di dati in cui i dati diventano di maggiori dimensioni e più complessi man mano che si passa dai campi ai caratteri, ai bit, e così via.
- f) La maggior parte delle aziende memorizza le proprie informazioni in un singolo file per facilitare l'elaborazione da parte di un computer.
- g) Nei programmi in C si fa sempre riferimento ai file con un nome.
- h) Quando un programma crea un file, questo viene automaticamente conservato dal computer per riferimenti futuri.

11.7 (*Creazione di dati per un programma di confronto di file*) Scrivete un semplice programma per creare alcuni dati di test per verificare il programma dell'Esercizio 11.8. Usate il seguente campione di dati relativi a conti di clienti:

File principale:			
Numero di conto	Nome	Saldo	
100	Alan Jones	348.17	
300	Mary Smith	27.19	
500	Sam Sharp	0.00	
700	Suzy Green	-14.22	

File delle transazioni:	
Numero di conto	Ammontare in dollari
100	27.14
300	62.11
400	100.56
900	82.17

11.8 (*Confronto di file*) L'Esercizio 11.3 chiedeva al lettore di scrivere una serie di istruzioni singole. In realtà, queste istruzioni formano il nucleo di un importante tipo di programma di elaborazione di file, vale a dire un programma di confronto di file. Nell'elaborazione di dati commerciali è comune avere sistemi con diversi file. In un sistema di contabilità dei clienti, ad esempio, vi è generalmente un file principale contenente informazioni dettagliate su ogni cliente, come il nome del cliente, l'indirizzo, il numero di telefono, il saldo scoperto, il limite di credito, i termini dello sconto, gli accordi di contratto e possibilmente una sintesi dei recenti acquisti e pagamenti in contanti.

Quando avvengono delle transazioni (cioè si effettuano vendite e si ricevono pagamenti in contanti), queste sono inserite in un file. Alla fine di ogni periodo di attività (cioè un mese per alcune aziende, una settimana per altre e un giorno in alcuni casi), il file delle transazioni (chiamato "trans.dat" nell'Esercizio 11.3) viene confrontato con il file principale (chiamato "oldmast.dat" nell'Esercizio 11.3), per aggiornare così ogni record di conto riguardo agli acquisti e ai pagamenti. Dopo l'esecuzione di ognuno di questi aggiornamenti, il file principale viene riscritto come nuovo file ("newmast.dat"), che viene poi usato nel successivo periodo di attività per il nuovo processo di aggiornamento.

I programmi di confronto di file devono avere a che fare con certi problemi che non esistono nei programmi con file singoli. Ad esempio, con i file singoli non si ha mai un confronto di file. Un cliente sul file principale potrebbe non aver fatto acquisti o pagamenti in contanti nel periodo corrente di attività e pertanto non comparirà alcun record sul file delle transazioni per questo cliente. Analogamente, un cliente che ha fatto alcuni acquisti o pagamenti in contanti potrebbe essere venuto a far parte di quella comunità di recente e l'azienda può non aver avuto la possibilità di creare un record principale per questo cliente.

Usate le istruzioni scritte nell'Esercizio 11.3 come base per un programma completo di contabilità dei clienti, in grado di effettuare confronti tra file. Usate il numero di conto per ognuno dei file come chiave del record per i confronti. Supponete che ogni file sia un file sequenziale con record memorizzati in ordine crescente di numero di conto.

Quando un confronto ha successo (cioè i record con lo stesso numero di conto compaiono sia sul file principale che sul file delle transazioni) aggiungete l'ammontare in dollari contenuto nel file delle transazioni al saldo corrente nel file principale e scrivete il record nel file "newmast.dat". (Supponete che gli acquisti siano indicati con importi positivi nel file delle transazioni e che i pagamenti siano indicati con importi negativi.) Quando vi è un record principale per un certo conto, ma nessun record di transazione corrispondente, trasferite solamente il record principale su "newmast.dat". Quando vi è un record di transazione, ma nessun record principale corrispondente, stampate il messaggio "Unmatched transaction record for account number ..." (inserite il numero di conto dal record della transazione).

- 11.9** (*Verificare gli esercizi per il confronto di file*) Fate eseguire il programma dell'Esercizio 11.8 usando i file di dati di test creati nell'Esercizio 11.7. Controllate attentamente i risultati.
- 11.10** (*Confronto di file con transazioni multiple*) È possibile (in realtà comune) avere diversi record di transazioni con la stessa chiave. Questo succede perché, durante un periodo di attività commerciale, un particolare cliente potrebbe fare diversi acquisti e pagamenti in contanti. Riscrivete il vostro programma di confronto di file per la contabilità dei clienti dell'Esercizio 11.8 per rendere possibile il trattamento di record relativi a transazioni diverse ma con la stessa chiave. Modificate i dati di test dell'Esercizio 11.7 per includere i seguenti ulteriori record di transazione.

Numero di conto	Ammontare in dollari
300	83.89
700	80.78
700	1.53

- 11.11** (*Scrivere istruzioni per eseguire un'operazione*) Scrivete delle istruzioni che eseguano ognuna delle seguenti operazioni. Supponete che sia stata definita la struttura

```
struct person {
    char lastName[15];
    char firstName[15];
    char age[4];
};
```

e che il file sia già aperto per la scrittura.

- Inizializzate il file "nameage.dat" in modo che vi siano 100 record con lastName = "unassigned", firstname = "" e age = "0".
 - Inserite 10 cognomi, nomi ed età e scriveteli sul file.
 - Aggiornate un record; se nel record non vi sono informazioni, dite all'utente "No info".
 - Cancellate un record con informazioni reinizializzando quel particolare record.
- 11.12** (*Inventario di ferramenta*) Siete i proprietari di un negozio di ferramenta e avete necessità di tenere un inventario che possa dirvi quali attrezzi avete, quanti ne avete e il costo di ognuno di essi. Scrivete un programma che inizializzi il file "hardware.dat" con 100 record vuoti, che vi faccia inserire i dati riguardanti ogni attrezzo, vi consenta di fare una lista di tutti i vostri attrezzi, vi faccia cancellare un record relativo a un attrezzo che non

avete più e vi faccia aggiornare una qualunque informazione nel file. Il numero di identificazione dell'attrezzo deve essere il numero del record. Usate le seguenti informazioni per riempire il file:

Record #	Nome attrezzo	Quantità	Costo
3	Levigatrice elettrica	7	57.98
17	Martello	76	11.99
24	Seghetto	21	11.00
39	Tagliaerba	3	79.50
56	Sega elettrica	18	99.99
68	Cacciavite	106	6.99
77	Martello da fabbro	11	21.50
83	Chiave inglese	34	7.50

- 11.13 (*Generatore di parole per numeri telefonici*) Le tastiere telefoniche standard contengono le cifre da 0 a 9. A tutti i numeri da 2 a 9 sono associate tre lettere, come indica la seguente tabella:

Cifra	Lettera	Cifra	Lettera
2	A B C	6	M N O
3	D E F	7	P R S
4	G H I	8	T U V
5	J K L	9	W X Y

Molte persone trovano difficile memorizzare i numeri di telefono, e così usano la corrispondenza tra cifre e lettere per generare parole di sette lettere corrispondenti ai loro numeri di telefono. Ad esempio, una persona il cui numero telefonico è 686-2377 potrebbe usare la corrispondenza indicata nella tabella riportata sopra per generare la parola di sette lettere "NUMBERS".

Le aziende cercano frequentemente di avere numeri telefonici facili da ricordare per i loro clienti. Se un'azienda può rendere nota ai suoi clienti una parola semplice da comporre, senza dubbio riceverà qualche telefonata in più.

Ogni parola di sette lettere corrisponde esattamente a un numero telefonico di sette cifre. Il ristorante che desidera accrescere i propri affari sui piatti da asporto, potrebbe sicuramente farlo con il numero 825-3688 (cioè "TAKEOUT").

Ogni numero di telefono di sette cifre corrisponde a molte parole diverse di sette lettere. Purtroppo, la maggior parte di queste rappresenta giustapposizioni irriconoscibili di lettere. È possibile, tuttavia, che al proprietario di un salone da barba faccia piacere sapere che il numero telefonico del proprio negozio 424-7288 corrisponde a "HAIRCUT". Il proprietario di un negozio di alcolici si rallegrerebbe senza dubbio se il numero telefonico del proprio negozio 233-7226 corrispondesse a "BEERCAN". Un veterinario con il numero di telefono 738-2273 sarebbe contento di sapere che il numero corrisponde alle lettere "PETCARE".

Scrivete un programma in C che, dato un numero di sette cifre, scriva su un file ogni possibile parola di sette lettere corrispondente a quel numero. Ne esistono 2187 (3 alla settima potenza) di tali parole. Evitate i numeri di telefono con le cifre 0 e 1.

- 11.14 (*Progetto: modifiche al generatore di parole per numeri telefonici*) Se avete a disposizione un dizionario computerizzato, modificate il programma che avete scritto nell'Esercizio 11.13 per prendere le parole dal dizionario. Alcune combinazioni di sette lettere create da questo programma corrispondono a due o più parole (ad esempio, il numero telefonico 843-2677 produce "THEBOSS").
- 11.15 (*Usare funzioni per l'elaborazione di file con stream di input/output standard*) Modificate l'esempio della Figura 8.11 in modo da usare le funzioni `fgetc` e `fputs` al posto di `getchar` e `puts`. Il programma deve offrire all'utente l'opzione di poter leggere dallo standard input e scrivere sullo standard output, oppure di leggere da un file specificato e scrivere su un file specificato. Se l'utente sceglie la seconda opzione, fate sì che l'utente inserisca i nomi dei file per i file di input e di output.
- 11.16 (*Inviare in uscita su un file le dimensioni dei tipi*) Scrivete un programma che usi l'operatore `sizeof` per determinare le dimensioni in byte dei vari tipi di dati sul vostro computer. Scrivete i risultati sul file "datasize.dat", così che dopo possiate stampare i risultati. Il formato per i risultati sul file deve essere il seguente (le dimensioni dei tipi sul vostro computer potrebbero essere diverse da quelle mostrate nell'output dell'esempio):

Data type	Size
<code>char</code>	1
<code>unsigned char</code>	1
<code>short int</code>	2
<code>unsigned short int</code>	2
<code>int</code>	4
<code>unsigned int</code>	4
<code>long int</code>	4
<code>unsigned long int</code>	4
<code>float</code>	4
<code>double</code>	8
<code>long double</code>	16

- 11.17 (*Simpletron con elaborazione di file*) Nell'Esercizio 7.28 avete scritto un programma per la simulazione software di un computer che usava uno speciale linguaggio macchina chiamato *Simpletron Machine Language* (SML). Nella simulazione, ogni volta che volevate avviare l'esecuzione di un programma in SML dovevate inserire il programma nel simulatore dalla tastiera. Se scrivendo il programma in SML commetteteve un errore, era necessario far ripartire il simulatore per reinserire il codice SML. Sarebbe bello poter leggere da un file il programma in SML, invece di scriverlo ogni volta, in modo da risparmiare tempo e ridurre gli errori nella preparazione dell'esecuzione di programmi in SML.
- Modificate il simulatore che avete scritto nell'Esercizio 7.28 per leggere programmi in SML da un file specificato dall'utente alla tastiera.
 - Dopo aver terminato l'esecuzione, il Simpletron invia in uscita i contenuti dei suoi registri e della sua memoria sullo schermo. Non sarebbe male memorizzare l'output in un file. Pertanto modificate il simulatore per memorizzare il suo output in un file, oltre a stamparlo sullo schermo.

- 11.18 (*Programma per l'elaborazione della transazione modificato*) Modificate il programma del Paragrafo 11.9 per includere un'opzione che stampi l'elenco di account sullo schermo. Considerate la modifica della funzione `textFile` per usare l'output standard o un file di testo basato su un parametro della funzione addizionale che specifichi dove deve essere scritto l'output.

Prove sul campo

- 11.19 (*Progetto: phishing scanner*) Il *phishing* è una forma di furto di identità, in cui in un'e-mail un mittente, spacciandosi per una fonte fidata, tenta di acquisire informazioni private, come il numero di utente, la password, i numeri della carta di credito e il numero del codice fiscale. Le e-mail di raggio telematico che sostengono di provenire da note banche, da società di carte di credito, siti di vendite all'asta, social network e servizi di pagamento on-line possono sembrare del tutto legittime. Questi messaggi fraudolenti forniscono spesso link a siti web fasulli dove vi si chiede di inserire informazioni segrete.

Visitate <http://www.snopes.com> e altri siti web per trovare le liste delle principali frodi telematiche. Controllate anche l'Anti-Phishing Working Group (<http://www.antiphishing.org>) e il sito del Cyber Investigations del FBI (<http://www.fbi.gov/about-us/investigate/cyber/cyber>), dove troverete informazioni sulle truffe più recenti e su come proteggervi.

Create una lista di 30 parole, frasi e nomi di aziende che si trovano comunemente nei messaggi di phishing. Assegnate un punteggio a ognuno di essi valutando voi stessi il livello di probabilità che facciano parte di un messaggio di phishing (ad esempio: un punto se è leggermente probabile, due punti se è moderatamente probabile o tre punti se è altamente probabile). Scrivete un programma che esegua la scansione di un file di testo per questi termini e frasi. Ogni volta che una parola chiave o una frase ricorre nel file di testo, aggiungete il punteggio assegnato ai punti totali per quella parola o frase. Per ogni parola chiave o frase trovata, stampate una riga con la parola o la frase, il numero delle volte che ricorre e il punteggio totale. Poi mostrate il punteggio totale per l'intero messaggio. Il vostro programma assegna un punteggio totale alto ad alcune vere e-mail di phishing che avete ricevuto? Assegna un punteggio totale alto ad alcune e-mail legittime che avete ricevuto?



OBIETTIVI

- Allocare e liberare memoria in modo dinamico per i dati.
- Formare strutture di dati collegate usando puntatori, strutture autoreferenziali e ricorsione.
- Creare e manipolare liste collegate, code, pile e alberi binari.
- Conoscere importanti applicazioni delle strutture di dati collegate.
- Studiare le raccomandazioni per la programmazione sicura in C per puntatori e allocazione dinamica della memoria.
- Costruire facoltativamente un compilatore personale negli esercizi.

12.1 Introduzione

Abbiamo studiato le strutture di dati di dimensione fissa come gli array unidimensionali, gli array bidimensionali e le strutture (*struct*). Questo capitolo introduce le **strutture dinamiche di dati** che possono crescere e ridursi al momento dell'esecuzione.

- Le **liste collegate** sono collezioni di dati “allineati in una riga”. In una lista collegata le inserzioni e le cancellazioni vengono fatte *ovunque*.
- Le **pile** sono importanti nei sistemi operativi e nei compilatori – le inserzioni e le cancellazioni vengono fatte *solo a un estremo* di una pila, ovvero la sua cima.
- Le **code** rappresentano le linee di attesa; le inserzioni vengono fatte *solo alla fine* (indicata con *tail*) di una coda e le rimozioni vengono fatte *solo all'inizio* (indicato con *head*) di una coda.
- Gli **alberi binari** facilitano la ricerca e l'ordinamento ad alta velocità dei dati, l'efficiente eliminazione dei dati duplicati e la compilazione di espressioni nel linguaggio macchina.

Ciascuna di queste strutture di dati ha molte altre applicazioni interessanti.

Esamineremo ognuno dei principali tipi di strutture di dati e implementeremo programmi per crearle e manipolarle.

Progetto facoltativo: costruire il proprio compilatore

Ci auguriamo che tenterete il progetto più importante facoltativo descritto nel “Paragrafo speciale: costruire il proprio compilatore”. Finora avete continuato a usare un compilatore per tra-

durre i vostri programmi in C nel linguaggio macchina, in modo da poter eseguire i programmi sul vostro computer. In questo progetto creerete effettivamente il vostro compilatore. Questo leggerà un file di istruzioni scritte in un linguaggio semplice ma formidabile, ad alto livello. Il vostro compilatore tradurrà queste istruzioni in un file di istruzioni del linguaggio macchina del Simpletron (SML). SML è il linguaggio (creato da Deitel) che avete imparato nel “Paragrafo speciale: costruire il proprio computer” del Capitolo 7. Il vostro programma del simulatore Simpletron eseguirà quindi il programma in SML prodotto dal vostro compilatore! Questo progetto vi darà la splendida opportunità di esercitarvi su quasi tutto quello che avete appreso in questo libro. Il paragrafo speciale vi mostrerà in dettaglio come specificare il linguaggio ad alto livello e descriverà gli algoritmi di cui avrete bisogno per convertire ogni tipo di istruzione del linguaggio ad alto livello nelle istruzioni del linguaggio macchina. Se vi diverte la sfida, potrete tentare i numerosi miglioramenti sia del compilatore sia del simulatore Simpletron consigliati negli esercizi.

12.2 Strutture autoreferenziali

Ricordate che una *struttura autoreferenziale* contiene un membro puntatore che punta a una struttura dello stesso tipo. Ad esempio, la definizione

```
struct node {
    int data;
    struct node *nextPtr;
};
```

definisce un tipo, `struct node`. Una struttura di tipo `struct node` ha due membri: il membro intero `data` e il membro puntatore `nextPtr`. Il membro `nextPtr` punta a una struttura di tipo `struct node` – una struttura dello stesso tipo di quella dichiarata qui, da ciò il termine *struttura autoreferenziale*. Il membro `nextPtr` è chiamato *link*, perché può essere usato per “legare” una struttura di tipo `struct node` a un’altra struttura dello stesso tipo. Le strutture autoreferenziali possono essere *collegate* insieme per formare strutture di dati utili come liste, code, pile e alberi. La Figura 12.1 illustra due oggetti aventi come tipo una struttura autoreferenziale collegati insieme per formare una lista. Viene posta una barra – che rappresenta un puntatore `NULL` – nel membro link della seconda struttura autoreferenziale, per indicare che il collegamento non punta a un’altra struttura. [Nota: la barra è indicata solo a scopo illustrativo; essa non corrisponde al carattere backslash in C.] Un puntatore `NULL` indica normalmente la *fine* di una struttura di dati proprio come il carattere nullo indica la fine di una stringa.



Errore comune di programmazione 12.1

Non impostare il link nell’ultimo nodo di una lista a NULL può portare a errori in fase di esecuzione.

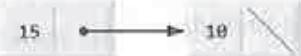


Figura 12.1 Strutture autoreferenziali collegate.

12.3 Allocazione dinamica di memoria

Creare e mantenere strutture dinamiche di dati che possono crescere e ridursi durante l'esecuzione del programma richiede l'**allocazione dinamica di memoria**, ossia la capacità, da parte di un programma, di *ottenere un maggiore spazio di memoria al momento dell'esecuzione*, così da contenere nuovi nodi, e di *liberare lo spazio non più necessario*. Le funzioni `malloc` e `free` e l'operatore `sizeof` sono essenziali per l'allocazione dinamica di memoria. La funzione `malloc` riceve come argomento il numero di byte da allocare e restituisce un puntatore di tipo `void *` (puntatore a `void`) alla memoria allocata. Come ricorderete, un puntatore `void *` può essere assegnato a una variabile di un qualsiasi tipo di puntatore. La funzione `malloc` viene usata normalmente con l'operatore `sizeof`. Ad esempio, l'istruzione

```
newPtr = malloc(sizeof(struct node));
```

valuta `sizeof(struct node)` per determinare la dimensione in byte di un oggetto `struct node`, *alloca una nuova area nella memoria* di quel numero di byte e memorizza un puntatore alla memoria allocata in `newPtr`. Non è garantito che la memoria sia inizializzata, sebbene molte implementazioni la inizializzino per sicurezza. Se non è disponibile alcuna memoria, `malloc` restituisce `NULL`.

La funzione `free` *libera* la memoria, ossia la memoria viene *restituita* al sistema, in modo che possa essere riallocata in futuro. Per *liberare* la memoria allocata dinamicamente dalla precedente chiamata a `malloc`, usate l'istruzione

```
free(newPtr);
```

Il C fornisce anche le funzioni `calloc` e `realloc` per creare e modificare *array dinamici*. Queste funzioni saranno esaminate nel Paragrafo 14.9. Nei paragrafi che seguono sono esaminati liste, pile, code e alberi, ognuno dei quali viene creato e mantenuto con l'allocazione dinamica di memoria e le strutture autoreferenziali.



Portabilità 12.1

La dimensione di una struttura non è necessariamente la somma delle dimensioni dei suoi membri. Ciò è dovuto ai vari requisiti di allineamento ai confini dipendenti dalla macchina (vedi Capitolo 10).



Prevenzione di errori 12.1

Quando usate `malloc`, controllate se il valore di ritorno è un puntatore `NULL`, il quale indica che la memoria non è stata allocata.



Errore comune di programmazione 12.2

Non usare `free` per restituire la memoria allocata in modo dinamico quando non serve più può far sì che il sistema esaurisca prematuramente la memoria. Ciò viene talvolta indicato con il termine "memory leak" ("falla nella memoria").



Prevenzione di errori 12.2

Quando la memoria che è stata allocata dinamicamente non è più necessaria, usate `free` per restituire immediatamente la memoria al sistema. Poi impostate il puntatore a `NULL` per eliminare la possibilità che il programma faccia riferimento alla memoria che è stata liberata e che potrebbe essere già stata allocata per un altro scopo.



Errore comune di programmazione 12.3

Liberare la memoria non allocata in modo dinamico con `malloc` è un errore.



Errore comune di programmazione 12.4

Fare riferimento alla memoria che è stata liberata è un errore che provoca tipicamente l'arresto anomalo del programma.

12.4 Liste collegate

Una lista collegata è una collezione con organizzazione lineare di strutture autoreferenziali, chiamate nodi, connesse da puntatori di collegamento (link), da cui il termine lista “collegata”. A una lista collegata si accede mediante un puntatore al *primo* nodo della lista. Ai nodi successivi si accede mediante il *puntatore di collegamento* memorizzato in ogni nodo. Per convenzione, il puntatore di collegamento nell’ultimo nodo di una lista è posto a `NULL`, per segnare la *fine* della lista. I dati sono memorizzati dinamicamente in una lista collegata; ogni nodo è creato quando necessario. Un nodo può contenere dati di *ogni* tipo comprese altre struct. Anche le pile e le code sono strutture lineari di dati e, come vedremo, sono versioni vincolate delle liste collegate. Gli alberi sono strutture *non lineari* di dati.

Le liste di dati possono essere memorizzate in array, ma le liste collegate presentano diversi vantaggi. Una lista collegata è appropriata quando il numero di elementi da rappresentare nella struttura di dati *non è prevedibile*. Le liste collegate sono dinamiche, pertanto la lunghezza di una lista può aumentare o diminuire in *fase di esecuzione*, in base alle necessità. La dimensione di un array creato al momento della compilazione, invece, non può essere alterata. Gli array possono riempirsi. Le liste collegate si riempiono solo quando il sistema ha *memoria non sufficiente* per soddisfare le richieste di allocazione dinamica della memoria.



Prestazioni 12.1

Un array può essere dichiarato con più elementi rispetto a quelli attesi, ma ciò spreca memoria. In queste situazioni le liste collegate possono permettere un uso migliore della memoria.

Le liste collegate possono essere mantenute in ordine inserendo ogni nuovo elemento al punto giusto nella lista.



Prestazioni 12.2

Le inserzioni e le cancellazioni in un array ordinato richiedono tempo, poiché tutti gli elementi che seguono l’elemento inserito o cancellato devono essere opportunamente spostati.



Prestazioni 12.3

Gli elementi di un array sono registrati nella memoria in modo contiguo. Questo permette l’accesso immediato a un elemento di un array, perché l’indirizzo dell’elemento può essere calcolato direttamente in base alla sua posizione rispetto all’inizio dell’array. Le liste collegate non offrono un tale accesso immediato ai loro elementi.

I nodi delle liste collegate *non* sono normalmente registrati in modo contiguo nella memoria. Dal punto di vista logico, tuttavia, i nodi di una lista collegata *appaiono* contigui. La Figura 12.2 illustra una lista collegata con diversi nodi.



Prestazioni 12.4

L'uso dell'allocazione dinamica della memoria (invece degli array) per le strutture di dati che crescono e si riducono al momento dell'esecuzione può far risparmiare memoria. Tenete in mente, comunque, che i puntatori occupano spazio e che l'allocazione dinamica della memoria espone al rischio di un sovraccarico di chiamate a funzioni.

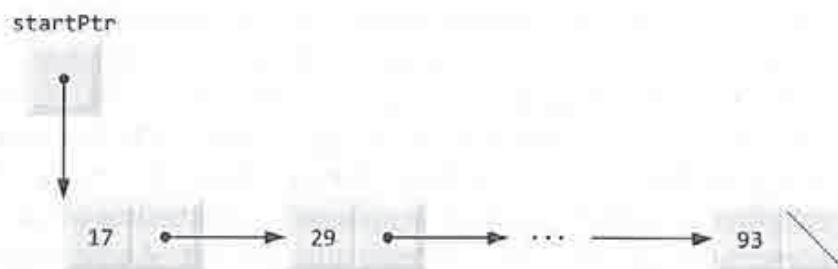


Figura 12.2 Rappresentazione grafica di una lista collegata.

Il programma della Figura 12.3 (il cui output è mostrato nella Figura 12.4) manipola una lista di caratteri. È possibile inserire un carattere nella lista in ordine alfabetico (funzione `insert`) o cancellare un carattere dalla lista (funzione `delete`). Segue un'analisi dettagliata del programma.

```

1 // Fig. 12.3: fig12_03.c
2 // Inserimento e cancellazione di nodi in una lista
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5
6 // struttura autoreferenziale
7 struct listNode {
8     char data; // ogni listNode contiene un carattere
9     struct listNode *nextPtr; // puntatore al nodo successivo
10 };
11
12 typedef struct listNode ListNode; // sinonimo per struct listNode
13 typedef ListNode *ListNodePtr; // sinonimo per ListNode*
14
15 // prototipi
16 void insert(ListNodePtr *sPtr, char value);
17 char delete(ListNodePtr *sPtr, char value);
18 int isEmpty(ListNodePtr sPtr);
19 void printList(ListNodePtr currentPtr);
20 void instructions(void);
21
22 int main(void)
23 {
24     ListNodePtr startPtr = NULL; // inizialmente non vi sono nodi
25     char item; // char inserito dall'utente

```

```
27     instructions(); // stampa il menu
28     printf("%s", "? ");
29     unsigned int choice; // scelta dell'utente
30     scanf("%u", &choice);
31
32     // ripeti il ciclo finche' l'utente non sceglie 3
33     while (choice != 3) {
34
35         switch (choice) {
36             case 1:
37                 printf("%s", "Enter a character: ");
38                 scanf("\n%c", &item);
39                 insert(&startPtr, item); // inserisci l'elemento nella lista
40                 printList(startPtr);
41                 break;
42             case 2: // cancella un elemento
43                 // se la lista non è vuota
44                 if (!isEmpty(startPtr)) {
45                     printf("%s", "Enter character to be deleted: ");
46                     scanf("\n%c", &item);
47
48                     // se il carattere viene trovato, rimuovilo
49                     if (delete(&startPtr, item)) { // rimuovi l'elemento
50                         printf("%c deleted.\n", item);
51                         printList(startPtr);
52                     }
53                     else {
54                         printf("%c not found.\n\n", item);
55                     }
56                 }
57                 else {
58                     puts("List is empty.\n");
59                 }
60
61                 break;
62             default:
63                 puts("Invalid choice.\n");
64                 instructions();
65                 break;
66         }
67
68         printf("%s", "? ");
69         scanf("%u", &choice);
70     }
71
72     puts("End of run.");
73 }
74
75 // stampa le istruzioni per l'utente
76 void instructions(void)
```

```
77  {
78      puts("Enter your choice:\n"
79          " 1 to insert an element into the list.\n"
80          " 2 to delete an element from the list.\n"
81          " 3 to end.");
82  }
83
84 // inserisci un nuovo valore nella lista ordinata
85 void insert(ListNodePtr *sPtr, char value)
86 {
87     ListNodePtr newPtr = malloc(sizeof(ListNode)); // crea il nodo
88
89     if (newPtr != NULL) { // se c'e' spazio disponibile
90         newPtr->data = value; // inserisci value nel nodo
91         newPtr->nextPtr = NULL; // il nodo non e' collegato ad altri nodi
92
93     ListNodePtr previousPtr = NULL;
94     ListNodePtr currentPtr = *sPtr;
95
96     // ripeti il ciclo per trovare la posizione corretta nella lista
97     while (currentPtr != NULL && value > currentPtr->data) {
98         previousPtr = currentPtr; // va avanti ...
99         currentPtr = currentPtr->nextPtr; // ... al nodo successivo
100    }
101
102    // inserisci il nuovo nodo all'inizio della lista
103    if (previousPtr == NULL) {
104        newPtr->nextPtr = *sPtr;
105        *sPtr = newPtr;
106    }
107    else { // inserisci il nuovo nodo tra previousPtr e currentPtr
108        previousPtr->nextPtr = newPtr;
109        newPtr->nextPtr = currentPtr;
110    }
111 }
112 else {
113     printf("%c not inserted. No memory available.\n", value);
114 }
115 }
116
117 // cancella un elemento della lista
118 char delete(ListNodePtr *sPtr, char value)
119 {
120     // cancella il primo nodo se viene trovata una corrispondenza
121     if (value == (*sPtr)->data) {
122         ListNodePtr tempPtr = *sPtr; // aggancia il nodo da rimuovere
123         *sPtr = (*sPtr)->nextPtr; // sfila il nodo
124         free(tempPtr); // libera il nodo
125         return value;
126     }
```

```

127     else {
128         ListNodePtr previousPtr = *sPtr;
129         ListNodePtr currentPtr = (*sPtr)->nextPtr;
130
131         // ripeti il ciclo per trovare la posizione corretta nella lista
132         while (currentPtr != NULL && currentPtr->data != value) {
133             previousPtr = currentPtr; // va avanti ...
134             currentPtr = currentPtr->nextPtr; // ... al nodo successivo
135         }
136
137         // cancella il nodo a cui punta currentPtr
138         if (currentPtr != NULL) {
139             ListNodePtr tempPtr = currentPtr;
140             previousPtr->nextPtr = currentPtr->nextPtr;
141             free(tempPtr);
142             return value;
143         }
144     }
145
146     return '\0';
147 }
148
149 // restituisci 1 se la lista e' vuota, altrimenti 0
150 int isEmpty(ListNodePtr sPtr)
151 {
152     return sPtr == NULL;
153 }
154
155 // stampa la lista
156 void printList(ListNodePtr currentPtr)
157 {
158     // se la lista e' vuota
159     if (isEmpty(currentPtr)) {
160         puts("List is empty.\n");
161     }
162     else {
163         puts("The list is:");
164
165         // finche' non si raggiunge la fine della lista
166         while (currentPtr != NULL) {
167             printf("%c --> ", currentPtr->data);
168             currentPtr = currentPtr->nextPtr;
169         }
170
171         puts("NULL\n");
172     }
173 }

```

Figura 12.3 Inserimento e cancellazione di nodi in una lista.

```
Enter your choice:  
1 to insert an element into the list.  
2 to delete an element from the list.  
3 to end.  
? 1  
Enter a character: B  
The list is:  
B --> NULL  
  
? 1  
Enter a character: A  
  
The list is:  
A --> B --> NULL  
  
? 1  
Enter a character: C  
The list is:  
A --> B --> C --> NULL  
  
? 2  
Enter character to be deleted: D  
D not found.  
  
? 2  
Enter character to be deleted: B  
B deleted.  
The list is:  
A --> C --> NULL  
  
? 2  
Enter character to be deleted: C  
C deleted.  
The list is:  
A --> NULL  
  
? 2  
Enter character to be deleted: A  
A deleted.  
List is empty.  
  
? 4  
Invalid choice.  
  
Enter your choice:  
1 to insert an element into the list.  
2 to delete an element from the list.  
3 to end.  
? 3  
End of run.
```

Figura 12.4 Esempio di output per il programma della Figura 12.3.

Le funzioni principali delle liste collegate sono `insert` (righe 85–115) e `delete` (righe 118–147). La funzione `isEmpty` (righe 150–153) è chiamata funzione predicato. Essa *non* altera in alcun modo la lista, piuttosto determina se la lista è vuota (cioè se il puntatore al primo nodo della lista è `NULL`). Se la lista è vuota restituisce 1, altrimenti restituisce 0. [Nota: se state usando un compilatore conforme al C standard, potete usare il tipo `_Bool` (Paragrafo 4.10) invece di `int`.] La funzione `printList` (righe 156–173) stampa la lista.

12.4.1 Funzione `insert`

I caratteri vengono inseriti nella lista in *ordine alfabetico*. La funzione `insert` (righe 85–115) riceve l'indirizzo della lista e un carattere da inserire. L'indirizzo della lista è necessario quando si deve inserire un valore all'*inizio* della lista. Fornire l'indirizzo permette alla lista (cioè il puntatore al primo nodo della lista) di essere *modificata* tramite una chiamata per riferimento. Poiché la lista stessa è un puntatore (al suo primo elemento), passare il suo indirizzo crea un **puntatore a un puntatore** (cioè un'*indirezione doppia*). Questa è una nozione complessa e richiede una programmazione accurata. I passi per l'inserimento di un carattere nella lista seguono l'ordine seguente (Figura 12.5):

1. *Crea un nodo* chiamando `malloc`, assegna a `newPtr` l'indirizzo della memoria allocata (riga 87), assegna il carattere da inserire a `newPtr->data` (riga 90) e assegna `NULL` a `newPtr->nextPtr` (riga 91).
2. Inizializza `previousPtr` a `NULL` (riga 93) e `currentPtr` a `*sPtr` (riga 94), il puntatore all'*inizio* della lista. I puntatori `previousPtr` e `currentPtr` memorizzano rispettivamente le posizioni del nodo che *precede* e che *segue* il punto dell'inserzione.
3. Finché `currentPtr` non è `NULL` e il valore da inserire è maggiore di `currentPtr->data` (riga 97), assegna `currentPtr` a `previousPtr` (riga 98) e fai avanzare `currentPtr` al nodo successivo nella lista (riga 99). In questo modo si localizza il *punto d'inserzione* per il valore.
4. Se `previousPtr` è `NULL` (riga 103), inserisci il nuovo nodo come *primo* nella lista (righe 104–105). Assegna `*sPtr` a `newPtr->nextPtr` (il *collegamento del nuovo nodo* punta all'*ex primo nodo*) e assegna `newPtr` a `*sPtr` (`*sPtr` punta ora al *nuovo nodo*). Altrimenti, se `previousPtr` non è `NULL`, inserisci il nuovo nodo all'interno della lista (righe 108–109). Assegna `newPtr` a `previousPtr->nextPtr` (il nodo *precedente* punta al *nuovo nodo*) e assegna `currentPtr` a `newPtr->nextPtr` (il collegamento del *nuovo nodo* punta al nodo *corrente*).



Prevenzione di errori 12.3

Assegnate `NULL` al membro *link* di un nuovo nodo. I puntatori devono essere inizializzati prima di essere usati.

La Figura 12.5 illustra l'inserimento di un nodo contenente il carattere 'C' in una lista ordinata. La parte (a) della figura mostra la lista e il nuovo nodo appena prima dell'inserimento. La parte (b) della figura mostra il risultato dell'inserimento del nuovo nodo. Le frecce tratteggiate rappresentano i puntatori riassegnati. Per semplicità, abbiamo implementato la funzione `insert` (e altre funzioni simili in questo capitolo) con un tipo di ritorno `void`. È possibile che la funzione `malloc` *non riesca* ad allocare la memoria necessaria. In questo caso, sarebbe meglio che la nostra funzione `insert` restituisse un valore che indichi se l'operazione ha avuto successo.

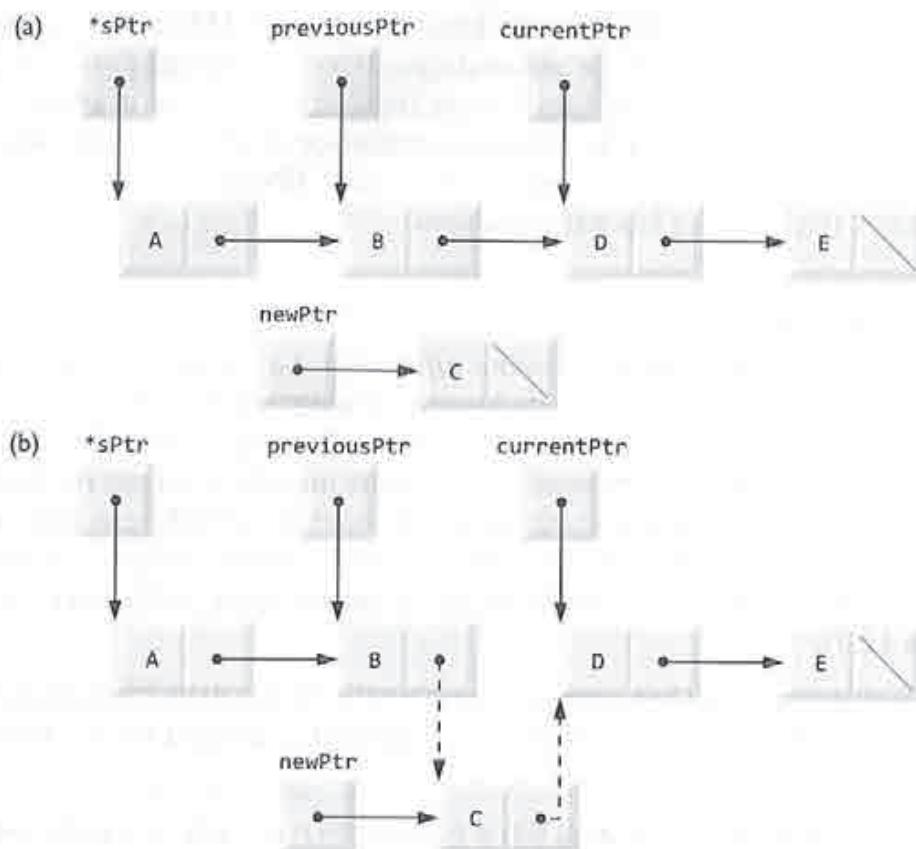


Figura 12.5 Inserimento di un nodo in una lista ordinata.

12.4.2 Funzione delete

La funzione `delete` (righe 118–147) riceve l'indirizzo del puntatore all'inizio della lista e un carattere da cancellare. I passi per cancellare un carattere dalla lista sono i seguenti (Figura 12.6):

- Se il carattere da cancellare corrisponde al carattere nel *primo* nodo della lista (riga 121), assegna `*sPtr` a `tempPtr` (`tempPtr` sarà usato per liberare (`free`) la memoria non più necessaria), assegna `(*sPtr)->nextPtr` a `*sPtr` (`*sPtr` punta ora al *secondo* nodo nella lista), libera la memoria puntata da `tempPtr` e restituisci il carattere che è stato cancellato.
- Altrimenti, inizializza `previousPtr` con `*sPtr` e `currentPtr` con `(*sPtr)->nextPtr` (righe 128–129) per avanzare fino al secondo nodo.
- Finché `currentPtr` non è `NULL` e il valore da cancellare non è uguale a `currentPtr->data` (riga 132), assegna `currentPtr` a `previousPtr` (riga 133) e assegna `currentPtr->nextPtr` a `currentPtr` (riga 134). In questo modo viene localizzato il carattere da cancellare, se è contenuto nella lista.
- Se `currentPtr` non è `NULL` (riga 138), assegna `currentPtr` a `tempPtr` (riga 139), assegna `currentPtr->nextPtr` a `previousPtr->nextPtr` (riga 140), libera il nodo puntato da `tempPtr` (riga 141) e restituisci il carattere che è stato cancellato dalla lista (riga 142). Se `currentPtr` è `NULL`, restituisci il carattere nullo ('\0') per indicare che il carattere da cancellare *non* è stato trovato nella lista (riga 146).

La Figura 12.6 illustra la cancellazione del nodo contenente il carattere 'C' da una lista collegata. La parte (a) della figura mostra la lista collegata dopo la precedente operazione di inserimento. La parte (b) mostra la riassegnazione dell'elemento di collegamento di `previousPtr` e l'assegnazione di

`currentPtr` a `tempPtr`. Il puntatore `tempPtr` viene usato per *liberare* la memoria allocata al nodo che memorizza ‘C’. Notate che nelle righe 124 e 141 liberiamo `tempPtr`. Ricordate che abbiamo raccomandato di impostare un puntatore liberato a `NULL`. Non lo facciamo in questi due casi, perché `tempPtr` è una variabile automatica locale e la funzione restituisce il controllo immediatamente.

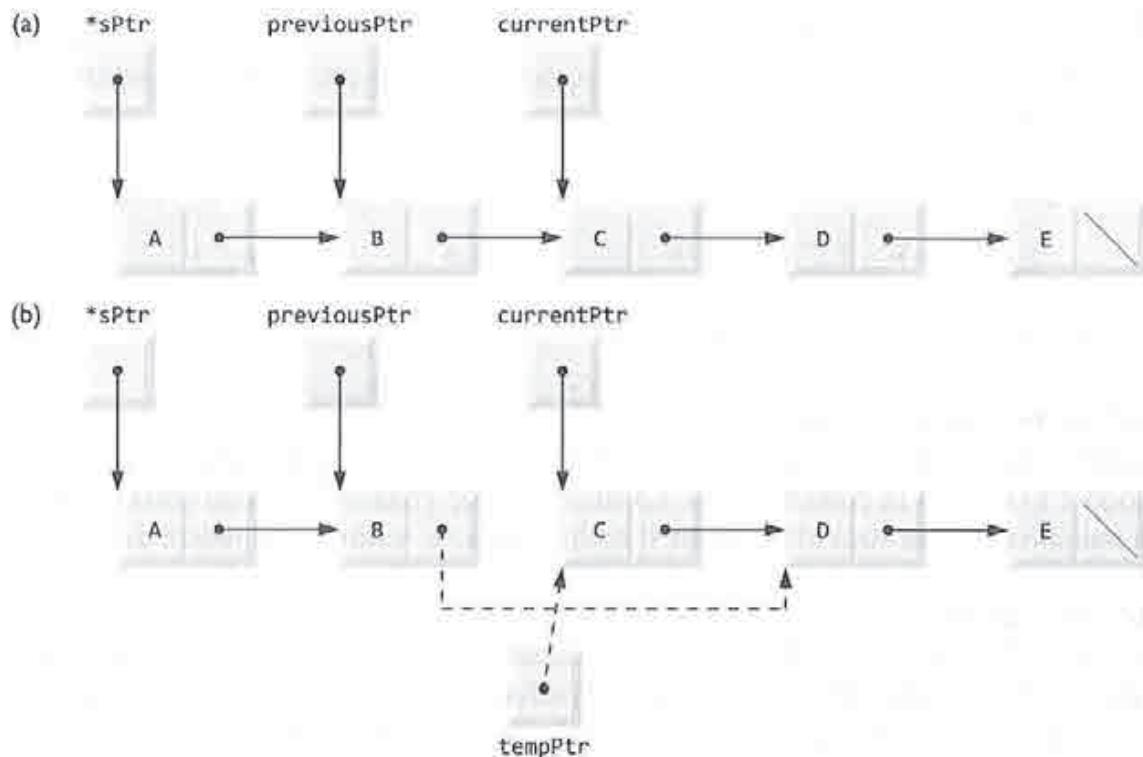


Figura 12.6 Cancellazione di un nodo da una lista.

12.4.3 Funzione `printList`

La funzione `printList` (righe 156–173) riceve come argomento un puntatore all’inizio della lista e fa riferimento a esso come `currentPtr`. La funzione prima determina se la lista è *vuota* (righe 159–161) e, se è così, stampa “*List is empty.*” e termina. Altrimenti stampa i dati nella lista (righe 162–172). Finché `currentPtr` non è `NULL`, viene stampato dalla funzione il valore di `currentPtr->data`, e `currentPtr->nextPtr` è assegnato a `currentPtr` per avanzare al nodo successivo. Se il collegamento nell’ultimo nodo della lista non è `NULL`, l’algoritmo di stampa cercherà di stampare *oltre la fine della lista* e si verificherà un errore. L’algoritmo di stampa è identico per le liste collegate, le pile e le code.

L’Esercizio 12.20 vi chiede di implementare una funzione ricorsiva che stampi gli elementi in una lista in ordine inverso. L’Esercizio 12.21 vi chiede di implementare una funzione ricorsiva che cerchi un particolare elemento in una lista collegata.

12.5 Pile

Una pila può essere implementata come una versione vincolata di una lista collegata. È possibile aggiungere e rimuovere da una pila nuovi nodi *solo in cima*. Per questa ragione, una pila è detta struttura di dati **last-in, first out (LIFO)**: il primo elemento a uscire è l’ultimo entrato. A una pila si fa riferimento tramite un puntatore all’elemento in cima alla pila. Il membro `link` nell’ultimo nodo della pila è posto a `NULL` per indicare il fondo della pila.

La Figura 12.7 illustra una pila con diversi nodi: `stackPtr` punta all'elemento in cima alla pila. Le pile e le liste collegate sono rappresentate in modo identico in queste figure. La differenza tra pile e liste collegate è che l'inserimento e la cancellazione possono avvenire *ovunque* in una lista collegata, ma *solo* in *cima* alla pila.



Errore comune di programmazione 12.5

Non impostare a NULL il collegamento nel nodo in fondo a una pila può portare a errori in fase di esecuzione.



Figura 12.7 Rappresentazione grafica di una pila.

Principali operazioni per le pile

Le principali funzioni usate per manipolare una pila sono `push` e `pop`. La funzione `push` crea un nuovo nodo e lo colloca in *cima* alla pila. La funzione `pop` *rimuove* un nodo dalla *cima* della pila, *libera* la memoria che era stata allocata per il nodo rimosso e *restituisce il valore del nodo*.

Implementare una pila

Il programma della Figura 12.8 (il cui output è mostrato nella Figura 12.9) implementa una semplice pila di interi. Il programma fornisce tre opzioni: 1) effettuare un `push` di un valore nella pila (funzione `push`), 2) effettuare un `pop` di un valore dalla pila (funzione `pop`) e 3) terminare il programma.

```

1 // Fig. 12.8: fig12_08.c
2 // Un semplice programma che usa una pila
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5
6 // struttura autoreferenziale
7 struct stackNode {
8     int data; // il campo dati e' un int
9     struct stackNode *nextPtr; // puntatore a stackNode
10 };
11
12 typedef struct stackNode StackNode; // sinonimo per struct stackNode
13 typedef StackNode *StackNodePtr; // sinonimo per StackNode*
14
15 // prototipi
16 void push(StackNodePtr *topPtr, int info);
17 int pop(StackNodePtr *topPtr);
18 int isEmpty(StackNodePtr topPtr);
19 void printStack(StackNodePtr currentPtr);
20 void instructions(void);
21
22 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
23 int main(void)
24 {
25     StackNodePtr stackPtr = NULL; // punta alla cima della pila
  
```

```
26     int value; // valore int inserito dall'utente
27
28     instructions(); // stampa il menu
29     printf("%s", "? ");
30     unsigned int choice; // scelta da menu da parte dell'utente
31     scanf("%u", &choice);
32
33     // finche' l'utente non inserisce 3
34     while (choice != 3) {
35
36         switch (choice) {
37             // effettua un push di un valore nella pila
38             case 1:
39                 printf("%s", "Enter an integer: ");
40                 scanf("%d", &value);
41                 push(&stackPtr, value);
42                 printStack(stackPtr);
43                 break;
44             // effettua un pop di un valore dalla pila
45             case 2:
46                 // se la pila non e' vuota
47                 if (!isEmpty(stackPtr)) {
48                     printf("The popped value is %d.\n", pop(&stackPtr));
49                 }
50
51                 printStack(stackPtr);
52                 break;
53             default:
54                 puts("Invalid choice.\n");
55                 instructions();
56                 break;
57         }
58
59         printf("%s", "? ");
60         scanf("%u", &choice);
61     }
62
63     puts("End of run.");
64 }
65
66 // stampa le istruzioni per l'utente
67 void instructions(void)
68 {
69     puts("Enter choice:\n"
70         "1 to push a value on the stack\n"
71         "2 to pop a value off the stack\n"
72         "3 to end program");
73 }
74
75 // inserisci un nodo in cima alla pila
76 void push(StackNodePtr *topPtr, int info)
```

```

77  {
78      StackNodePtr newPtr = malloc(sizeof(StackNode));
79
80      // inserisci il nodo in cima alla pila
81      if (newPtr != NULL) {
82          newPtr->data = info;
83          newPtr->nextPtr = *topPtr;
84          *topPtr = newPtr;
85      }
86      else { // non c'e' spazio disponibile
87          printf("%d not inserted. No memory available.\n", info);
88      }
89  }
90
91 // rimuovi un nodo dalla cima della pila
92 int pop(StackNodePtr *topPtr)
93 {
94     StackNodePtr tempPtr; = *topPtr;
95     int popValue = (*topPtr)->data;
96     *topPtr = (*topPtr)->nextPtr;
97     free(tempPtr);
98     return popValue;
99 }
100
101 // stampa la pila
102 void printStack(StackNodePtr currentPtr)
103 {
104     // se la pila e' vuota
105     if (currentPtr == NULL) {
106         puts("The stack is empty.\n");
107     }
108     else {
109         puts("The stack is:");
110
111         // finche' non si raggiunge la fine della pila
112         while (currentPtr != NULL) {
113             printf("%d --> ", currentPtr->data);
114             currentPtr = currentPtr->nextPtr;
115         }
116
117         puts("NULL\n");
118     }
119 }
120
121 // restituisci 1 se la pila e' vuota, altrimenti 0
122 int isEmpty(StackNodePtr topPtr)
123 {
124     return topPtr == NULL;
125 }

```

Figura 12.8 Un semplice programma che usa una pila.

```
Enter choice:  
1 to push a value on the stack  
2 to pop a value off the stack  
3 to end program  
? 1  
Enter an integer: 5  
The stack is:  
5 --> NULL  
  
? 1  
Enter an integer: 6  
The stack is:  
6 --> 5 --> NULL  
  
? 1  
Enter an integer: 4  
The stack is:  
4 --> 6 --> 5 --> NULL  
  
? 2  
The popped value is 4.  
The stack is:  
6 --> 5 --> NULL  
  
? 2  
The popped value is 6.  
The stack is:  
5 --> NULL  
  
? 2  
The popped value is 5.  
The stack is empty.  
  
? 2  
The stack is empty.  
  
? 4  
Invalid choice.  
  
Enter choice:  
1 to push a value on the stack  
2 to pop a value off the stack  
3 to end program  
? 3  
End of run.
```

Figura 12.9 Esempio di output per il programma della Figura 12.8.

12.5.1 Funzione push

La funzione `push` (righe 76–89) inserisce un nuovo nodo in cima alla pila. La funzione opera in tre passi:

1. Crea un *nuovo nodo* chiamando `malloc` e assegna l'indirizzo della memoria allocata a `newPtr` (riga 78).
2. Assegna a `newPtr->data` il valore da mettere nella pila (riga 82) e assegna `*topPtr` (il *puntatore in cima alla pila*) a `newPtr->nextPtr` (riga 83). Il *membro link* di `newPtr` punta ora al *precedente* nodo in cima.
3. Assegna `newPtr` a `*topPtr` (riga 84): `*topPtr` punta ora alla *nuova* cima della pila.

Le manipolazioni che coinvolgono `*topPtr` cambiano il valore di `stackPtr` in `main`. La Figura 12.10 illustra la funzione `push`. La parte (a) della figura mostra la pila e il nuovo nodo *prima* dell'operazione di `push`. Le frecce tratteggiate nella parte (b) illustrano i *passi 2 e 3* dell'operazione di `push`, che fanno sì che il nodo contenente 12 diventi la nuova cima della pila.

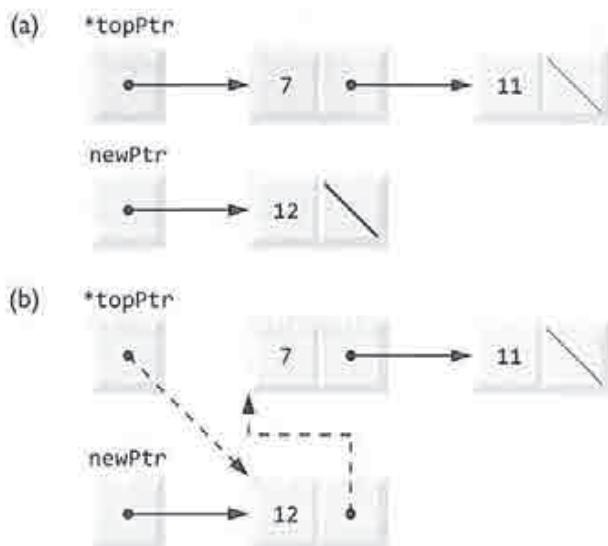


Figura 12.10 Operazione push.

12.5.2 Funzione pop

La funzione `pop` (righe 92–99) estrae un nodo dalla cima della pila. La funzione `main` verifica se la pila è vuota prima di chiamare `pop`. L'operazione `pop` è costituita da cinque passi:

1. Assegna `*topPtr` a `tempPtr` (riga 94); `tempPtr` sarà usato per *liberare* la memoria non più necessaria.
2. Assegna `(*topPtr)->data` a `popValue` (riga 95) per *recuperare* il valore del nodo in cima.
3. Assegna `(*topPtr)->nextPtr` a `*topPtr` (riga 96) in modo che `*topPtr` contenga l'*indirizzo del nuovo nodo in cima*.
4. *Libera la memoria* puntata da `tempPtr` (riga 97).
5. *Restituisci* `popValue` alla funzione chiamante (riga 98).

La Figura 12.11 illustra la funzione `pop`. La parte (a) mostra la pila *dopo* la precedente operazione `push`. La parte (b) mostra `tempPtr` che punta al *primo nodo* della pila e `topPtr` che punta al *secondo nodo* della pila. La funzione `free` è usata per *liberare la memoria* puntata da `tempPtr`.

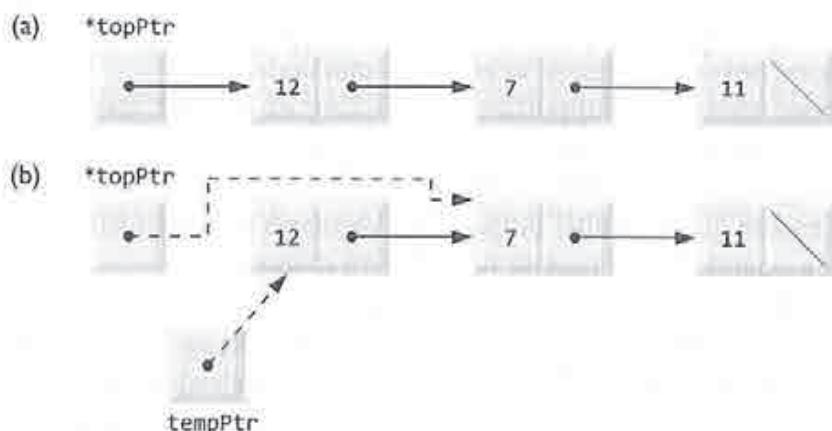


Figura 12.11 Operazione `pop`.

12.5.3 Applicazioni delle pile

Le pile hanno molte applicazioni interessanti. Ad esempio, ogni volta che viene effettuata una *chiamata a una funzione*, la funzione chiamata deve sapere come *ritornare* alla sua funzione chiamante, pertanto l'*indirizzo di ritorno* è inserito con un `push` in una pila (Paragrafo 5.7). Se si ha una serie di chiamate a funzioni, i valori successivi di ritorno sono inseriti nella pila nell'*ordine last-in, first-out*, in modo che ogni funzione possa ritornare alla sua funzione chiamante. Le pile supportano le chiamate di funzioni ricorsive nello stesso modo delle chiamate convenzionali non ricorsive.

Le pile mantengono lo spazio di memoria creato per le *variabili automatiche* in ogni invocazione di una funzione. Quando la funzione ritorna alla sua funzione chiamante, lo spazio di memoria per le variabili automatiche di quella funzione viene eliminato con un `pop` dalla pila e queste variabili non sono più note al programma. Le pile sono usate dai compilatori nel processo di valutazione delle espressioni e di generazione di codice in linguaggio macchina. Gli esercizi esplorano diverse applicazioni delle pile.

12.6 Code

Un'altra struttura di dati comune è la coda. Una coda è simile alla fila davanti alla cassa in un supermercato: la *prima* persona in fila è *servita per prima*; gli altri clienti si aggiungono alla fila solo alla *fine* della coda e *aspettano* di essere serviti. I nodi della coda si estraggono *solo* dalla *testa della coda* (*head*) e si inseriscono *solo* alla *fine della coda* (*tail*). Per questa ragione, una coda è chiamata struttura di dati *first-in, first out* (FIFO): il primo elemento a entrare è il primo a uscire. Le operazioni di *inserimento* e di *estrazione* sono note, rispettivamente, come `enqueue` e `dequeue`.

Le code hanno molte applicazioni nei sistemi di elaborazione. Nei computer che hanno soltanto un singolo processore è possibile servire solo un utente alla volta. Le richieste degli altri utenti sono poste in una coda. Ogni richiesta avanza gradualmente verso la testa della coda man mano che le richieste di servizio vengono soddisfatte. L'elemento in *testa* alla coda è il *prossimo a ricevere il*

servizio. Analogamente, per i sistemi multicore odierni, potrebbero esserci più utenti che processori, quindi gli utenti che non sono ancora in esecuzione vengono collocati in una coda finché non diverrà disponibile un processore che al momento è occupato. Nell'Appendice E (on-line) parleremo di multithreading. Quando il lavoro di un utente viene suddiviso in più thread in grado di funzionare in parallelo, ci possono essere più thread che processori, quindi i thread che al momento non sono in esecuzione devono rimanere in attesa in una coda.

Le code sono usate anche per supportare lo *spooling di stampa*, ossia la memorizzazione di dati in attesa di essere stampati. Un ambiente multiutente può avere solo una singola stampante e molti utenti possono generare allo stesso tempo output da stampare. Se la stampante è occupata, possono comunque essere generati altri output, che verranno *accodati* sul disco, dove *attenderanno* in una *coda* fino a quando la stampante non diverrà disponibile.

Anche i pacchetti di informazioni aspettano in code nelle reti di computer. Ogni volta che arriva un pacchetto al nodo di una rete, deve essere instradato al nodo successivo sulla rete lungo il percorso verso la sua destinazione finale. Il nodo che effettua l'instradamento (router) inoltra un pacchetto alla volta, pertanto gli ulteriori pacchetti sono messi in coda in attesa di essere instradati. La Figura 12.12 illustra una coda con diversi nodi. Notate i puntatori alla testa e alla fine della coda.



Errore comune di programmazione 12.6

Non impostare a NULL il collegamento nell'ultimo nodo di una coda può portare a errori in fase di esecuzione.

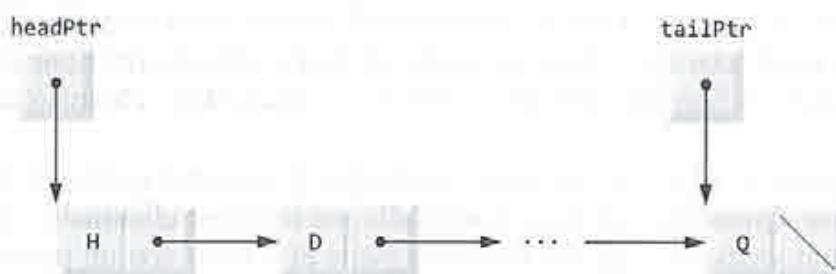


Figura 12.12 Rappresentazione grafica di una coda.

Il programma della Figura 12.13 (il cui output è mostrato nella Figura 12.14) esegue operazioni su una coda. Il programma fornisce diverse opzioni: *inserire* un nodo nella coda (funzione **enqueue**), *rimuovere* un nodo dalla coda (funzione **dequeue**) e terminare il programma.

```

1 // Fig. 12.13: fig12_13.c
2 // Gestione di una coda
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5
6 // struttura autoreferenziale
7 struct queueNode {
8     char data; // il campo dati e' un char
9     struct queueNode *nextPtr; // puntatore a queueNode
10 };
11
12 typedef struct queueNode QueueNode;

```

```
13  typedef QueueNode *QueueNodePtr;
14
15  // prototipi di funzione
16  void printQueue(QueueNodePtr currentPtr);
17  int isEmpty(QueueNodePtr headPtr);
18  char dequeue(QueueNodePtr *headPtr, QueueNodePtr *tailPtr);
19  void enqueue(QueueNodePtr *headPtr, QueueNodePtr *tailPtr, char value);
20  void instructions(void);
21
22  // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
23  int main(void)
24  {
25      QueueNodePtr headPtr = NULL; // inizializza headPtr
26      QueueNodePtr tailPtr = NULL; // inizializza tailPtr
27      char item; // char inserito dall'utente
28
29      instructions(); // stampa il menu
30      printf("%s", "? ");
31      unsigned int choice; // scelta da menu da parte dell'utente
32      scanf("%u", &choice);
33
34      // finche' l'utente non inserisce 3
35      while (choice != 3) {
36
37          switch(choice) {
38              // metti in coda un valore
39              case 1:
40                  printf("%s", "Enter a character: ");
41                  scanf("\n%c", &item);
42                  enqueue(&headPtr, &tailPtr, item);
43                  printQueue(headPtr);
44                  break;
45              // estrai dalla coda un valore
46              case 2:
47                  // se la coda non e' vuota
48                  if (!isEmpty(headPtr)) {
49                      item = dequeue(&headPtr, &tailPtr);
50                      printf("%c has been dequeued.\n", item);
51                  }
52
53                  printQueue(headPtr);
54                  break;
55              default:
56                  puts("Invalid choice.\n");
57                  instructions();
58                  break;
59          }
60
61          printf("%s", "? ");
```

```
62         scanf("%u", &choice);
63     }
64
65     puts("End of run.");
66 }
67
68 // stampa le istruzioni per l'utente
69 void instructions(void)
70 {
71     printf ("Enter your choice:\n"
72             "    1 to add an item to the queue\n"
73             "    2 to remove an item from the queue\n"
74             "    3 to end\n");
75 }
76
77 // inserisci un nodo in fondo alla coda
78 void enqueue(QueueNodePtr *headPtr, QueueNodePtr *tailPtr, char value)
79 {
80     QueueNodePtr newPtr = malloc(sizeof(QueueNode));
81
82     if (newPtr != NULL) { // c'e' spazio disponibile?
83         newPtr->data = value;
84         newPtr->nextPtr = NULL;
85
86         // se la coda e' vuota, inserisci il nodo in testa
87         if (isEmpty(*headPtr)) {
88             *headPtr = newPtr;
89         }
90         else {
91             (*tailPtr)->nextPtr = newPtr;
92         }
93
94         *tailPtr = newPtr;
95     }
96     else {
97         printf("%c not inserted. No memory available.\n", value);
98     }
99 }
100
101 // rimuovi un nodo dalla testa della coda
102 char dequeue(QueueNodePtr *headPtr, QueueNodePtr *tailPtr)
103 {
104     char value = (*headPtr)->data;
105     QueueNodePtr tempPtr = *headPtr;
106     *headPtr = (*headPtr)->nextPtr;
107
108     // se la coda e' vuota
109     if (*headPtr == NULL) {
110         *tailPtr = NULL;
```

```

111     }
112
113     free(tempPtr);
114     return value;
115 }
116
117 // restituisci 1 se la coda e' vuota, altrimenti 0
118 int isEmpty(QueueNodePtr headPtr)
119 {
120     return headPtr == NULL;
121 }
122
123 // stampa la coda
124 void printQueue(QueueNodePtr currentPtr)
125 {
126     // se la coda e' vuota
127     if (currentPtr == NULL) {
128         puts("Queue is empty.\n");
129     }
130     else {
131         puts("The queue is:");
132
133         // finche' non si raggiunge la fine della coda
134         while (currentPtr != NULL) {
135             printf("%c --> ", currentPtr->data);
136             currentPtr = currentPtr->nextPtr;
137         }
138
139         puts("NULL\n");
140     }
141 }
```

Figura 12.13 Gestione di una coda.

```

Enter your choice:
1 to add an item to the queue
2 to remove an item from the queue
3 to end

? 1
Enter a character: A
The queue is:
A --> NULL

? 1
Enter a character: B
The queue is:
A --> B --> NULL
```

```

? 1
Enter a character: C
The queue is:
A --> B --> C --> NULL

? 2
A has been dequeued.
The queue is:
B --> C --> NULL

? 2
B has been dequeued.
The queue is:
C --> NULL

? 2
C has been dequeued.
Queue is empty.

? 2
Queue is empty.

? 4
Invalid choice.

Enter your choice:
 1 to add an item to the queue
 2 to remove an item from the queue
 3 to end
? 3
End of run.

```

Figura 12.14 Esempio di output per il programma della Figura 12.13.

12.6.1 Funzione enqueue

La funzione enqueue (righe 78–99) riceve tre argomenti da main: l'indirizzo del puntatore alla testa della coda, l'indirizzo del puntatore alla fine della coda e il valore da inserire nella coda. La funzione opera in tre passi:

1. Crea un nuovo nodo: chiama malloc, assegna l'indirizzo della memoria allocata a newPtr (riga 80), assegna il valore da inserire nella coda a newPtr->data (riga 83) e assegna NULL a newPtr->nextPtr (riga 84).
2. Se la coda è vuota (riga 87), assegna newPtr a *headPtr (riga 88), perché il nuovo nodo sarà sia la testa sia la fine della coda; altrimenti, assegna il puntatore newPtr a (*tailPtr)->nextPtr (riga 91), perché il nuovo nodo sarà posto dopo quello che era prima alla fine della coda.
3. Assegna newPtr a *tailPtr (riga 94), perché il nuovo nodo è la fine della coda.

La Figura 12.15 illustra un'operazione di enqueue. La parte (a) mostra la coda e il nuovo nodo *prima* dell'operazione. Le frecce tratteggiate nella parte (b) illustrano i *passi 2 e 3* della funzione enqueue che fanno sì che il nuovo nodo venga aggiunto alla *fine* di una coda non vuota.

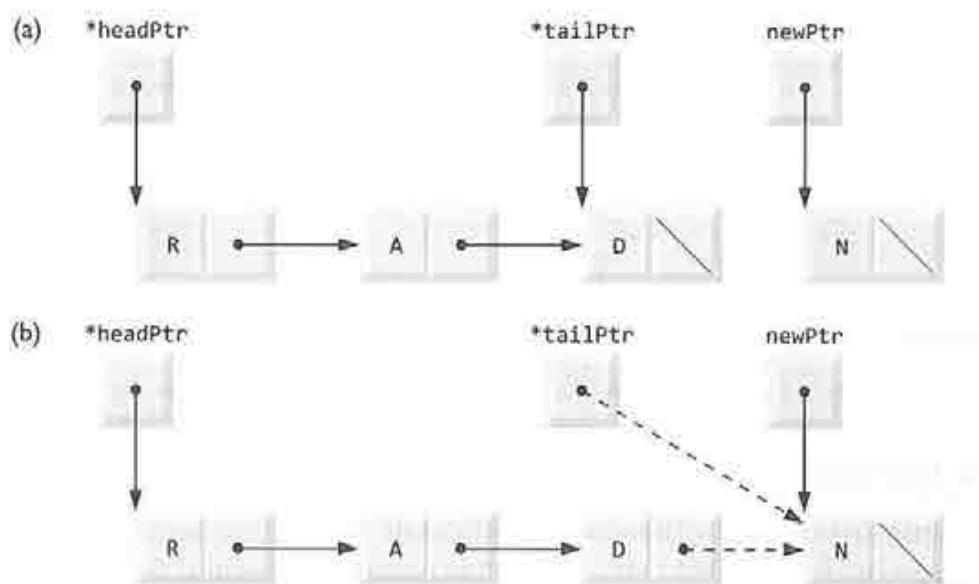


Figura 12.15 Operazione enqueue.

12.6.2 Funzione dequeue

La funzione `dequeue` (righe 102–115) riceve come argomenti l'*indirizzo del puntatore alla testa della coda* e l'*indirizzo del puntatore alla fine della coda* e rimuove il *primo* nodo dalla coda. L'operazione `dequeue` consiste in sei passi:

1. Assegna `(*headPtr)->data` a `value` per recuperare il valore in testa alla coda (riga 104).
2. Assegna `*headPtr` a `tempPtr` (riga 105), che sarà usato per liberare la memoria non più necessaria.
3. Assegna `(*headPtr)->nextPtr` a `*headPtr` (riga 106) in modo che `*headPtr` punti ora al nuovo primo nodo della coda.
4. Se `*headPtr` è `NULL` (riga 109), assegna `NULL` a `*tailPtr` (riga 110), perché la coda adesso è vuota.
5. Libera la memoria puntata da `tempPtr` (riga 113).
6. Restituisce `value` alla funzione chiamante (riga 114).

La Figura 12.16 illustra la funzione `dequeue`. La parte (a) mostra la coda *dopo* la precedente operazione di enqueue. La parte (b) mostra `tempPtr` che punta al *nodo rimosso* e `headPtr` che punta al *nuovo primo nodo* della coda. La funzione `free` viene usata per *recuperare la memoria* puntata da `tempPtr`.

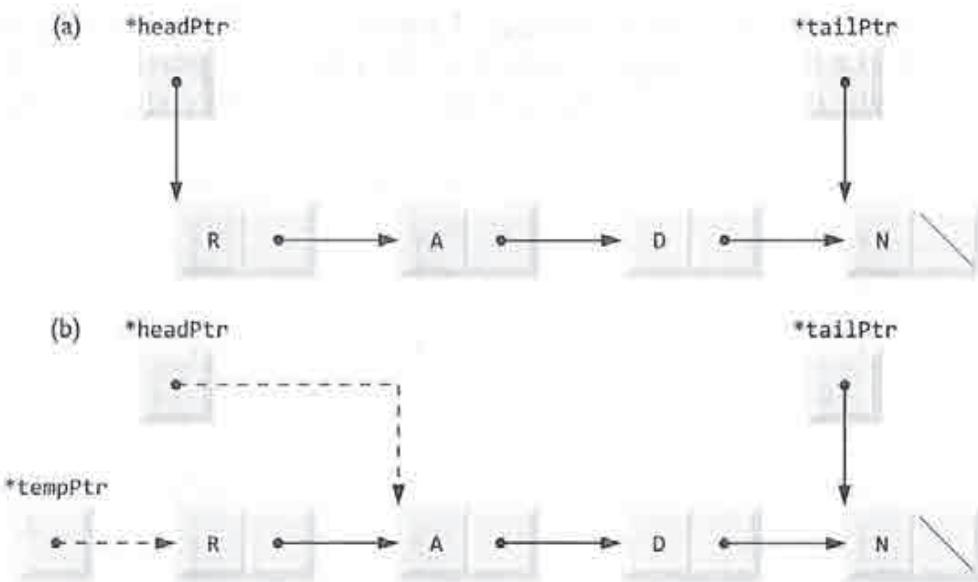


Figura 12.16 Operazione dequeue.

12.7 Alberi

Liste collegate, pile e code sono strutture di dati *lineari*. Un albero è una *struttura di dati non lineare e bidimensionale* con speciali proprietà. I nodi di un albero contengono *due o più collegamenti*. Questo paragrafo esamina gli **alberi binari** (Figura 12.17), alberi i cui nodi contengono tutti *due collegamenti* (di cui nessuno, uno o entrambi possono essere NULL). Il **nodo radice** è il *primo* nodo in un albero. Ogni collegamento nel nodo radice si riferisce a un **figlio**. Il **figlio a sinistra** è il *primo* nodo nel **sottoalbero sinistro** e il **figlio a destra** è il *primo* nodo nel **sottoalbero destro**. I figli di un nodo sono chiamati **fratelli**. Un nodo *senza figli* è chiamato **nodo foglia**. Gli informatici normalmente disegnano alberi con il nodo radice in cima, esattamente l'*opposto* degli alberi in natura.

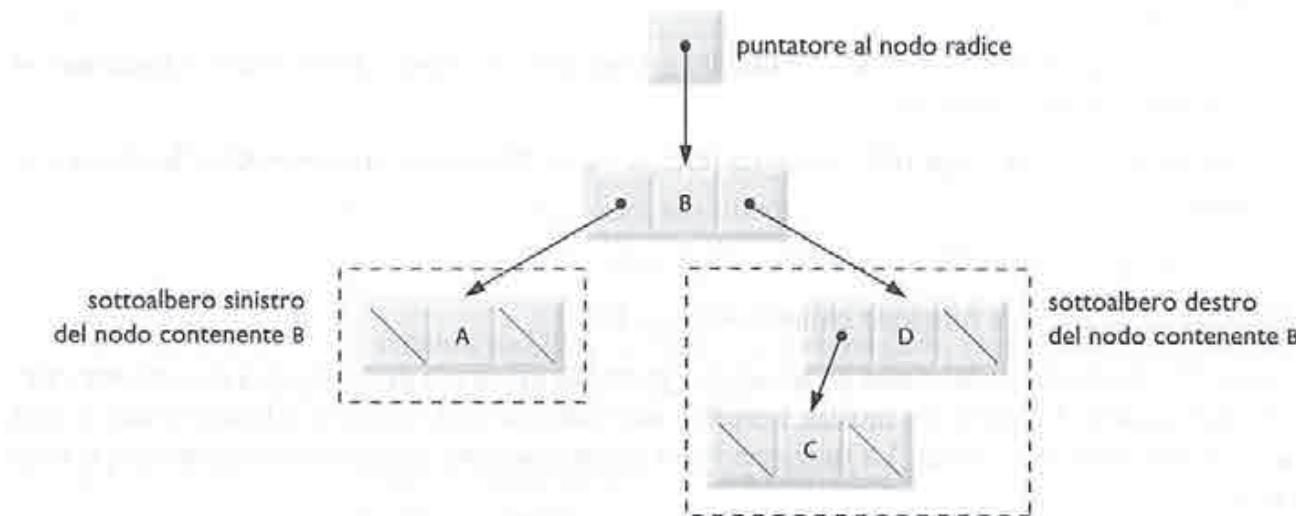


Figura 12.17 Rappresentazione grafica di un albero binario.

In questo paragrafo ci soffermiamo su uno speciale albero binario chiamato **albero di ricerca binaria**. Un albero di ricerca binaria (senza valori duplicati dei nodi) ha la caratteristica che i valori in ogni sottoalbero sinistro sono minori del valore nel nodo padre corrispondente e i valori in ogni sottoalbero destro sono maggiori del valore nel nodo padre corrispondente. La Figura

12.18 illustra un albero di ricerca binaria con nove valori. La forma dell'albero di ricerca binaria per un insieme di dati può *variare* a seconda dell'*ordine* in cui i valori sono *inseriti* nell'albero.



Errore comune di programmazione 12.7

Non impostare a NULL i collegamenti nei nodi foglia di un albero può portare a errori in fase di esecuzione.

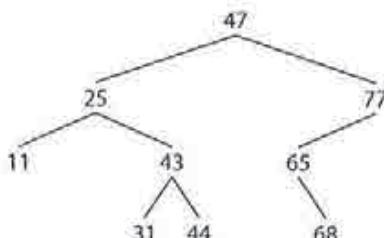


Figura 12.18 Albero di ricerca binaria.

Il programma della Figura 12.19 (il cui output è mostrato nella Figura 12.20) crea un albero per la ricerca binaria e lo *attraversa* in tre modi: **in-ordine**, **in pre-ordine** e **in post-ordine**. Il programma genera 10 numeri a caso e li inserisce ognuno nell'albero, ma i valori *duplicati* vengono *eliminati*.

```

1 // Fig. 12.19: fig12_19.c
2 // Creazione e attraversamento di un albero binario
3 // in pre-ordine, in ordine e in post-ordine
4 #include <stdio.h>
5 #include <stdlib.h>
6 #include <time.h>
7
8 // struttura autoreferenziale
9 struct treeNode {
10     struct treeNode *leftPtr; // puntatore al sottoalbero sinistro
11     int data; // valore del nodo
12     struct treeNode *rightPtr; // puntatore al sottoalbero destro
13 };
14
15 typedef struct treeNode TreeNode; // sinonimo per struct treeNode
16 typedef TreeNode *TreeNodePtr; // sinonimo per TreeNode*
17
18 // prototipi
19 void insertNode(TreeNodePtr *treePtr, int value);
20 void inOrder(TreeNodePtr treePtr);
21 void preOrder(TreeNodePtr treePtr);
22 void postOrder(TreeNodePtr treePtr);
23
24 // la funzione main inizia l'esecuzione del programma
25 int main(void)
26 {
27     TreeNodePtr rootPtr = NULL; // albero inizialmente vuoto
28
29     srand(time(NULL));
30     puts("The numbers being placed in the tree are:");
  
```

```
31 // inserisci nell'albero valori a caso tra 0 e 14
32 for (unsigned int i = 1; i <= 10; ++i) {
33     int item = rand() % 15;
34     printf("%3d", item);
35     insertNode(&rootPtr, item);
36 }
37
38 // attraversa l'albero in pre-ordine
39 puts("\n\nThe preOrder traversal is:");
40 preOrder(rootPtr);
41
42 // attraversa l'albero in ordine
43 puts("\n\nThe inOrder traversal is:");
44 inOrder(rootPtr);
45
46 // attraversa l'albero in post-ordine
47 puts("\n\nThe postOrder traversal is:");
48 postOrder(rootPtr);
49 }
50
51 // inserisci un nodo nell'albero
52 void insertNode(TreeNodePtr *treePtr, int value)
53 {
54     // se l'albero e' vuoto
55     if (*treePtr == NULL) {
56         *treePtr = malloc(sizeof(TreeNode));
57
58         // se la memoria e' stata allocata, allora memorizza il valore
59         if (*treePtr != NULL) {
60             (*treePtr)->data = value;
61             (*treePtr)->leftPtr = NULL;
62             (*treePtr)->rightPtr = NULL;
63         }
64     }
65     else {
66         printf("%d not inserted. No memory available.\n", value);
67     }
68 }
69 else { // l'albero non e' vuoto
70     // il valore da inserire e' minore del valore nel nodo corrente
71     if (value < (*treePtr)->data) {
72         insertNode(&(*treePtr)->leftPtr, value);
73     }
74
75     // il valore da inserire e' maggiore del valore nel nodo corrente
76     else if (value > (*treePtr)->data) {
77         insertNode(&(*treePtr)->rightPtr, value);
78     }
79     else { // i valori duplicati vengono ignorati
80         printf("%s", "dup");
81     }
}
```

```

82     }
83 }
84
85 // inizia l'attraversamento in ordine dell'albero
86 void inOrder(TreeNodePtr treePtr)
87 {
88     // se l'albero non e' vuoto, allora attraversalo
89     if (treePtr != NULL) {
90         inOrder(treePtr->leftPtr);
91         printf("%3d", treePtr->data);
92         inOrder(treePtr->rightPtr);
93     }
94 }
95
96 // inizia l'attraversamento in pre-ordine dell'albero
97 void preOrder(TreeNodePtr treePtr)
98 {
99     // se l'albero non e' vuoto, allora attraversalo
100    if (treePtr != NULL) {
101        printf("%3d", treePtr->data);
102        preOrder(treePtr->leftPtr);
103        preOrder(treePtr->rightPtr);
104    }
105 }
106
107 // inizia l'attraversamento in post-ordine dell'albero
108 void postOrder(TreeNodePtr treePtr)
109 {
110     // se l'albero non e' vuoto, allora attraversalo
111     if (treePtr != NULL) {
112         postOrder(treePtr->leftPtr);
113         postOrder(treePtr->rightPtr);
114         printf("%3d", treePtr->data);
115     }
116 }

```

Figura 12.19 Creazione e attraversamento di un albero binario.

The numbers being placed in the tree are:

6 7 4 12 7dup 2 2dup 5 7dup 11

The preOrder traversal is:

6 4 2 5 7 12 11

The inOrder traversal is:

2 4 5 6 7 11 12

The postOrder traversal is:

2 5 4 11 12 7 6

Figura 12.20 Esempio di output per il programma della Figura 12.19.

12.7.1 Funzione insertNode

Le funzioni usate nella Figura 12.19 per creare un albero di ricerca binaria e attraversarlo sono *ricorsive*. La funzione `insertNode` (righe 53–83) riceve come argomenti l'*indirizzo dell'albero* e un *intero da memorizzare* nell'albero. Un nodo può essere inserito in un albero di ricerca binaria solo come *nodo foglia*. I passi per inserire un nodo in un albero di ricerca binaria sono i seguenti:

1. Se `*treePtr` è `NULL` (riga 56), crea un nuovo nodo (riga 57). Chiama `malloc`, assegna la *memoria allocata* a `*treePtr`, assegna a `(*treePtr)->data` l'*intero da memorizzare* (riga 61), assegna a `(*treePtr)->leftPtr` e a `(*treePtr)->rightPtr` il valore `NULL` (righe 62–63) e restituisce il controllo alla funzione chiamante (o `main` o una precedente chiamata di `insertNode`).
2. Se il valore di `*treePtr` non è `NULL` e il valore da inserire è *minore di* `(*treePtr)->data`, si chiama ricorsivamente la funzione `insertNode` con l'indirizzo di `(*treePtr)->leftPtr` (riga 72) per inserire il nodo nel sottoalbero sinistro del nodo puntato da `treePtr`. Se il valore da inserire è *maggiori di* `(*treePtr)->data`, si chiama ricorsivamente la funzione `insertNode` con l'indirizzo di `(*treePtr)->rightPtr` (riga 77) per inserire il nodo nel sottoalbero destro del nodo puntato da `treePtr`.

Le *chiamate ricorsive* continuano finché non si trova un puntatore `NULL`, quindi il *passo 1* inserisce il nodo nuovo.

12.7.2 Visite di alberi: funzioni `inOrder`, `preOrder` e `postOrder`

Le funzioni `inOrder` (righe 86–94), `preOrder` (righe 97–105) e `postOrder` (righe 108–116) ricevono ognuna un *albero* (cioè il *puntatore al nodo radice dell'albero*) e lo visitano, ovvero lo *attraversano*.

I passi per una visita *in ordine* (funzione `inOrder`) sono:

1. Visita il sottoalbero *sinistro* in ordine.
2. Elabora il valore nel nodo.
3. Visita il sottoalbero *destro* in ordine.

Il valore in un nodo non viene elaborato finché non vengono elaborati i valori nel suo sottoalbero *sinistro*. La visita in ordine dell'albero nella Figura 12.21 è:

6 13 17 27 33 42 48

La visita in ordine di un albero di ricerca binaria stampa i valori del nodo in ordine *crescente*. Il processo di creazione di un albero di ricerca binaria in realtà mette in ordine i dati, per cui questo processo è chiamato *ordinamento con albero binario*.

I passi per una visita in *pre-ordine* (funzione `preOrder`) sono:

1. Elabora il valore nel nodo.
2. Visita il sottoalbero *sinistro* in pre-ordine.
3. Visita il sottoalbero *destro* in pre-ordine.

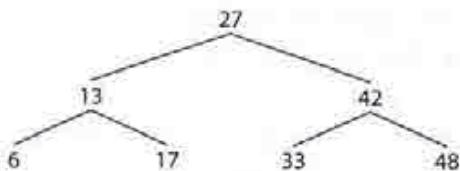


Figura 12.21 Albero di ricerca binaria con sette nodi.

Il valore in ogni nodo viene elaborato quando il nodo viene visitato. Dopo l'elaborazione del valore in un dato nodo, vengono elaborati i valori nel sottoalbero *sinistro*, quindi quelli nel sottoalbero *destro*. La visita in pre-ordine dell'albero nella Figura 12.21 è:

27 13 6 17 42 33 48

I passi per una visita in post-ordine (funzione `postOrder`) sono:

1. Visita il sottoalbero sinistro in post-ordine.
2. Visita il sottoalbero destro in post-ordine.
3. Elabora il valore nel nodo.

Il valore in ogni nodo non viene stampato finché non vengono stampati i valori dei suoi figli. La visita in post-ordine dell'albero nella Figura 12.21 è:

6 17 13 33 48 42 27

12.7.3 Eliminazione dei duplicati

L'albero di ricerca binaria facilita l'eliminazione dei duplicati. Quando si crea un albero, il tentativo di inserire un valore duplicato verrà riconosciuto, perché un duplicato seguirà su ogni confronto le *stesse* decisioni “andare a sinistra” o “andare a destra” del valore originario. Pertanto, il duplicato verrà alla fine confrontato con un nodo nell'albero contenente lo stesso valore. A questo punto il valore duplicato verrà semplicemente eliminato.

12.7.4 Ricerca in un albero binario

La ricerca in un albero binario di un valore che corrisponde a un valore chiave è anche veloce. Se l'albero è ben compattato, ogni livello contiene all'incirca *il doppio* degli elementi del livello precedente. Un albero di ricerca binaria con n elementi avrà quindi un *massimo* di $\log_2 n$ livelli e di conseguenza si dovranno effettuare un massimo di $\log_2 n$ confronti sia per trovare una corrispondenza sia per determinare che non ne esistano. Ciò significa, ad esempio, che quando si effettua una ricerca in un albero di ricerca binaria (ben compattato) con 1000 elementi, sono necessari non più di 10 confronti, perché $2^{10} > 1000$. Quando si effettua una ricerca in un albero di ricerca binaria (ben compattato) con 1.000.000 di elementi, sono necessari non più di 20 confronti, perché $2^{20} > 1.000.000$.

12.7.5 Altre operazioni su alberi binari

Negli esercizi vengono presentati algoritmi per diverse altre operazioni su alberi binari, come la *stampa* di un albero binario in un formato ad albero bidimensionale e l'esecuzione di un *attraver-*

samento per livelli successivi (detto anche *in ampiezza*) di un albero binario. L’attraversamento per livelli successivi visita i nodi dell’albero *riga per riga* iniziando dal livello del nodo radice. In ogni livello dell’albero i nodi vengono visitati da sinistra a destra. Gli altri esercizi sugli alberi binari riguardano la possibilità per un albero di ricerca binaria di contenere valori duplicati, l’inserimento in un albero binario di valori stringa e la determinazione del numero di livelli.

12.8 Programmazione sicura in C

Il Capitolo 8 del *CERT Secure C Coding Standard* è dedicato alle raccomandazioni e alle regole riguardanti la gestione della memoria (molte si riferiscono all’uso dei puntatori e all’allocazione dinamica della memoria presentata in questo capitolo). Per maggiori informazioni, visitate il sito www.securecoding.cert.org.

- MEM01-C/MEM30-C: i puntatori non devono restare non inizializzati. Invece, si deve loro assegnare o NULL o l’indirizzo di un elemento valido in memoria. Quando usate `free` per rilasciare dinamicamente la memoria allocata, al puntatore passato a `free` *non* viene assegnato un nuovo valore, per cui esso continua a puntare all’indirizzo della memoria che era stata allocata in modo dinamico. L’uso di un tale puntatore “sospeso” può portare ad arresti anomali del programma e a vulnerabilità della sicurezza. Quando liberate la memoria allocata dinamicamente, dovete immediatamente assegnare al puntatore o NULL o un indirizzo valido. Scegliamo di non fare ciò per variabili puntatore locali che immediatamente escono dal campo di azione dopo una chiamata a `free`.
- MEM01-C: quando tentate di usare `free` per rilasciare memoria dinamica che è stata già rilasciata, si verifica un comportamento indefinito, noto come “vulnerabilità del doppio `free`”. Per assicurarsi che non tentiate di rilasciare più di una volta la stessa memoria, impostate immediatamente il puntatore a NULL dopo la chiamata a `free`. Tentare di liberare un puntatore NULL non ha alcun effetto.
- ERR33-C: la maggior parte delle funzioni della Libreria Standard restituisce valori che consentono di determinare se le funzioni hanno eseguito le loro operazioni correttamente. La funzione `malloc`, ad esempio, restituisce NULL se non è in grado di allocare la memoria necessaria. Dovete *sempre* assicurarvi che `malloc` non restituisca NULL *prima* di tentare di usare il puntatore che memorizza il valore di ritorno di `malloc`.

Riepilogo

Paragrafo 12.1 Introduzione

- Le strutture dinamiche di dati crescono e si riducono in fase di esecuzione.
- Le liste collegate sono collezioni di dati “allineati in una riga”. In una lista collegata gli inserimenti e le cancellazioni vengono effettuati ovunque.
- Con le pile gli inserimenti e le cancellazioni si effettuano solo in cima.
- Le code rappresentano file di attesa; gli inserimenti sono effettuati nel retro di una coda (detto anche tail) e le estrazioni sono effettuate dal fronte di una coda (detto anche head).
- Gli alberi binari facilitano la ricerca e l’ordinamento ad alta velocità di dati, l’eliminazione efficiente di dati duplicati, la rappresentazione di directory di file system e la compilazione di espressioni nel linguaggio macchina.

Paragrafo 12.2 Strutture autoreferenziali

- Una struttura autoreferenziale contiene un membro puntatore che punta a una struttura dello stesso tipo.
- Le strutture autoreferenziali possono essere collegate insieme per formare liste, code, pile e alberi.
- Un puntatore `NULL` indica normalmente la fine di una struttura di dati.

Paragrafo 12.3 Allocazione dinamica di memoria

- La creazione e il mantenimento di strutture dinamiche di dati richiedono l'allocazione dinamica di memoria.
- Le funzioni `malloc` e `free` e l'operatore `sizeof` sono essenziali per l'allocazione dinamica di memoria.
- La funzione `malloc` riceve il numero di byte da allocare e restituisce un puntatore `void *` alla memoria allocata. Un puntatore `void *` può essere assegnato a una variabile di un qualsiasi tipo di puntatore.
- La funzione `malloc` è usata normalmente con l'operatore `sizeof`.
- La memoria allocata da `malloc` non viene inizializzata.
- Se non c'è memoria disponibile, `malloc` restituisce `NULL`.
- La funzione `free` rilascia la memoria, in modo da poterla riallocare in futuro.
- Il C fornisce anche le funzioni `calloc` e `realloc` per creare e modificare gli array dinamici.

Paragrafo 12.4 Liste collegate

- Una lista collegata è una collezione con organizzazione lineare di strutture autoreferenziali, chiamate nodi, connesse da collegamenti tramite puntatori.
- Una lista collegata è accessibile mediante un puntatore al primo nodo. I nodi successivi sono accessibili mediante il membro puntatore di collegamento (link) memorizzato in ogni nodo.
- Per convenzione, il puntatore di collegamento nell'ultimo nodo di una lista è posto a `NULL` per segnare la fine della lista.
- In una lista collegata i dati sono memorizzati in modo dinamico. Ogni nodo viene creato quando è necessario.
- Un nodo può contenere dati di ogni tipo compresi altri oggetti `struct`.
- Le liste collegate sono dinamiche, perciò la lunghezza di una lista può aumentare o diminuire quando è necessario.
- I nodi delle liste collegate non sono normalmente contenuti in memoria in modo contiguo. Dal punto di vista logico, tuttavia, i nodi di una lista collegata appaiono contigui.

Paragrafo 12.5 Pile

- Una pila si può implementare come una versione vincolata di una lista collegata. I nuovi nodi possono essere aggiunti e rimossi da una pila solo dalla cima, per cui una pila viene indicata come una struttura di dati last-in, first-out (LIFO).
- Le principali funzioni usate per manipolare una pila sono `push` e `pop`. La funzione `push` crea un nuovo nodo e lo pone in cima alla pila. La funzione `pop` estrae un nodo dalla cima della pila, libera la memoria che era allocata per il nodo estratto e restituisce il valore estratto.

- Ogni volta che viene effettuata una chiamata a una funzione, la funzione chiamata deve sapere come tornare alla sua funzione chiamante, pertanto l'indirizzo di ritorno è inserito in cima a una pila. Se si verifica una serie di chiamate a funzioni, i valori di ritorno successivi sono inseriti nella pila in ordine last-in, first-out, in modo che ogni funzione possa tornare alla sua funzione chiamante. Le pile supportano le chiamate di funzioni ricorsive alla stessa maniera delle chiamate non ricorsive convenzionali.
- Le pile sono usate dai compilatori nel processo di valutazione di espressioni e di generazione del codice in linguaggio macchina.

Paragrafo 12.6 Code

- I nodi di una coda vengono rimossi solo dalla testa della coda e inseriti solo in fondo alla coda. Una coda viene pertanto indicata come una struttura di dati first-in, first-out (FIFO).
- Le operazioni di inserimento e di rimozione di elementi per una coda sono note come enqueue e dequeue.

Paragrafo 12.7 Alberi

- Un albero è una struttura di dati non lineare e bidimensionale. I nodi di un albero contengono due o più collegamenti.
- Gli alberi binari sono alberi i cui nodi contengono tutti due collegamenti.
- Il nodo radice è il primo nodo in un albero. Ogni collegamento nel nodo radice di un albero binario si riferisce a un figlio. Il figlio sinistro è il primo nodo nel sottoalbero sinistro e il figlio destro è il primo nodo nel sottoalbero destro. I figli di un nodo sono chiamati fratelli.
- Un nodo senza figli è chiamato nodo foglia.
- Un albero di ricerca binaria (senza valori duplicati) ha la caratteristica che i valori in ogni sottoalbero sinistro sono minori del valore nel nodo padre corrispondente e i valori in ogni sottoalbero destro sono maggiori del valore nel nodo padre corrispondente.
- Un nodo può essere inserito in un albero di ricerca binaria solo come nodo foglia.
- I passi per una visita in ordine sono: visita il sottoalbero sinistro in ordine, elabora il valore nel nodo, quindi visita il sottoalbero destro in ordine. Il valore in ogni nodo non è elaborato finché non sono stati elaborati i valori nel suo sottoalbero sinistro.
- La visita in ordine di un albero di ricerca binaria elabora i valori dei nodi in ordine crescente. Il processo di creazione di un albero di ricerca binaria in realtà ordina i dati. Pertanto questo processo viene chiamato ordinamento con albero binario.
- I passi per una visita in pre-ordine sono: elabora il valore nel nodo, visita il sottoalbero sinistro in pre-ordine, quindi visita il sottoalbero destro in pre-ordine. Il valore in ogni nodo è elaborato quando il nodo viene visitato. Dopo che viene elaborato il valore in un dato nodo, vengono elaborati i valori nel sottoalbero sinistro, poi vengono elaborati i valori nel sottoalbero destro.
- I passi per una visita in post-ordine sono: visita il sottoalbero sinistro in post-ordine, visita il sottoalbero destro in post-ordine, quindi elabora il valore nel nodo. Il valore in ogni nodo non viene elaborato finché non sono stati elaborati i valori dei suoi figli.
- Un albero di ricerca binaria facilita l'eliminazione di duplicati. Quando si crea un albero, un tentativo di inserire un valore duplicato sarà riconosciuto perché un duplicato seguirà su ogni confronto le stesse decisioni "andare a sinistra" o "andare a destra" del valore originario. Pertanto, il duplicato verrà alla fine confrontato con un nodo nell'albero contenente lo stesso valore. A questo punto il valore duplicato potrà essere semplicemente eliminato.

- La ricerca in un albero binario di un valore corrispondente a un valore chiave è anche veloce. Se l'albero è ben compattato, ogni livello contiene circa il doppio degli elementi del livello precedente. Pertanto un albero per la ricerca binaria con n elementi avrebbe un massimo di $\log_2 n$ livelli e si dovrebbe quindi effettuare un massimo di $\log_2 n$ confronti sia per trovare una corrispondenza sia per determinare che non ne esiste alcuna. Ciò significa che, quando si effettua una ricerca in un albero di ricerca binaria con 1000 elementi (ben compattato), servono non più di 10 confronti, perché $2^{10} > 1000$. Quando si effettua una ricerca in un albero di ricerca binaria con 1.000.000 di elementi (ben compattato), servono non più di 20 confronti, perché $2^{20} > 1.000.000$.

Esercizi di autovalutazione

12.1 Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti asserzioni:

- Una struttura auto-_____ viene usata per costruire strutture dinamiche di dati.
- La funzione _____ viene usata per allocare in modo dinamico la memoria.
- Una _____ è una versione specializzata di una lista collegata nella quale i nodi possono essere inseriti e cancellati solo dall'inizio della lista.
- Le funzioni che esaminano una lista collegata ma non la modificano sono chiamate _____.
- Una coda viene detta una struttura di dati _____.
- Il puntatore al nodo successivo in una lista collegata è chiamato _____.
- La funzione _____ viene usata per rilasciare la memoria allocata in modo dinamico.
- Una _____ è una versione specializzata di una lista collegata nella quale i nodi possono essere inseriti solo alla fine della lista e rimossi solo dall'inizio di essa.
- Un _____ è una struttura di dati non lineare e bidimensionale contenente nodi con due o più collegamenti.
- Una pila è chiamata struttura di dati _____ perché l'ultimo nodo inserito è il primo a essere rimosso.
- I nodi di un albero _____ contengono due membri link.
- Il primo nodo di un albero è il nodo _____.
- Ogni collegamento nel nodo di un albero punta a un _____ o a un _____ di quel nodo.
- Un nodo di un albero che non ha figli è chiamato nodo _____.
- I tre algoritmi di attraversamento (trattati in questo capitolo) per un albero binario sono detti _____, _____ e _____.

12.2 Quali sono le differenze tra una lista collegata e una pila?

12.3 Quali sono le differenze tra una pila e una coda?

12.4 Scrivete un'istruzione o un insieme di istruzioni per eseguire ognuna delle seguenti operazioni. Supponete che tutte le manipolazioni avvengano nella funzione `main` (dunque non occorrono indirizzi di variabili puntatore) e presupponete le seguenti definizioni:

```
struct gradeNode {
    char lastName[ 20 ];
    double grade;
    struct gradeNode *nextPtr;
};

typedef struct gradeNode GradeNode;
typedef GradeNode *GradeNodePtr;
```

- Create un puntatore all'inizio della lista con il nome `startPtr`. La lista è vuota.
- Create un nuovo nodo di tipo `GradeNode` puntato dal puntatore `newPtr` di tipo `GradeNodePtr`. Assegnate la stringa "Jones" al membro `lastName` e il valore 91.5 al membro `grade` (usate `strcpy`). Scrivete tutte le dichiarazioni e le istruzioni necessarie.
- Supponete che la lista puntata da `startPtr` sia composta attualmente da 2 nodi: uno contenente "Jones" e uno contenente "Smith". I nodi sono in ordine alfabetico. Scrivete le istruzioni necessarie per inserire in ordine i nodi contenenti i seguenti dati per `lastName` e `grade`:

"Adams"	85.0
"Thompson"	73.5
"Pritchard"	66.5

Usate i puntatori `previousPtr`, `currentPtr` e `newPtr` per effettuare gli inserimenti. Prima di ogni inserimento, stabilite a cosa puntano `previousPtr` e `currentPtr`. Supponete che `newPtr` punti sempre al nuovo nodo e che a questo siano già stati assegnati i dati.

- Scrivete un ciclo `while` che stampi i dati di ogni nodo della lista. Usate il puntatore `currentPtr` per spostarvi lungo la lista.
 - Scrivete un ciclo `while` che cancelli tutti i nodi nella lista e liberi la memoria associata a ogni nodo. Usate il puntatore `currentPtr` e il puntatore `tempPtr`, rispettivamente, per muovervi lungo la lista e per liberare la memoria.
- 12.5 (*Visite di un albero di ricerca binaria*) Indicate le sequenze di valori relative alle visite in ordine, pre-ordine e post-ordine dell'albero di ricerca binaria della Figura 12.22.

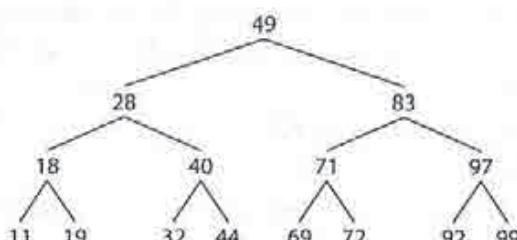


Figura 12.22 Un albero di ricerca binaria con 15 nodi.

Risposte agli esercizi di autovalutazione

- 12.1 a) referenziale. b) `malloc`. c) pila. d) predicati. e) FIFO. f) link. g) `free`. h) coda. i) albero. j) LIFO. k) binario. l) radice. m) figlio, sottoalbero. n) foglia. o) in ordine, pre-ordine, post-ordine.
- 12.2 È possibile inserire e rimuovere un nodo ovunque in una lista collegata. I nodi in una pila possono essere inseriti e rimossi solo dalla cima della pila.
- 12.3 Una coda ha puntatori sia alla testa che alla fine di essa, in modo che i nodi possano essere inseriti alla fine e rimossi dalla testa. Una pila ha un solo puntatore in cima, dove si effettuano sia l'inserimento che la rimozione dei nodi.
- 12.4 a) `GradeNodePtr startPtr = NULL;`
 b) `GradeNodePtr newPtr;`
`newPtr = malloc(sizeof(GradeNode));`
`strcpy(newPtr->lastName, "Jones");`
`newPtr->grade = 91.5;`
`newPtr->nextPtr = NULL;`

- c) Per inserire "Adams":

previousPtr è NULL, currentPtr punta al primo elemento nella lista.

```
newPtr->nextPtr = currentPtr;
```

```
startPtr = newPtr;
```

Per inserire "Thompson":

previousPtr punta all'ultimo elemento nella lista (contenente "Smith")

currentPtr è NULL.

```
newPtr->nextPtr = currentPtr;
```

```
previousPtr->nextPtr = newPtr;
```

Per inserire "Pritchard":

previousPtr punta al nodo contenente "Jones"

currentPtr punta al nodo contenente "Smith"

```
newPtr->nextPtr = currentPtr;
```

```
previousPtr->nextPtr = newPtr;
```

- d) `currentPtr = startPtr;`

```
while (currentPtr != NULL) {
```

```
    printf("Lastname = %s\nGrade = %.2f\n",
           currentPtr->lastName, currentPtr->grade);
```

```
    currentPtr = currentPtr->nextPtr;
```

```
}
```

- e) `currentPtr = startPtr;`

```
while (currentPtr != NULL) {
```

```
    tempPtr = currentPtr;
```

```
    currentPtr = currentPtr->nextPtr;
```

```
    free(tempPtr);
```

```
}
```

```
startPtr = NULL;
```

12.5 L'attraversamento *in ordine* dà:

11 18 19 28 32 40 44 49 69 71 72 83 92 97 99

L'attraversamento *in pre-ordine* dà:

49 28 18 11 19 40 32 44 83 71 69 72 97 92 99

L'attraversamento *in post-ordine* dà:

11 19 18 32 44 40 28 69 72 71 92 99 97 83 49

Esercizi

12.6 (*Concatenamento di liste*) Scrivete un programma che concatensi due liste collegate di caratteri. Il programma deve includere la funzione `concatenate` che riceve come argomenti i puntatori a entrambe le liste e concatena la seconda lista alla prima.

12.7 (*Fusione di liste ordinate*) Scrivete un programma in grado di fondere due liste ordinate di interi in una singola lista ordinata di interi. La funzione `merge` deve ricevere i puntatori al primo nodo di ognuna delle liste da fondere e restituire un puntatore al primo nodo della lista fusa.

12.8 (*Inserimento in una lista ordinata*) Scrivete un programma che inserisca a caso 25 interi da 0 a 100 in ordine in una lista collegata. Il programma deve calcolare la somma degli elementi e la loro media in virgola mobile.

12.9 (Creare una lista collegata, quindi invertirne gli elementi) Scrivete un programma che crei una lista collegata di 10 caratteri e poi crei una copia della lista in ordine inverso.

12.10 (Invertire le parole di una frase) Scrivete un programma che riceva in ingresso una riga di testo e usi una pila per stampare la riga in ordine inverso.

12.11 (Test di palindromi) Scrivete un programma che usi una pila per determinare se una stringa è un palindromo (cioè la stringa si legge allo stesso modo in avanti e all'indietro). Il programma deve ignorare spazi e punteggiatura.

12.12 (Convertitore da infisso a postfisso) Le pile vengono usate dai compilatori per facilitare il processo di valutazione delle espressioni e per la generazione di codice in linguaggio macchina. In questo e nel prossimo esercizio analizziamo come i compilatori valutano le espressioni aritmetiche in cui compaiono solo costanti, operatori e parentesi.

Gli esseri umani, generalmente, scrivono espressioni nella forma $3 + 4$ e $7 / 9$ in cui l'operatore (+ o / in questo caso) viene scritto tra i suoi operandi (**notazione infissa**). I computer "preferiscono" la **notazione postfissa** in cui l'operatore viene scritto alla destra dei suoi due operandi. Le precedenti espressioni infisse apparirebbero nella notazione postfissa, rispettivamente, come $3\ 4 +$ e $7\ 9 /$.

Per valutare un'espressione infissa complessa, alcuni compilatori convertono dapprima l'espressione nella notazione postfissa e poi valutano la versione postfissa. Ognuno di questi algoritmi richiede soltanto una singola passata da sinistra a destra per l'espressione. Ogni algoritmo usa una pila a supporto delle sue operazioni e in ognuno di essi la pila viene usata per uno scopo differente.

In questo esercizio scriverete una versione dell'algoritmo di conversione da infisso a postfisso. Nel prossimo esercizio scriverete una versione dell'algoritmo per la valutazione dell'espressione postfissa.

Scrivete un programma che converta una comune espressione aritmetica infissa (supponete che sia inserita un'espressione corretta) con interi a singola cifra come

$(6 + 2) * 5 - 8 / 4$

in un'espressione postfissa. La versione postfissa dell'espressione infissa precedente è

$6\ 2 + 5 * 8\ 4 / -$

Il programma deve leggere l'espressione memorizzata nell'array di caratteri `infix` e usare le funzioni per le pile implementate in questo capitolo come supporto alla generazione dell'espressione postfissa nell'array di caratteri `postfix`. L'algoritmo di generazione dell'espressione postfissa è il seguente:

1. Inserite (push) una parentesi sinistra '(' nella pila.
2. Aggiungete una parentesi destra ')' alla fine di `infix`.
3. Finché la pila non è vuota, leggete `infix` da sinistra a destra ed eseguite le seguenti operazioni:

Se il carattere corrente in `infix` è una cifra, copiatelo nel successivo elemento di `postfix`.

Se il carattere corrente in `infix` è una parentesi sinistra, inseritelo nella pila.

Se il carattere corrente in `infix` è un operatore,

estraete (pop) gli operatori (se ve ne sono) dalla cima della pila finché questi hanno precedenza uguale o maggiore rispetto all'operatore corrente e inserite gli operatori estratti in `postfix`;

inserite il carattere corrente in `infix` nella pila.

Se il carattere corrente in `infix` è una parentesi destra,
 estraete gli operatori dalla cima della pila e inseriteli in `postfix` finché non
 compare una parentesi sinistra in cima alla pila;
 estraete (ed eliminate) la parentesi sinistra dalla pila.

In un'espressione sono permesse le seguenti operazioni aritmetiche:

- + addizione
- sottrazione
- * moltiplicazione
- / divisione
- ^ esponenziazione
- % resto

La pila deve essere gestita secondo le dichiarazioni seguenti:

```
struct stackNode {
    char data;
    struct stackNode *nextPtr;
};

typedef struct stackNode StackNode;
typedef StackNode *StackNodePtr;
```

Il programma deve consistere nella funzione `main` e in altre otto funzioni con le seguenti intestazioni di funzione:

`void convertToPostfix(char infix[], char postfix[])`

Converte l'espressione infissa nella notazione postfissa.

`int isOperator(char c)`

Determina se `c` è un operatore.

`int precedence(char operator1, char operator2)`

Determina se la precedenza di `operator1` è minore, uguale o maggiore della precedenza di `operator2`. La funzione restituisce, rispettivamente, -1, 0 e 1.

`void push(StackNodePtr *topPtr, char value)`

Inserisce un valore nella pila.

`char pop(StackNodePtr *topPtr)`

Estrae un valore dalla pila.

`char stackTop(StackNodePtr topPtr)`

Restituisce il valore in cima alla pila senza estrarre dalla pila.

`int isEmpty(StackNodePtr topPtr)`

Determina se la pila è vuota.

`void printStack(StackNodePtr topPtr)`

Stampa la pila.

12.13 (Valutatore di espressioni postfisse) Scrivete un programma che valuti un'espressione postfissa (supponete che sia corretta) come

6 2 + 5 * 8 4 / -

Il programma deve leggere un'espressione postfissa costituita da singole cifre e operatori memorizzata in un array di caratteri. Usando le funzioni per le pile implementate preceden-

temente in questo capitolo, il programma deve analizzare l'espressione e valutarla. L'algoritmo è il seguente:

1. Aggiungete il carattere nullo ('\0') alla fine dell'espressione postfissa. Quando si incontra il carattere nullo, non occorre un'ulteriore elaborazione.
2. Finché non si incontra '\0', leggete l'espressione da sinistra a destra.
Se il carattere corrente è una cifra,
inserite (push) il suo valore intero nella pila (il valore intero di un carattere cifra è il suo valore nell'insieme dei caratteri del computer meno il valore di '0' nello stesso insieme).
Altrimenti, se il carattere corrente è un *operatore*,
estraete (pop) i due elementi in cima alla pila e assegnateli rispettivamente alle variabili *x* e *y*;
calcolate *y operatore x*;
inserite il risultato del calcolo nella pila.
3. Quando nell'espressione si incontra il carattere nullo, estraete il valore in cima alla pila. Questo è il risultato dell'espressione postfissa.

[Nota: al passo 2) di cui sopra, se l'operatore corrente è '/', la cima della pila è 2 e il successivo elemento nella pila è 8, allora si estraе 2 e si assegna a *x*, si estraе 8 e si assegna a *y*, si calcola $8 / 2$ e si inserisce il risultato, 4, nella pila. Questa nota riguarda anche altri operatori binari.]

Le operazioni aritmetiche permesse in un'espressione sono:

- + addizione
- sottrazione
- * moltiplicazione
- / divisione
- [^] esponenziazione
- % resto

La pila deve essere gestita secondo le dichiarazioni seguenti:

```
struct stackNode{
    int data;
    struct stackNode *nextPtr;
};

typedef struct stackNode StackNode;
typedef StackNode *StackNodePtr;
```

Il programma deve consistere nella funzione main e in sei altre funzioni con le seguenti intestazioni di funzione:

```
int evaluatePostfixExpression(char *expr)
    Valuta l'espressione postfissa.

int calculate(int op1, int op2, char operator)
    Valuta l'espressione op1 operator op2.

void push(StackNodePtr *topPtr, int value)
    Inserisce un valore nella pila.

int pop(StackNodePtr *topPtr)
    Estraе un valore dalla pila.
```

```

int isEmpty(StackNodePtr topPtr)
    Determina se la pila è vuota.
void printStack(StackNodePtr topPtr)
    Stampa la pila.

```

12.14 (Modifica del valutatore di espressioni postfisse) Modificate il programma del valutatore di espressioni postfisse dell'Esercizio 12.13 in modo che possa elaborare operandi interi più grandi di 9.

12.15 (Simulazione del supermarket) Scrivete un programma che simuli una fila alla cassa di un supermercato. La fila è una coda. I clienti arrivano a intervalli interi casuali da 1 a 4 minuti. Inoltre, ogni cliente viene servito a intervalli interi casuali da 1 a 4 minuti. Ovviamente, le frequenze devono essere equilibrate. Se la frequenza media di arrivo è più grande della frequenza media del servizio, la coda crescerà all'infinito. Persino con frequenze equilibrate la casualità può provocare ancora lunghe file. Eseguite la simulazione del supermarket per una giornata di 12 ore (720 minuti) usando il seguente algoritmo:

1. Scegliete un intero a caso tra 1 e 4 per determinare il minuto in cui arriva il primo cliente.
2. Al momento dell'arrivo del primo cliente:
determinate il tempo del servizio per il cliente (un intero casuale da 1 a 4);
iniziate a servire il cliente;
calcolate il momento di arrivo del cliente successivo (un intero casuale da 1 a 4 aggiunto al tempo corrente in minuti).
3. Per ogni minuto del giorno:
Se arriva il cliente successivo,
mostratelo;
mettete in coda il cliente;
calcolate il momento di arrivo del cliente successivo.
Se il servizio per l'ultimo cliente servito è stato completato,
mostratelo;
estraete dalla coda il prossimo cliente da servire;
determinate il momento del completamento del servizio per il cliente
(un intero casuale da 1 a 4 aggiunto al tempo corrente in minuti).

Ora fate eseguire la vostra simulazione per 720 minuti e rispondete a ognuna delle seguenti domande:

- a) Qual è il numero massimo di clienti nella coda a una qualunque ora?
- b) Qual è l'attesa più lunga di un cliente?
- c) Cosa succede se l'intervalllo degli arrivi viene cambiato da 1 a 4 minuti a un intervallo da 1 a 3 minuti?

12.16 (Duplicati in un albero binario) Modificate il programma della Figura 12.19 per permettere all'albero binario di contenere valori duplicati.

12.17 (Albero di ricerca binaria di stringhe) Scrivete un programma basato sul programma della Figura 12.19 che riceva in ingresso una riga di testo, suddivida la frase in parole separate, inserisca le parole in un albero di ricerca binaria e stampi i risultati delle visite dell'albero in ordine, pre-ordine e post-ordine.

[Suggerimento: leggete la riga di testo e memorizzatela in un array. Usate strtok per suddividere in token il testo. Quando viene rilevato un token, create un nuovo nodo per l'albe-

ro, assegnate il puntatore restituito da `strtok` al membro `string` del nuovo nodo e inserite il nodo nell'albero.]

- 12.18 (*Eliminazione dei duplicati*) Abbiamo visto che l'eliminazione dei duplicati è semplice quando si crea un albero di ricerca binaria. Descrivete come eseguireste l'eliminazione dei duplicati usando soltanto un singolo array unidimensionale. Confrontate l'esecuzione dell'eliminazione dei duplicati basata su un array con l'esecuzione dell'eliminazione dei duplicati basata sull'albero di ricerca binaria.
- 12.19 (*Profondità di un albero binario*) Scrivete una funzione `depth` che riceva un albero binario e determini quanti livelli ha.
- 12.20 (*Stampare ricorsivamente una lista all'indietro*) Scrivete una funzione `printListBackward` che stampi in maniera ricorsiva gli elementi in una lista in ordine inverso. Usate la vostra funzione in un programma di test che crea una lista ordinata di interi e stampa la lista in ordine inverso.
- 12.21 (*Effettuare ricorsivamente una ricerca in una lista*) Scrivete una funzione `searchList` che cerchi ricorsivamente un valore specificato in una lista collegata. La funzione deve restituire un puntatore al valore se questo viene trovato, altrimenti deve restituire `NULL`. Usate la vostra funzione in un programma di test che crea una lista di interi. Il programma deve poi richiedere all'utente un valore da cercare nella lista.
- 12.22 (*Ricerca in un albero binario*) Scrivete la funzione `binaryTreeSearch` che cerca di localizzare un valore specificato in un albero di ricerca binaria. La funzione deve ricevere come argomenti un puntatore al nodo radice dell'albero binario e una chiave di ricerca. Se viene trovato un nodo contenente la chiave di ricerca, la funzione deve restituire un puntatore a quel nodo; altrimenti, la funzione deve restituire un puntatore `NULL`.
- 12.23 (*Visita di un albero binario per livelli successivi*) Il programma della Figura 12.19 illustra tre metodi ricorsivi di visita di un albero binario: la visita in ordine, la visita in pre-ordine e la visita in post-ordine. Questo esercizio presenta la **visita per livelli successivi** (detta anche **in ampiezza**) di un albero binario, in cui i valori dei nodi sono stampati livello per livello a partire dal livello del nodo radice. I nodi a ogni livello sono stampati da sinistra a destra. La visita per livelli successivi non è un algoritmo ricorsivo. Essa usa la struttura di dati a coda per determinare l'ordine di stampa dei nodi. L'algoritmo è il seguente:

1. Inserite il nodo radice nella coda.
2. Finché vi sono nodi nella coda,
 - estraete il prossimo nodo dalla coda;
 - stampate il valore del nodo;
 - se il puntatore al figlio sinistro del nodo non è nullo,
 - inserite nella coda il nodo relativo al figlio sinistro; - se il puntatore al figlio destro del nodo non è nullo,
 - inserite nella coda il nodo relativo al figlio destro.

Scrivete la funzione `levelOrder` per compiere una visita per livelli successivi di un albero binario. La funzione deve ricevere come argomento un puntatore al nodo radice dell'albero binario. Modificate il programma della Figura 12.19 per usare questa funzione. Confrontate l'output di questa funzione con l'output degli altri algoritmi di attraversamento per controllare che abbia funzionato correttamente. [Nota: in questo programma dovrete anche modificare e incorporare le funzioni di elaborazione di code della Figura 12.13.]

- 12.24 (*Stampare alberi*) Scrivete una funzione ricorsiva `outputTree` per stampare sullo schermo un albero binario. La funzione deve stampare l'albero riga per riga, con la cima dell'albero alla sinistra dello schermo e la parte inferiore dell'albero verso la destra dello schermo. Ogni riga viene stampata verticalmente. Ad esempio, l'albero binario illustrato nella Figura 12.22 è stampato come segue:

```
graph TD; 99 --> 97; 99 --> 83; 83 --> 49; 49 --> 28; 28 --> 18; 18 --> 11; 18 --> 19; 28 --> 32; 32 --> 40; 40 --> 44; 44 --> 69; 69 --> 71; 71 --> 72; 72 --> 92; 92 --> 97; 97 --> 99;
```

Notate che il nodo foglia più a destra appare in cima all'output nella colonna più a destra e che il nodo radice appare alla sinistra dell'output. Ogni colonna di output inizia cinque spazi a destra della colonna precedente. La funzione `outputTree` deve ricevere come argomenti un puntatore al nodo radice dell'albero e un intero `totalSpaces` che indica il numero di spazi che deve precedere il valore da stampare (questa variabile deve iniziare da zero, in modo che il nodo radice sia stampato alla sinistra dello schermo). La funzione usa una visita in ordine modificata per stampare l'albero. L'algoritmo è il seguente:

Finché il puntatore al nodo corrente non è `NULL`,
chiamate ricorsivamente `outputTree` con il sottoalbero destro del nodo corrente e `totalSpaces + 5`,
usate un'istruzione `for` per contare da 1 a `totalSpaces` e stampare gli spazi,
stampate il valore nel nodo corrente,
chiamate ricorsivamente `outputTree` con il sottoalbero sinistro del nodo corrente e `totalSpaces + 5`.

Paragrafo speciale: costruire il proprio compilatore

Negli Esercizi 7.27–7.29 abbiamo introdotto il linguaggio macchina del Simpletron (SML) e avete implementato un simulatore del computer Simpletron per eseguire programmi in SML. Negli Esercizi 12.25–12.29 si richiede la costruzione di un compilatore che converte in SML programmi scritti in un linguaggio di programmazione ad alto livello. Questo paragrafo “lega” insieme l'intero processo di programmazione. Una volta creato il compilatore, scrivete programmi in questo nuovo linguaggio ad alto livello, compilateli sul compilatore da voi costruito ed eseguiteli sul simulatore che avete realizzato con l'Esercizio 7.28.



OBIETTIVI

- Usare `#include` per sviluppare programmi di grandi dimensioni.
- Usare `#define` per creare macro con e senza argomenti.
- Usare la compilazione condizionale per specificare porzioni di un programma che non sempre devono essere compilate (come il codice di supporto per il debugging).
- Stampare messaggi di errore durante la compilazione condizionale.
- Usare asserzioni per verificare se i valori di alcune espressioni sono corretti.

13.1 Introduzione

Il preprocessore del C elabora un programma in C *prima* che questo sia compilato. Alcune azioni che esso compie sono:

- l'inclusione di altri file nel file da compilare,
- la definizione di costanti simboliche e macro,
- la compilazione condizionale del codice del programma e
- l'esecuzione condizionale delle direttive per il preprocessore.

Le direttive per il preprocessore iniziano con `#`, e solo caratteri di spaziatura e commenti delimitati da `/*` e `*/` possono comparire su una riga prima di una direttiva per il preprocessore.

Il C ha forse la più grande collezione installata di codice "legacy" (letteralmente "ereditato") rispetto a qualunque altro moderno linguaggio di programmazione. È usato attivamente da oltre quarant'anni. In qualità di programmatore professionista in C, è probabile che vi imbattiate in codice scritto molti anni fa con l'uso di tecniche di programmazione ormai vecchie. Per aiutarvi a essere preparati a tale eventualità, in questo capitolo esaminiamo alcune di quelle tecniche, consigliandovene altre più nuove in grado di sostituirle.

13.2 Direttiva per il preprocessore `#include`

Dovunque in questo testo si è fatto uso della direttiva `#include` per il preprocessore. Essa fa sì che *il contenuto* del file specificato sia incluso al posto della direttiva. Le due forme della direttiva `#include` sono:

```
#include <filename>
#include "filename"
```

La differenza tra esse sta nella posizione da cui il preprocessore comincia a cercare i file da includere. Se il nome del file è racchiuso tra parentesi angolari (`< e >`) – usate per i file di **intestazione della Libreria Standard** – la ricerca è compiuta in modo *dipendente dall'implementazione*, normalmente attraverso le directory (o le cartelle) predesignate dal compilatore e di sistema. Se il nome del file è racchiuso tra *virgolette*, il preprocessore inizia la ricerca del file da includere dalla *stessa* directory del file che viene compilato. Questo metodo è usato normalmente per includere le intestazioni definite dal programmatore. Se il compilatore non riesce a trovare il file nella directory corrente, lo cercherà nelle directory predesignate dal compilatore e di sistema.

La direttiva `#include` è usata per includere i file di intestazione della Libreria Standard come `stdio.h` e `stdlib.h` (vedi Figura 5.10) e per i programmi costituiti da più *file sorgente* che vanno compilati insieme. Vengono spesso creati e inclusi nei file intestazioni contenenti dichiarazioni *comuni* a più file separati di un programma. Esempi di tali dichiarazioni sono:

- dichiarazioni di strutture e unioni,
- `typedef`,
- enumerazioni e
- prototipi di funzioni.

13.3 Direttiva per il preprocessore `#define`: costanti simboliche

La direttiva `#define` crea *costanti simboliche* (costanti rappresentate come simboli) e **macro** (operazioni definite come simboli). Il formato della direttiva `#define` è

```
#define identificatore testo di sostituzione
```

Quando in un file è presente questa riga, tutte le occorrenze successive dell'*identificatore* che *non* appaiono in stringhe letterali o commenti saranno rimpiazzate dal *testo di sostituzione* automaticamente *prima* della compilazione del programma. Ad esempio,

```
#define PI 3.14159
```

sostituisce tutte le occorrenze successive della costante simbolica `PI` con la costante numerica `3.14159`. Le *costanti simboliche* vi consentono di creare un nome per una costante e di usarlo in tutto il programma.



Prevenzione di errori 13.1

Tutto quello che sta alla destra del nome della costante simbolica la sostituisce. Ad esempio, `#define PI = 3.14159` fa sì che il preprocessore sostituisca tutte le occorrenze dell'*identificatore PI* con `= 3.14159`. Questa è la causa di molti insidiosi errori logici e di sintassi. Per tale ragione, può essere preferibile usare le dichiarazioni di variabili `const`, come `const double PI = 3.14159;` piuttosto del precedente `#define`.



Errore comune di programmazione 13.1

Tentare di ridefinire una costante simbolica con un nuovo valore è un errore.



Osservazione di ingegneria del software 13.1

L'utilizzo di costanti simboliche fa sì che i programmi siano più facili da modificare. Piuttosto che cercare ogni occorrenza di un valore nel vostro codice, modificate una costante simbolica una volta nella sua direttiva `#define`. Quando il programma viene ricompilato, tutte le occorrenze di quella costante nel programma vengono modificate di conseguenza.



Buona pratica di programmazione 13.1

L'uso di nomi significativi per le costanti simboliche contribuisce a rendere i programmi autodocumentanti.



Buona pratica di programmazione 13.2

Per convenzione, le costanti simboliche vengono definite usando solo lettere maiuscole e sottolineature.

13.4 Direttiva per il preprocessore `#define`: macro

Una macro è un identificatore definito in una direttiva per il preprocessore `#define`. Come avviene con le costanti simboliche, l'identificatore della macro è sostituito con il testo di sostituzione prima che il programma sia compilato. Le macro possono essere definite con o senza argomenti. Una macro senza argomenti viene elaborata come una costante simbolica. In una macro con argomenti, gli argomenti sono sostituiti nel testo di sostituzione, poi la macro viene espansa, cioè il testo di sostituzione sostituisce l'identificatore e la lista degli argomenti nel programma. Una costante simbolica è un tipo di macro.

13.4.1 Macro con un argomento

Considerate la seguente *definizione di macro* unidimensionale con un *argomento* per il calcolo dell'area di un cerchio:

```
#define CIRCLE_AREA(x) ((PI) * (x) * (x))
```

Espandere una macro con un argomento

Dovunque nel file compaia `CIRCLE_AREA(y)`, l'espressione `y` viene copiata al posto di `x` nel testo di sostituzione, la costante simbolica `PI` è sostituita dal suo valore (definito in precedenza) e la macro viene espansa nel programma. Ad esempio, l'istruzione

```
area = CIRCLE_AREA(4);
```

viene espansa in

```
area = ((3.14159) * (4) * (4));
```

quindi, al momento della compilazione, il valore dell'espressione è calcolato e assegnato alla variabile `area`.

Importanza delle parentesi

Le parentesi attorno a ogni `x` nel testo di sostituzione forzano l'ordine giusto di calcolo quando l'argomento della macro è un'espressione. Ad esempio, l'istruzione

```
area = CIRCLE_AREA(c + 2);
```

viene espansa in

```
area = ((3.14159) * (c + 2) * (c + 2));
```

che viene valutata *correttamente*, perché le parentesi forzano l'ordine giusto di calcolo. Se le parentesi nella definizione della macro sono omesse, l'espansione della macro risulta essere

```
area = 3.14159 * c + 2 * c + 2;
```

che viene calcolata in *modo scorretto* come

```
area = (3.14159 * c) + (2 * c) + 2;
```

a causa delle regole di precedenza degli operatori.



Prevenzione di errori 13.2

Racchiudete tra parentesi gli argomenti di una macro nel testo di sostituzione per evitare errori logici.

È meglio usare una funzione

La macro `CIRCLE_AREA` potrebbe essere definita in modo più sicuro come una funzione. La funzione `circleArea`

```
double circleArea(double x)
{
    return 3.14159 * x * x;
}
```

esegue lo stesso calcolo della macro `CIRCLE_AREA`, ma l'argomento della funzione viene calcolato una sola volta quando la funzione viene chiamata. Inoltre, il compilatore esegue il controllo dei tipi sulle funzioni – il preprocessore non supporta il controllo dei tipi.



Prestazioni 13.1

In passato, le macro venivano spesso usate per sostituire le chiamate di funzioni con un codice in linea, così da eliminare il sovraccarico delle chiamate di funzioni. Gli odierni compilatori ottimizzanti spesso sostituiscono per voi il codice in linea per le chiamate di funzioni, per cui molti programmati non usano più le macro a questo scopo. Potete usare anche la parola chiave `inline` del C standard (vedi Appendice E on-line).

13.4.2 Macro con due argomenti

Quella che segue è una definizione di macro con due argomenti per l'area di un rettangolo:

```
#define RECTANGLE_AREA(x, y) ((x) * (y))
```

Dovunque `RECTANGLE_AREA(x, y)` compaia nel programma, `x` e `y` sono rimpiazzate dai loro valori nel testo di sostituzione della macro e la macro viene espansa al posto del nome della macro. Ad esempio, l'istruzione

```
rectArea = RECTANGLE_AREA(a + 4, b + 7);
```

viene espansa in

```
rectArea = ((a + 4) * (b + 7));
```

Il valore dell'espressione è calcolato in fase di esecuzione e assegnato alla variabile `rectArea`.

13.4.3 Carattere di continuazione per macro

Il testo di sostituzione per una macro o una costante simbolica è normalmente un testo qualsiasi sulla riga dopo l'identificatore nella direttiva `#define`. Se il testo di sostituzione per una macro o una costante simbolica è più lungo del resto della riga, si deve mettere un carattere di continuazione `\` alla fine della riga, a indicare che il testo di sostituzione continua sulla riga successiva.

13.4.4 Direttiva per il preprocessore `#undef`

Le costanti simboliche e le macro possono essere *cancellate* usando la direttiva per il preprocessore `#undef`. La direttiva `#undef` “cancella la definizione” di una costante simbolica o del nome di una macro. Il campo d’azione di una costante simbolica o di una macro va dalla sua definizione fino alla sua cancellazione con `#undef`, o fino alla fine del file. Una volta cancellato, un nome può essere ridefinito con `#define`.

13.4.5 Funzioni e macro della Libreria Standard

Le funzioni nella Libreria Standard sono a volte definite come macro sulla base di altre funzioni della libreria. Una macro definita comunemente nel file di intestazione `<stdio.h>` è

```
#define getchar() getc(stdin)
```

La definizione della macro `getchar` usa la funzione `getc` per ottenere un carattere dallo stream standard input. Anche la funzione `putchar` del file di intestazione `<stdio.h>` e le funzioni che trattano caratteri del file di intestazione `<cctype.h>` sono spesso implementate come macro.

13.4.6 Evitare espressioni con effetti secondari nelle macro

Le espressioni con *effetti secondari* (in cui i valori delle variabili sono modificati) *non* vanno passate a una macro, perché gli argomenti di una macro possono essere valutati più di una volta. Mostreremo un esempio di ciò nel Paragrafo 13.11.

13.5 Compilazione condizionale

La compilazione condizionale permette di controllare l'esecuzione delle direttive per il preprocessore e la compilazione del codice di un programma. Ogni direttiva condizionale per il preprocessore valuta un'espressione intera costante. Le espressioni di *cast*, le espressioni con *sizeof* e le costanti di enumerazione *non possono* essere valutate nelle direttive per il preprocessore.

13.5.1 Direttiva per il preprocessore `#if...#endif`

Il costrutto condizionale del preprocessore è molto simile all'istruzione di selezione `if`. Considerate il seguente codice per il preprocessore:

```
#if !defined(MY_CONSTANT)
    #define MY_CONSTANT 0
#endif
```

che verifica se `MY_CONSTANT` è *definita*, cioè se `MY_CONSTANT` è già comparsa in una direttiva `#define` precedente. L'espressione `defined(MY_CONSTANT)` ha valore 1 se `MY_CONSTANT` è definita, altrimenti 0. Se il risultato è 0, `!defined(MY_CONSTANT)` ha valore 1 e `MY_CONSTANT` viene definita; altrimenti, la direttiva `#define` viene ignorata. Ogni costrutto `#if` finisce con `#endif`. Le direttive `#ifdef` e `#ifndef` sono abbreviazioni di `#if defined(nome)` e `#if !defined(nome)`. Un costrutto condizionale del preprocessore costituito da più parti può essere scritto usando le direttive `#elif` (l'equivalente di `else if` in un'istruzione `if`) e `#else` (l'equivalente di `else` in un'istruzione `if`). Queste direttive sono usate frequentemente per *evitare che i file di intestazione siano inclusi innumerevoli volte nello stesso file sorgente*. Queste direttive vengono inoltre utilizzate frequentemente per attivare e disattivare il codice che rende il software compatibile con una serie di piattaforme.

13.5.2 Commentare porzioni di codice con `#if...#endif`

Durante lo sviluppo di un programma è spesso utile "commentare" porzioni di codice per evitare che vengano compilate. Se questo codice contiene commenti su più linee, `/*` e `*/` non si possono usare per fare ciò, perché tali commenti non possono essere annidati. Invece, potete usare il costrutto seguente del preprocessore:

```
#if 0
    codice da non compilare
#endif
```

Per permettere al codice di essere compilato, sostituite lo 0 nel precedente costrutto con 1.

13.5.3 Compilazione condizionale e codice di debugging

La compilazione condizionale si usa talvolta come aiuto per il *debugging*. I debugger forniscono funzionalità molto più potenti rispetto alla compilazione condizionale, ma se non è disponibile un debugger, è possibile usare istruzioni `printf` per stampare valori delle variabili e per confermare il flusso di controllo. Queste istruzioni `printf` possono essere racchiuse in direttive condizionali per il preprocessore. In questo modo, le istruzioni vengono compilate solo finché il processo di debugging *non* è completato.

Ad esempio,

```
#ifdef DEBUG
    printf("Variable x = %d\n", x);
#endif
```

compila l'istruzione `printf` se la costante simbolica `DEBUG` è definita (`#define DEBUG`) prima di `#ifdef DEBUG`. Quando il debugging è completato, eliminate o commentate la direttiva `#define` del file sorgente e le istruzioni `printf` inserite a scopo di debugging sono ignorate durante la compilazione. In programmi più grandi può essere opportuno definire diverse costanti simboliche che controllano la compilazione condizionale in sezioni separate del file sorgente. Molti compilatori permettono di definire e di cancellare la definizione di costanti simboliche come `DEBUG` con un flag del compilatore che potete fornire ogni volta che compilate il codice in modo da non doverlo cambiare.



Prevenzione di errori 13.3

Quando inserite istruzioni `printf` compilate in modo condizionale in posizioni dove il C si aspetta un'istruzione singola (cioè, il corpo di un'istruzione di controllo), assicuratevi che le istruzioni compilate in modo condizionale siano racchiuse in porzioni.

13.6 Direttive per il preprocessore #error e #pragma

La direttiva `#error`

```
#error sequenza di token
```

stampa un messaggio dipendente dall'implementazione che include i *token* specificati nella direttiva. I token sono sequenze di caratteri separati da spazi. Ad esempio,

```
#error 1 - Out of range error
```

contiene 6 token. Quando su alcuni sistemi viene elaborata una direttiva `#error`, i token nella direttiva sono stampati come un messaggio di errore, la preelaborazione si arresta e il programma non viene compilato.

La direttiva `#pragma`

```
#pragma sequenza di token
```

provoca un'azione *definita dall'implementazione*. Una direttiva `pragma` non riconosciuta dall'implementazione è ignorata. Per maggiori informazioni su `#error` e `#pragma`, guardate la documentazione relativa alla vostra implementazione del C.

13.7 Operatori # e

L'operatore `#` fa sì che i token di un testo di sostituzione siano convertiti in stringhe tra virgolette. Considerate la seguente definizione di macro:

```
#define HELLO(x) puts("Hello, " #x);
```

Quando HELLO(John) compare nel file di un programma, esso viene espanso in

```
puts("Hello, " "John");
```

La stringa "John" rimpiazza #x nel testo di sostituzione. Le stringhe separate da spaziature sono concatenate durante la preelaborazione, perciò l'istruzione precedente è equivalente a

```
puts("Hello, John");
```

L'operatore # deve essere usato in una macro con argomenti, poiché l'operando di # si riferisce a un argomento della macro.

L'operatore ## *concatena due token*. Considerate la seguente definizione di macro:

```
#define TOKENCONCAT(x, y) x ## y
```

Quando nel programma compare TOKENCONCAT, i suoi argomenti sono concatenati e usati per rimpiazzare la macro. Ad esempio, il testo TOKENCONCAT(O,K) è sostituito da OK nel programma. L'operatore ## deve avere due operandi.

13.8 Numeri di riga

La direttiva per il preprocessore #line fa sì che le righe successive di un codice sorgente siano rinumerate iniziando col valore intero costante specificato.

La direttiva

```
#line 100
```

inizia a numerare le righe da 100 cominciando dalla riga successiva del codice sorgente. Nella direttiva #line è possibile includere un nome di file.

La direttiva

```
#line 100 "file1.c"
```

indica che le righe sono numerate da 100, cominciando dalla riga successiva del codice sorgente, e che il nome di file da usare nei messaggi del compilatore è "file1.c". La direttiva è normalmente usata per rendere più significativi i messaggi prodotti da errori di sintassi e i messaggi di avvertimento del compilatore. I numeri delle righe non compaiono nel file sorgente.

13.9 Costanti simboliche predefinite

Il C standard fornisce alcune costanti simboliche predefinite, diverse delle quali sono mostrate nella Figura 13.1 (le rimanenti sono descritte nel Paragrafo 6.10.8 del documento del C standard). Questi identificatori iniziano e terminano con *due* caratteri di sottolineatura e spesso sono utili per includere informazioni aggiuntive nei messaggi di errore. Questi identificatori e l'identificatore defined (usati nel Paragrafo 13.5) non possono essere usati nelle direttive #define o #undef.

Costante simbolica	Spiegazione
<code>_LINE</code>	Il numero della riga corrente del codice sorgente (una costante intera).
<code>_FILE</code>	Il nome del file sorgente (una stringa).
<code>_DATE</code>	La data in cui il file sorgente è stato compilato (una stringa della forma "Mmm gg aaaa" come "Jan 19 2002").
<code>_TIME</code>	L'ora in cui il file sorgente è stato compilato (una stringa letterale della forma "hh:mm:ss").
<code>_STDC</code>	Il valore 1 se il compilatore supporta il C standard, altrimenti 0. Richiede il flag del compilatore /Za nel Visual C++.

Figura 13.1 Alcune costanti simboliche predefinite.

13.10 Asserzioni

La macro `assert` (definita in `<cassert.h>`) testa il valore di un'espressione al momento dell'esecuzione. Se il valore è falso (0), `assert` stampa un messaggio di errore e chiama la funzione `abort` (della libreria di utilità generale – `<stdlib.h>`) per terminare l'esecuzione del programma. Questo è un utile *strumento per il debugging* per verificare se una variabile ha un valore corretto. Ad esempio, supponete che in un programma la variabile `x` non debba mai essere più grande di 10. Si può usare un'asserzione per verificare il valore di `x` e stampare un messaggio di errore se il valore di `x` è maggiore di 10. L'istruzione sarebbe

```
assert(x <= 10);
```

Se `x` è maggiore di 10 quando viene eseguita l'istruzione precedente, il programma stampa un messaggio d'errore contenente il numero della riga e il nome del file in cui appare l'istruzione `assert`, poi *termina*. Potete quindi concentrarvi su quest'area di codice per trovare l'errore.

Se viene definita la costante simbolica `NDEBUG`, le asserzioni che seguono sono *ignoreate*. Pertanto, quando le asserzioni non sono più necessarie, è possibile inserire la riga

```
#define NDEBUG
```

nel file del codice anziché eliminare ciascuna asserzione manualmente. Molti compilatori hanno modalità di debug e rilascio che rispettivamente definiscono e cancellano la definizione di `DEBUG` automaticamente.

Osservazione di Ingegneria del software 13.2

Le asserzioni non vanno intese come un sostituto per il trattamento degli errori durante le normali condizioni nella fase di esecuzione. Il loro uso andrebbe limitato alla ricerca degli errori logici durante lo sviluppo del programma.

[Nota: il nuovo C standard comprende una direttiva chiamata `_Static_assert`, che è essenzialmente una versione di `assert` per la fase di compilazione, che produce un *errore in fase di compilazione* se l'asserzione fallisce. Esamineremo `_Static_assert` nell'Appendice E on-line.]

13.11 Programmazione sicura in C

La macro CIRCLE_AREA definita nel Paragrafo 13.4

```
#define CIRCLE_AREA(x) ((PI) * (x) * (x))
```

è considerata una *macro poco sicura* perché valuta il suo argomento *x più di una volta*. Questo causa errori subdoli. Se l'argomento di una macro contiene *effetti secondari* (come l'incremento di una variabile o la chiamata di una funzione che modifica il valore di una variabile), essi verrebbero eseguiti *più volte*.

Ad esempio, se chiamiamo CIRCLE_AREA come segue:

```
result = CIRCLE_AREA(++radius);
```

la chiamata alla macro CIRCLE_AREA viene espansa in

```
result = ((3.14159) * (++radius) * (++radius));
```

che incrementa radius *due volte* nell'istruzione. Inoltre, il risultato dell'istruzione precedente è *indefinito* perché il C permette a una variabile di essere modificata *una volta sola* in un'istruzione. In una chiamata di una funzione l'argomento viene valutato *una volta sola prima* di essere passato alla funzione. Pertanto, le funzioni sono sempre preferite alle macro poco sicure.

Riepilogo

Paragrafo 13.1 Introduzione

- Il preprocessore elabora un programma in C prima che questo sia compilato.
- Tutte le direttive per il preprocessore iniziano con #.
- Prima di una direttiva per il preprocessore possono comparire su una riga solo caratteri di spaziatura e commenti.

Paragrafo 13.2 Direttiva per il preprocessore #include

- La direttiva #include include il contenuto del file specificato. Se il nome del file è racchiuso tra virgolette, il preprocessore inizia la ricerca del file da includere nella stessa directory del file che viene compilato. Se il nome del file è racchiuso tra parentesi angolari (< e >), come nel caso delle intestazioni della Libreria Standard del C, la ricerca viene compiuta in una maniera definita dall'implementazione.

Paragrafo 13.3 Direttiva per il preprocessore #define: costanti simboliche

- La direttiva per il preprocessore #define è usata per creare costanti simboliche e macro.
- Una costante simbolica è un nome per una costante.

Paragrafo 13.4 Direttiva per il preprocessore #define: macro

- Una macro è un'operazione definita in una direttiva per il preprocessore #define. Le macro possono essere definite con o senza argomenti.
- Il testo di sostituzione viene specificato dopo l'identificatore di una costante simbolica o dopo la parentesi destra di chiusura della lista di argomenti di una macro. Se il testo di sostituzione per una

macro o una costante simbolica è più lungo del resto della riga, viene inserito alla fine della riga un backslash (\), a indicare che il testo di sostituzione continua sulla riga seguente.

- Le costanti simboliche e le macro possono essere cancellate usando la direttiva per il preprocessore `#undef`. La direttiva `#undef` “cancella la definizione” di una costante simbolica o del nome di una macro.
- Il campo d’azione di una costante simbolica o di una macro va dalla sua definizione fino alla sua cancellazione con `#undef`, o fino alla fine del file.

Paragrafo 13.5 Compilazione condizionale

- La compilazione condizionale consente di controllare l’esecuzione delle direttive per il preprocessore e la compilazione del codice del programma.
- Le direttive condizionali per il preprocessore valutano espressioni intere costanti. Le espressioni di *cast*, le espressioni con `sizeof` e le costanti di enumerazione non possono essere valutate nelle direttive per il preprocessore.
- Ogni costrutto `#if` termina con `#endif`.
- Le direttive `#ifdef` e `#ifndef` possono essere utilizzate come abbreviazioni per `#if defined(nome)` e `if !defined(nome)`.
- I costrutti condizionali del preprocessore costituiti da più parti per effettuare test multipli si possono scrivere con le direttive `#elif` ed `#else`.

Paragrafo 13.6 Direttive per il preprocessore `#error` e `#pragma`

- La direttiva `#error` stampa un messaggio dipendente dall’implementazione che include i token specificati nella direttiva.
- La direttiva `#pragma` causa un’azione definita dall’implementazione. Se la direttiva `pragma` non viene riconosciuta dall’implementazione viene ignorata.

Paragrafo 13.7 Operatori `#` e `##`

- L’operatore `#` fa sì che un testo di sostituzione sia convertito in una stringa tra virgolette. L’operatore `#` deve essere usato in una macro con argomenti, perché l’operando di `#` deve essere un argomento della macro.
- L’operatore `##` concatena due token. L’operatore `##` deve avere due operandi.

Paragrafo 13.8 Numeri di riga

- La direttiva per il preprocessore `#line` fa sì che le righe che seguono nel codice sorgente vengano rinumerate partendo dal valore intero costante specificato.

Paragrafo 13.9 Costanti simboliche predefinite

- La costante `_LINE_` è il numero (un intero) della riga corrente del codice sorgente.
- La costante `_FILE_` è il nome del file sorgente (una stringa).
- La costante `_DATE_` è la data in cui il file sorgente viene compilato (una stringa).
- La costante `_TIME_` è l’ora in cui il file sorgente viene compilato (una stringa).
- La costante `_STDC_` indica se il compilatore supporta il C standard.
- Ognuna delle costanti simboliche predefinite inizia e termina con due caratteri di sottolineatura.

Paragrafo 13.10 Asserzioni

- La macro `assert` (definita nel file di intestazione `<cassert.h>`) verifica il valore di un'espressione. Se il valore è 0 (falso), `assert` stampa un messaggio di errore e chiama la funzione `abort` per terminare l'esecuzione del programma.

Esercizi di autovalutazione

13.1 Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti asserzioni:

- Ogni direttiva per il preprocessore deve iniziare con _____.
- Il costrutto di compilazione condizionale può essere esteso per analizzare diversi casi usando le direttive _____ e _____.
- La direttiva _____ crea macro e costanti simboliche.
- Solo i caratteri _____ possono comparire su una riga prima di una direttiva per il preprocessore.
- La direttiva _____ elimina le costanti simboliche e i nomi delle macro.
- Le direttive _____ e _____ sono fornite come abbreviazioni per `#if defined(nome)` e `#if !defined(nome)`.
- La _____ vi consente di controllare l'esecuzione delle direttive per il preprocessore e la compilazione del codice del programma.
- La macro _____ stampa un messaggio e termina l'esecuzione del programma se il valore dell'espressione che la macro calcola è 0.
- La direttiva _____ inserisce un file in un altro file.
- L'operatore _____ concatena i suoi due argomenti.
- L'operatore _____ converte il suo operando in una stringa.
- Il carattere _____ indica che il testo di sostituzione per una costante simbolica o una macro continua sulla riga successiva.
- La direttiva _____ fa sì che le righe di un codice sorgente siano numerate a partire dal valore indicato, a iniziare dalla riga successiva.

13.2 Scrivete un programma per stampare i valori delle costanti simboliche predefinite elencate nella Figura 13.1.

13.3 Scrivete una direttiva per il preprocessore per eseguire ognuna delle seguenti operazioni:

- Definire la costante simbolica YES impostandola al valore 1.
- Definire la costante simbolica NO impostandola al valore 0.
- Includere il file di intestazione `common.h`. Il file di intestazione si trova nella stessa directory del file che viene compilato.
- Rinumerare le restanti righe nel file cominciando con il numero di riga 3000.
- Se la costante simbolica TRUE è definita, cancellare la sua definizione e ridefinirla come 1. Non usare la direttiva per il preprocessore `#ifdef`.
- Se la costante simbolica TRUE è definita, cancellare la sua definizione e ridefinirla come 1. Usare la direttiva per il preprocessore `#ifdef`.
- Se la costante simbolica TRUE non è uguale a 0, definire la costante simbolica FALSE come 0. Altrimenti definire FALSE come 1.
- Definire la macro CUBE_VOLUME che calcola il volume di un cubo. La macro riceve un argomento.

Risposte agli esercizi di autovalutazione

13.1 a) #. b) #elif, #else. c) #define. d) di spaziatura. e) #undef. f) #ifdef, #ifndef. g) compilazione condizionale. h) assert. i) #include, j) ##. k) #. l) \. m) #line.

13.2 Vedi sotto. [Nota: __STDC__ funziona nel Visual C++ solo con il flag del compilatore /za.]

```
1 // Stampa i valori delle macro predefinite
2 #include <stdio.h>
3 int main(void)
4 {
5     printf("__LINE__ = %d\n", __LINE__);
6     printf("__FILE__ = %s\n", __FILE__);
7     printf("__DATE__ = %s\n", __DATE__);
8     printf("__TIME__ = %s\n", __TIME__);
9     printf("__STDC__ = %s\n", __STDC__);
10 }
```

```
__LINE__ = 5
__FILE__ = ex13_02.c
__DATE__ = Jan 5 2012
__TIME__ = 09:38:58
__STDC__ = 1
```

- 13.3 a) #define YES 1
 b) #define NO 0
 c) #include "common.h"
 d) #line 3000
 e) #if defined(TRUE)
 #undef TRUE
 #define TRUE 1
 #endif
 f) #ifdef TRUE
 #undef TRUE
 #define TRUE 1
 #endif
 g) #if TRUE
 #define FALSE 0
 #else
 #define FALSE 1
 #endif
 h) #define CUBE_VOLUME(x) ((x) * (x) * (x))

Esercizi

13.4 (*Volume di una sfera*) Scrivete un programma che definisce una macro con un argomento per calcolare il volume di una sfera. Il programma deve calcolare il volume per sfere con raggio da 1 a 10 e stampare i risultati in formato tabellare. La formula per il volume di una sfera è

$$(4,0 / 3) * \pi * r^3$$

dove π è 3,14159.

- 13.5 (*Addizionare due numeri*) Scrivete un programma che definisce la macro SUM con due argomenti, x e y , e usa SUM per produrre il seguente output:

The sum of x and y is 13

- 13.6 (*Il più piccolo di due numeri*) Scrivete un programma che definisca e usi la macro MINIMUM2 per determinare il più piccolo di due valori numerici. Inserite i valori tramite tastiera.
- 13.7 (*Il più piccolo di tre numeri*) Scrivete un programma che definisca e usi la macro MINIMUM3 per determinare il più piccolo di tre valori numerici. La macro MINIMUM3 deve usare la macro MINIMUM2 definita nell'Esercizio 13.6 per determinare il numero più piccolo. Inserite i valori tramite tastiera.
- 13.8 (*Stampare una stringa*) Scrivete un programma che definisca e usi la macro PRINT per stampare un valore stringa.
- 13.9 (*Stampare un array*) Scrivete un programma che definisca e usi la macro PRINTARRAY per stampare un array di interi. La macro deve ricevere come argomenti l'array e il numero degli elementi nell'array.
- 13.10 (*Calcolare il totale degli elementi di un array*) Scrivete un programma che definisca e usi la macro SUMARRAY per sommare i valori in un array numerico. La macro deve ricevere come argomenti l'array e il numero degli elementi nell'array.

**OBIETTIVI**

- Ridirigere l'input del programma per leggerlo da un file.
- Ridirigere l'output del programma per scriverlo su un file.
- Scrivere funzioni che usano liste di argomenti di lunghezza variabile.
- Elaborare gli argomenti della riga di comando.
- Compilare programmi con più file sorgente.
- Assegnare tipi specifici a costanti numeriche.
- Terminare i programmi con `exit` e `atexit`.
- Gestire eventi asincroni esterni in un programma.
- Allocare array in maniera dinamica e ridimensionare la memoria che era stata allocata dinamicamente in precedenza.

14.1 Introduzione

Questo capitolo presenta ulteriori argomenti non trattati di solito in corsi introduttivi. Molte delle funzionalità esaminate qui sono specifiche di particolari sistemi operativi, specialmente di Linux/UNIX e di Windows.

14.2 Ridirezione di I/O

Nelle applicazioni basate sulla riga di comando, l'input proviene normalmente dalla *tastiera* (standard input) e l'output viene stampato sullo *schermo* (standard output). Nella maggior parte dei computer (in particolare nei sistemi Linux/UNIX, Mac OS X e Windows) è possibile **ridirigere** l'input per riceverlo da un *file* invece che dalla tastiera e ridirigere l'output per inviarlo a un *file* invece che sullo schermo. Entrambe le forme di ridirezione possono essere realizzate senza usare le funzionalità di elaborazione dei file della Libreria Standard (ad esempio, cambiando il codice per usare `fprintf` anziché `printf`, ecc.). Gli studenti spesso hanno difficoltà a comprendere che la ridirezione è una funzione del sistema operativo, non un'altra caratteristica del C.

14.2.1 Ridirigere l'input con <

Vi sono diversi modi per ridirigere input e output direttamente dalla riga di comando, cioè dalla finestra del Prompt di Comandi in Windows, da una shell in Linux o da una finestra di Terminale in Mac OS X. Considerate il file eseguibile `sum` (su sistemi Linux/UNIX) che legge interi uno alla volta e mantiene un totale corrente dei valori letti finché non si incontra l'indicatore di end-of-file, poi stampa il risultato. Normalmente l'utente inserisce gli interi dalla tastiera e inserisce la combinazione di tasti di end-of-file per indicare che non saranno inseriti ulteriori valori. Con la ridirezione dell'input, l'input può essere letto da un file. Ad esempio, se i dati sono memorizzati nel file `input`, la riga di comando

```
$ sum < input
```

fa eseguire il programma `sum`; il simbolo (`<`) di ridirezione dell'input indica che i dati nel file `input` vanno usati dal programma come input. La ridirezione dell'input su un sistema Windows o in una finestra Terminale su OS X è eseguita in maniera identica. Il carattere `$` mostrato nella riga soprastante è un tipico prompt della riga di comando di Linux/UNIX (alcuni sistemi usano un prompt `%` o altri simboli). Gli studenti trovano spesso difficile comprendere che la ridirezione è una funzione di sistema operativo, non un'altra caratteristica del C.

14.2.2 Ridirigere l'input con |

Il secondo metodo per ridirigere l'input è il **piping**. Un pipe (`|`) (letteralmente “condotto”) fa sì che l'output di un programma sia ridiretto come input a un altro programma. Supponete che il programma `random` invii in uscita una serie di interi casuali; l'output di `random` può essere “connesso” direttamente al programma `sum` usando la riga di comando

```
$ random | sum
```

Questo fa sì che venga calcolata la somma degli interi prodotti da `random`. Il piping è eseguito in maniera identica in Linux/UNIX, Windows e OS X.

14.2.3 Ridirigere l'output

Lo stream standard output può essere ridiretto su un file usando il simbolo di ridirezione dell'output (`>`). Ad esempio, per ridirigere l'output del programma `random` sul file `out`, usate

```
$ random > out
```

Infine, l'output di un programma può venire concatenato alla fine di un file esistente usando il simbolo di concatenazione dell'output (`>>`). Ad esempio, per concatenare il successivo output del programma `random` al contenuto del file `out` creato nella precedente riga di comando, usate

```
$ random >> out
```

14.3 Liste di argomenti di lunghezza variabile

È possibile creare funzioni che ricevono un numero non specificato di argomenti. La maggior parte dei programmi nel testo ha usato la funzione della Libreria Standard `printf`, che, come sapete, riceve un numero variabile di argomenti. Come minimo, `printf` deve ricevere una stringa come

suo primo argomento, ma `printf` può ricevere qualsiasi numero di argomenti aggiuntivi. Il prototipo di funzione per `printf` è

```
int printf(const char *format, ...);
```

L'ellissi (...) nel prototipo di funzione indica che la funzione riceve un *numero variabile di argomenti di qualsiasi tipo*. L'ellissi deve essere sempre posta alla fine della lista dei parametri.

Le macro e le definizioni per argomenti variabili contenute nel file di intestazione `<stdarg.h>` (Figura 14.1) forniscono le funzionalità necessarie per costruire funzioni con liste di argomenti di lunghezza variabile. La Figura 14.2 mostra la funzione `average` (righe 25–39) che riceve un numero variabile di argomenti. Il primo argomento di `average` è sempre il numero dei valori per cui calcolare la media.

Identificatore	Spiegazione
<code>va_list</code>	Un <i>tipo</i> adatto a contenere le informazioni che servono alle macro <code>va_start</code> , <code>va_arg</code> e <code>va_end</code> . Per accedere agli argomenti in una lista di argomenti di lunghezza variabile, deve essere definito un oggetto di tipo <code>va_list</code> .
<code>va_start</code>	Una <i>macro</i> che va invocata prima che si possa accedere agli argomenti di una lista di argomenti di lunghezza variabile. La macro inizializza l'oggetto dichiarato con <code>va_list</code> e che viene usato dalle macro <code>va_arg</code> e <code>va_end</code> .
<code>va_arg</code>	Una <i>macro</i> che viene espansa per assumere il valore dell'argomento successivo nella lista di argomenti di lunghezza variabile. Il valore ha il tipo specificato nel secondo argomento della macro. Ogni invocazione di <code>va_arg</code> modifica l'oggetto dichiarato con <code>va_list</code> facendo sì che esso punti all'argomento successivo nella lista.
<code>va_end</code>	Una <i>macro</i> che facilita un normale ritorno da una funzione, alla cui lista di argomenti di lunghezza variabile faceva riferimento la macro <code>va_start</code> .

Figura 14.1 Tipi e macro per liste di argomenti di lunghezza variabile definiti in `stdarg.h`.

```

1 // Fig. 14.2: fig14_02.c
2 // Uso di liste di argomenti di lunghezza variabile
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdarg.h>
5
6 double average(int i, ...); // prototipo
7
8 int main(void)
9 {
10     double w = 37.5;
11     double x = 22.5;
12     double y = 1.7;
13     double z = 10.2;
14
15     printf("%s%.1f\n%s%.1f\n%s%.1f\n%s%.1f\n\n",
16           "w = ", w, "x = ", x, "y = ", y, "z = ", z);
17     printf("%s%.3f\n%s%.3f\n%s%.3f\n",
18           "The average of w and x is ", average(2, w, x),
19           "The average of w, x, and y is ", average(3, w, x, y),
20           "The average of w, x, y, and z is ",

```

```

21     average(4, w, x, y, z));
22 }
23
24 // calcola la media
25 double average(int i, ...)
26 {
27     double total = 0; // inizializza total
28     va_list ap; // memorizza le informazioni per va_start e va_end
29
30     va_start(ap, i); // inizializza l'oggetto di tipo va_list
31
32     // elabora la lista di argomenti di lunghezza variabile
33     for (int j = 1; j <= i; ++j) {
34         total += va_arg(ap, double);
35     }
36
37     va_end(ap); // operazione di pulitura finale
38     return total / i; // restituisci la media calcolata
39 }
```

```
w = 37.5
x = 22.5
y = 1.7
z = 10.2
```

```
The average of w and x is 30.000
The average of w, x, and y is 20.567
The average of w, x, y, and z is 17.975
```

Figura 14.2 Uso di liste di argomenti di lunghezza variabile.

La funzione `average` (righe 25–39) usa tutte le definizioni e le macro del file di intestazione `<stdarg.h>`, eccetto `va_copy` (Paragrafo E.8.10), che è stato aggiunto nel C11. L'oggetto `ap`, di tipo `va_list` (riga 28), è usato dalle macro `va_start`, `va_arg` e `va_end` per elaborare la lista di argomenti di lunghezza variabile della funzione `average`. La funzione inizia invocando la macro `va_start` (riga 30) per inizializzare l'oggetto `ap` che viene usato in `va_arg` e `va_end`. La macro riceve due argomenti – l'oggetto `ap` e l'identificatore dell'argomento più a destra nella lista di argomenti *prima* dell'ellissi, `i` in questo caso (`va_start` usa qui `i` per determinare da dove inizia la lista di argomenti di lunghezza variabile). Dopo, la funzione `average` somma ripetutamente gli argomenti nella lista di argomenti di lunghezza variabile alla variabile `total` (righe 33–35). Ogni valore da sommare a `total` viene recuperato dalla lista di argomenti invocando la macro `va_arg`. La macro `va_arg` riceve due argomenti – l'oggetto `ap` e il *tipo* del valore atteso nella lista di argomenti, `double` in questo caso. La macro restituisce il valore dell'argomento. La funzione `average` invoca la macro `va_end` (riga 37) con l'oggetto `ap` come argomento per facilitare un normale ritorno a `main` da `average`. Infine, la media calcolata viene restituita a `main`.



Errore comune di programmazione 14.1

Porre un'ellissi al centro di una lista dei parametri di una funzione è un errore di sintassi. Un'ellissi può essere posta solo alla fine della lista dei parametri.

Ci si potrebbe domandare come le funzioni con liste di argomenti a lunghezza variabile come `printf` e la funzione `scanf` sappiano quale tipo usare in ogni macro `va_arg`. La risposta è che, in fase di esecuzione del programma, esse esaminano gli specificatori di conversione nella stringa di controllo del formato per determinare il tipo dell'argomento successivo da elaborare.

14.4 Uso degli argomenti della riga di comando

Su molti sistemi è possibile passare gli argomenti a `main` dalla riga di comando includendo i parametri `int argc` e `char *argv[]` nella lista di parametri di `main`. Il parametro `argc` riceve il numero di argomenti della riga di comando che l'utente ha inserito. Il parametro `argv` è un array di stringhe in cui sono memorizzati gli argomenti effettivi della riga di comando. Gli usi comuni degli argomenti della riga di comando riguardano il passaggio di opzioni e di nomi di file a un programma.

Il programma della Figura 14.3 copia un file in un altro file un carattere alla volta. Supponiamo che il file eseguibile per il programma sia chiamato `mycopy`. Una tipica riga di comando per il programma `mycopy` su un sistema Linux/UNIX è

```
$ mycopy input output
```

Questa riga di comando indica che il file `input` va copiato nel file `output`. Quando il programma viene eseguito, se `argc` non ha il valore 3 (`mycopy` stesso conta come uno degli argomenti), il programma stampa un messaggio di errore e termina. Altrimenti, l'array `argv` contiene le stringhe "mycopy", "input" e "output". Il secondo e il terzo argomento nella riga di comando vengono usati dal programma come nomi di file. I file vengono aperti usando la funzione `fopen`. Se entrambi i file vengono aperti con successo, i caratteri vengono letti dal file `input` e scritti nel file `output` finché non si incontra l'indicatore di end-of-file per il file `input`. Quindi il programma termina. Il risultato è una copia esatta del file `input` (se non si verificano errori durante l'elaborazione). Per maggiori informazioni sugli argomenti della riga di comando, consultate la vostra documentazione di sistema. [Nota: nel Visual C++ gli argomenti della riga di comando vengono specificati cliccando a destra sul nome del progetto nel Solution Explorer e selezionando **Properties**, poi espandendo **Configuration Properties**, selezionando **Debugging** e inserendo gli argomenti nella casella di testo alla destra di **Command Arguments**.]

```

1 // Fig. 14.3: fig14_03.c
2 // Uso degli argomenti della riga di comando
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(int argc, char *argv[])
6 {
7     // controlla il numero degli argomenti della riga di comando
8     if (argc != 3) {
9         puts("Usage: mycopy infile outfile");
10    }
11    else {
12        FILE *inFilePtr; // puntatore al file di input
13
14        // tenta l'apertura del file di input
15        if ((inFilePtr = fopen(argv[1], "r")) != NULL) {
16            FILE *outFilePtr; // puntatore al file di output

```

```
17
18     // tenta l'apertura del file di output
19     if ((outFilePtr = fopen(argv[2], "w")) != NULL) {
20         int c; // contiene i caratteri letti dal file sorgente
21
22         // legge e invia in uscita i caratteri
23         while ((c = fgetc(inFilePtr)) != EOF) {
24             fputc(c, outFilePtr);
25         }
26
27         fclose(outFilePtr); // chiudi il file di output
28     }
29     else { // il file di output non puo' essere aperto
30         printf("File \"%s\" could not be opened\n", argv[2]);
31     }
32
33     fclose(inFilePtr); // chiudi il file di input
34 }
35     else { // il file di input non puo' essere aperto
36         printf("File \"%s\" could not be opened\n", argv[1]);
37     }
38 }
39 }
```

Figura 14.3 Uso degli argomenti della riga di comando.

14.5 Compilazione di programmi con più file sorgente

È possibile costruire programmi costituiti da più file sorgente. Vi sono diverse cose di cui tener conto quando si creano programmi in più file. Ad esempio, la definizione di una funzione deve essere interamente contenuta in un solo file (non può abbracciare due o più file).

14.5.1 Dichiarazioni extern per variabili globali in altri file

Nel Capitolo 5 abbiamo introdotto i concetti di classe di memoria e campo d'azione. Abbiamo appreso che le variabili dichiarate *al di fuori* di una definizione di funzione sono chiamate *variabili globali*. Le variabili globali sono accessibili a ogni funzione definita nello stesso file dopo la loro dichiarazione. Le variabili globali sono accessibili anche alle funzioni in altri file. Tuttavia, le variabili globali devono essere dichiarate in ogni file in cui vengono usate. Ad esempio, per riferirsi alla variabile intera globale flag in un altro file, si può usare la dichiarazione.

```
extern int flag;
```

Questa dichiarazione usa lo specificatore della classe di memoria **extern** per indicare che la variabile flag viene definita *in seguito nello stesso file o in un file differente*. Il compilatore informa il linker che nel file compaiono riferimenti non risolti alla variabile flag. Se il linker trova una definizione globale adeguata, risolve i riferimenti indicando dove è posizionata flag. Se il linker non riesce a localizzare una definizione di flag, emette un messaggio di errore e non produce un

file eseguibile. Qualunque identificatore dichiarato con campo d'azione esteso al file è `extern` per impostazione predefinita.



Osservazione di ingegneria del software 14.1

Le variabili globali vanno evitate, a meno che non siano critiche le prestazioni dell'applicazione, perché violano il principio del privilegio minimo.

14.5.2 Prototipi di funzione

Proprio come le dichiarazioni `extern` possono essere usate per dichiarare le *variabili globali* in altri file del programma, i *prototipi di funzione* possono estendere il campo d'azione di una funzione oltre il file in cui essa è definita (lo specificatore `extern` non è necessario nella dichiarazione di prototipo di funzione). Includete semplicemente il prototipo della funzione in ogni file in cui la funzione è invocata e compilate i file insieme (vedi Paragrafo 13.2). I prototipi di funzione indicano al compilatore che la funzione specificata è definita o in seguito nello stesso file o in un file *differente*. Ancora una volta, il compilatore *non* tenta di risolvere i riferimenti a una tale funzione: questo compito è lasciato al linker. Se il linker non riesce a localizzare un'adeguata definizione della funzione, emette un messaggio di errore.

Come esempio di uso di prototipi di funzione per estendere il loro campo d'azione, considerate un qualsiasi programma contenente la direttiva per il preprocessore `#include <stdio.h>`, la quale include un file contenente i prototipi di funzione per funzioni come `printf` e `scanf`. Altre funzioni nel file possono usare `printf` e `scanf` per eseguire i loro compiti. Le funzioni `printf` e `scanf` sono definite in altri file. Non ci serve sapere *dove* sono definite. Noi stiamo semplicemente riutilizzando il codice nei nostri programmi. Il linker risolve automaticamente i nostri riferimenti a queste funzioni. Questo processo ci consente di usare le funzioni della Libreria Standard.



Osservazione di ingegneria del software 14.2

La scrittura di programmi in più file sorgente facilita la riutilizzabilità e una buona ingegneria del software. Le funzioni possono essere comuni a molte applicazioni. In questi casi, tali funzioni vanno memorizzate nei loro file sorgente e ogni file sorgente deve avere un corrispondente file di intestazione contenente i prototipi delle funzioni. Ciò consente ai programmati di applicazioni differenti di riutilizzare lo stesso codice includendo il file di intestazione adatto e compilando le loro applicazioni assieme al file sorgente corrispondente.

14.5.3 Restringere il campo d'azione con static

È possibile restringere il campo d'azione di una variabile globale o di una funzione al file in cui essa è definita. Lo specificatore della classe di memoria `static`, quando si riferisce a una variabile globale o a una funzione, impedisce che questa sia usata da una funzione che non è definita nello stesso file. Questo si dice **collegamento interno**. Le variabili e le funzioni globali non precedute da `static` nelle loro definizioni hanno un **collegamento esterno**: è possibile accedervi in altri file che contengano dichiarazioni e/o prototipi di funzione appropriati.

La dichiarazione di variabile globale

```
static const double PI = 3.14159;
```

crea la variabile costante `PI` di tipo `double`, la inizializza a `3.14159` e indica che `PI` è nota solo alle funzioni nel file in cui è definita.

Lo specificatore `static` si usa comunemente con le funzioni di utilità che vengono chiamate solo dalle funzioni in un particolare file. Se una funzione non è necessaria al di fuori di un particolare file, va fatto valere il principio del privilegio minimo applicando `static` alla definizione e al prototipo della funzione.

14.5.4 Makefile

Quando si costruiscono grandi programmi in più file sorgente, la compilazione del programma diventa pesante se si fanno piccole modifiche a un file e poi si deve ricompilare l'intero programma. Molti sistemi forniscono utilità speciali che ricompilano *soltanto* il file modificato. Sui sistemi Linux/UNIX questa utilità viene chiamata `make`. L'utilità `make` legge un file chiamato `makefile` che contiene istruzioni per compilare ed effettuare il linking del programma. Prodotti come Eclipse™ e Microsoft® Visual C++® forniscono utilità analoghe.

14.6 Terminazione di programmi con exit e atexit

La libreria di utilità generali (`<stdlib.h>`) fornisce metodi per terminare l'esecuzione di programmi con modalità diverse da un ritorno convenzionale dalla funzione `main`. La funzione `exit` provoca la terminazione immediata di un programma. La funzione è usata spesso per terminare un programma quando viene scoperto un errore di input, o quando non si riesce ad aprire un file che deve essere elaborato dal programma. La funzione `atexit` registra una funzione che va chiamata al termine del programma raggiungendo la fine di `main` o quando viene invocata `exit`.

La funzione `atexit` riceve come argomento un puntatore a una funzione (ossia *il nome della funzione*). *Le funzioni chiamate alla terminazione del programma non possono avere argomenti e non possono restituire un valore*.

La funzione `exit` riceve un argomento. L'argomento è normalmente la costante simbolica `EXIT_SUCCESS` o la costante simbolica `EXIT_FAILURE`. Se `exit` viene chiamata con `EXIT_SUCCESS`, il valore definito dall'implementazione per la terminazione riuscita con successo è restituito all'ambiente della funzione chiamante. Se `exit` viene chiamata con `EXIT_FAILURE`, è restituito il valore definito dall'implementazione per la terminazione non riuscita con successo. Quando viene invocata la funzione `exit`, le funzioni registrate in precedenza con `atexit` vengono invocate nell'ordine *inverso* a quello della loro registrazione.

Il programma della Figura 14.4 testa le funzioni `exit` e `atexit`. Il programma richiede all'utente di definire se il programma va terminato con `exit` oppure quando raggiunge la fine di `main`. La funzione `print` viene eseguita in ogni caso al termine del programma.

```

1 // Fig. 14.4: fig14_04.c
2 // Uso delle funzioni exit e atexit
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5
6 void print(void); // prototipo
7
8 int main(void)
9 {
10     atexit(print); // registra la funzione print
11     puts("Enter 1 to terminate program with function exit")

```

```

12     "\nEnter 2 to terminate program normally");
13     int answer: // scelta da menu da parte dell'utente
14     scanf("%d", &answer);
15
16     // chiama exit se la risposta è 1
17     if (answer == 1) {
18         puts("\nTerminating program with function exit");
19         exit(EXIT_SUCCESS);
20     }
21
22     puts("\nTerminating program by reaching the end of main");
23 }
24
25 // stampa il messaggio prima della terminazione
26 void print(void)
27 {
28     puts("Executing function print at program "
29         "termination\nProgram terminated");
30 }

```

Enter 1 to terminate program with function exit
 Enter 2 to terminate program normally

1

Terminating program with function exit
 Executing function print at program termination
 Program terminated

Enter 1 to terminate program with function exit
 Enter 2 to terminate program normally

2

Terminating program by reaching the end of main
 Executing function print at program termination
 Program terminated

Figura 14.4 Uso delle funzioni `exit` e `atexit`.

14.7 Suffissi per letterali interi e in virgola mobile

Il C fornisce *suffissi* per valori interi e in virgola mobile per specificare esplicitamente i tipi di dati di valori letterali interi e in virgola mobile. (Il C standard si riferisce a tali valori letterali come a costanti). Se un letterale intero *non* ha suffisso, il suo tipo è determinato dal primo tipo capace di memorizzare un valore di quella dimensione (prima `int`, poi `long int`, quindi `unsigned long int`, ecc.). Un letterale in virgola mobile che *non* ha un suffisso è automaticamente di tipo `double`.

I suffissi interi sono: `u` o `U` per un `unsigned int`, `l` o `L` per un `long int` e `ll` o `LL` per un `long long int`. È possibile combinare `u` o `U` con i suffissi per `long int` e `long long int` per creare letterali senza segno per i tipi interi più grandi. I letterali seguenti sono, rispettivamente, di tipo `unsigned int`, `long int`, `unsigned long int` e `unsigned long long int`:

```
174u
8358L
28373ul
9876543210llu
```

I suffissi per letterali in virgola mobile sono: **f** o **F** per un **float** e **l** o **L** per un **long double**. Le costanti seguenti sono, rispettivamente, di tipo **float** e **long double**:

```
1.28f
3.14159L
```

14.8 Gestione dei segnali

Un evento *esterno asincrono*, o segnale, può far sì che un programma termini prematuramente. Alcuni eventi riguardano le interruzioni (es. la digitazione di $<Ctrl>c$ su un sistema Linux/UNIX o Windows, o $<Comando>c$ su OS X) e gli ordini di terminazione da parte del sistema operativo. La libreria per la gestione dei segnali (`<signal.h>`) dà la possibilità di intercettare (trap) eventi inaspettati tramite la funzione **signal**. La funzione **signal** riceve due argomenti: un *numero di segnale* intero e un *puntatore a una funzione per la gestione del segnale*. I segnali possono essere generati con la funzione **raise**, la quale riceve come argomento un numero di segnale intero. La Figura 14.5 riepiloga i *segnali standard* definiti nel file di intestazione `<signal.h>`.

Segnale	Spiegazione
SIGABRT	Terminazione anomala del programma (es. una chiamata alla funzione <code>abort</code>).
SIGFPE	Un'operazione aritmetica erronea, come una divisione per zero o un'operazione che genera un overflow.
SIGILL	Rilevazione di un'istruzione non permessa.
SIGINT	Ricezione di un segnale di attenzione interattivo ($<Ctrl>c$ o $<Comando>c$).
SIGSEGV	Un tentativo di accedere alla memoria che non è allocata per un programma.
SIGTERM	Una richiesta di terminazione inviata al programma.

Figura 14.5 Segnali standard definiti in `signal.h`.

La Figura 14.6 usa la funzione **signal** per *intercettare* un **SIGINT**. La riga 12 chiama **signal** con **SIGINT** e un puntatore alla funzione **signalHandler** (ricordate che il nome di una funzione è un puntatore all'inizio della funzione). Quando si rileva un segnale di tipo **SIGINT**, il controllo passa alla funzione **signalHandler**, che stampa un messaggio e dà all'utente l'opzione di continuare l'esecuzione normale del programma. Se l'utente desidera continuare l'esecuzione, il gestore (handler) del segnale viene reinizializzato chiamando di nuovo **signal** e il controllo ritorna al punto nel programma in cui il segnale era stato rilevato.

In questo programma la funzione **raise** (riga 21) viene usata per simulare un **SIGINT**. Si sceglie un numero a caso tra 1 e 50. Se il numero è 25, **raise** viene invocata per generare il segnale. Normalmente, i **SIGINT** sono generati al di fuori del programma. Ad esempio, la digitazione di $<Ctrl>c$ durante l'esecuzione di un programma su un sistema Linux/UNIX o Windows genera un

SIGINT che *termina* l'esecuzione del programma. La gestione dei segnali può essere usata per intercettare un SIGINT ed evitare che il programma venga terminato.

```
1 // Fig. 14.6: fig14_06.c
2 // Uso della gestione dei segnali
3 #include <stdio.h>
4 #include <signal.h>
5 #include <stdlib.h>
6 #include <time.h>
7
8 void signalHandler(int signalValue); // prototipo
9
10 int main(void)
11 {
12     signal(SIGINT, signalHandler); // registra il gestore del segnale
13     srand(time(NULL));
14
15     // stampa i numeri da 1 a 100
16     for (int i = 1; i <= 100; ++i) {
17         int x = 1 + rand() % 50; // numero a caso per emettere un SIGINT
18
19         // genera un SIGINT quando x e' 25
20         if (x == 25) {
21             raise(SIGINT);
22         }
23
24         printf("%d", i);
25
26         // stampa \n quando i e' un multiplo di 10
27         if (i % 10 == 0) {
28             printf("\n");
29         }
30     }
31 }
32
33 // gestisce il segnale
34 void signalHandler(int signalValue)
35 {
36     printf("%s%d%s\n%s",
37             "\nInterrupt signal (", signalValue, ") received.",
38             "Do you wish to continue (1 = yes or 2 = no)? ");
39     int response; // risposta dell'utente al segnale (1 o 2)
40     scanf("%d", &response);
41
42     // controlla la correttezza della risposta
43     while (response != 1 && response != 2) {
44         printf("%s", "(1 = yes or 2 = no)? ");
45         scanf("%d", &response);
46     }
47
48     // determina se e' ora di terminare
```

```

49     if (response == 1) {
50         // reregistra il gestore del segnale per il SIGINT successivo
51         signal(SIGINT, signalHandler);
52     }
53     else {
54         exit(EXIT_SUCCESS);
55     }
56 }
```

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93							

```

Interrupt signal (2) received.
Do you wish to continue (1 = yes or 2 = no)? 1
 94 95 96
Interrupt signal (2) received.
Do you wish to continue (1 = yes or 2 = no)? 2
```

Figura 14.6 Uso della gestione dei segnali.

14.9 Allocazione dinamica della memoria: funzioni `calloc` e `realloc`

Il Capitolo 12 ha introdotto la nozione di allocazione dinamica della memoria con l'uso della funzione `malloc`. Come abbiamo affermato nel Capitolo 12, gli array sono migliori delle liste collegate per quanto riguarda la velocità nell'ordinamento, nella ricerca e nell'accesso ai dati. Tuttavia, gli array sono normalmente **strutture di dati statiche**. La libreria di utilità generali (`stdlib.h`) fornisce altre due funzioni per l'allocazione dinamica della memoria: `calloc` e `realloc`. Queste funzioni possono essere usate per creare e modificare array dinamici. La funzione `calloc` alloca dinamicamente la memoria per un array.

Il prototipo per `calloc` è

```
void *calloc(size_t nmemb, size_t size);
```

I suoi due argomenti rappresentano il *numero di elementi* (`nmemb`) e la *dimensione* di ogni elemento (`size`). La funzione `calloc` inizializza anche gli elementi dell'array a zero. La funzione restituisce un puntatore alla memoria allocata, o un puntatore `NULL` se la memoria *non* può essere allocata. La principale differenza tra `malloc` e `calloc` è che *solo calloc azzerà la memoria* che alloca.

La funzione `realloc` *cambia la dimensione* di un oggetto allocato da una precedente chiamata a `malloc`, `calloc` o `realloc`. I contenuti originari dell'oggetto *non* sono *modificati* purché la quantità di memoria allocata sia *più grande* della quantità allocata in precedenza. Altrimenti, i

contenuti rimangono non modificati fino alla dimensione del nuovo oggetto. Il prototipo per `realloc` è

```
void *realloc(void *ptr, size_t size);
```

I due argomenti sono un puntatore all'oggetto originario (`ptr`) e la *nuova dimensione* dell'oggetto (`size`). Se `ptr` è `NULL`, `realloc` opera in maniera identica a `malloc`. Se `ptr` non è `NULL` e la dimensione è maggiore di zero, `realloc` cerca di *allocare un nuovo blocco di memoria* per l'oggetto. Se il nuovo spazio *non può* essere allocato, l'oggetto puntato da `ptr` rimane immutato. La funzione `realloc` restituisce un puntatore alla memoria riallocata o un puntatore `NULL` per indicare che la memoria non è stata riallocata.



Prevenzione di errori 14.1

Evitate allocazioni di dimensione zero nelle chiamate a malloc, calloc e realloc.

14.10 Salto non condizionato con goto

Abbiamo posto l'accento sull'importanza dell'uso delle tecniche di programmazione strutturata per costruire un software affidabile, facile da correggere, mantenere e modificare. In alcuni casi le prestazioni sono più importanti della stretta aderenza alle tecniche della programmazione strutturata. In questi casi è possibile usare alcune tecniche di programmazione non strutturata. Ad esempio, possiamo usare `break` per terminare l'esecuzione di una struttura di iterazione prima che la condizione di continuazione del ciclo diventi falsa. Questo risparmia le iterazioni non necessarie del ciclo se il compito è completato *prima* del termine del ciclo.

Un altro esempio di programmazione non strutturata è l'**istruzione goto**, un salto non condizionato. Il risultato dell'istruzione `goto` consiste in una modifica del flusso di controllo che viene trasferito alla prima istruzione dopo l'**etichetta** specificata nell'istruzione `goto`. Un'**etichetta** è un identificatore seguito da due punti. Un'**etichetta** deve comparire nella *stessa* funzione dell'istruzione `goto` che si riferisce a essa. Le etichette devono essere uniche tra le funzioni. La Figura 14.7 usa le istruzioni `goto` per ripetere un ciclo dieci volte e stampare ogni volta il valore del contatore. Dopo aver inizializzato `count` a 1, la riga 11 testa `count` per determinare se è maggiore di 10 (l'**etichetta start:** è ignorata perché le etichette non compiono alcuna azione). Se è così, il controllo è trasferito dal `goto` alla prima istruzione dopo l'**etichetta end:** (che compare nella riga 20). Altrimenti, le righe 15–16 stampano `count` e incrementano `count` e il controllo viene trasferito dal `goto` (riga 18) alla prima istruzione dopo l'**etichetta start:** (che compare nella riga 9).

```

1 // Fig. 14.7: fig14_07.c
2 // Uso dell'istruzione goto
3 #include <stdio.h>
4
5 int main(void)
6 {
7     int count = 1; // inizializza count
8
9     start: // etichetta
10
11     if (count > 10) {
12         goto end;

```

```

13     }
14
15     printf("%d  ", count);
16     ++count;
17
18     goto start; // vai a start alla riga 9
19
20 end: // etichetta
21     putchar("\n");
22 }
```

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Figura 14.7 Uso dell'istruzione goto.

Nel Capitolo 3 abbiamo affermato che sono necessarie solamente tre strutture di controllo per scrivere un programma: sequenza, selezione e ripetizione. Quando si seguono le regole della programmazione strutturata è possibile creare strutture di controllo profondamente annidate all'interno di una funzione da cui è difficile uscire efficacemente. Alcuni programmatore usano le istruzioni goto in tali situazioni per una rapida uscita da una struttura di controllo profondamente annidata. Ciò elimina la necessità di verificare le diverse condizioni per uscire da una struttura di controllo. Vi sono altre situazioni in cui il goto è proprio raccomandato (consultate, ad esempio, la raccomandazione MEM12-C del CERT, “Consider using a Goto-Chain when leaving a function on error when using and releasing resources”).



Prestazioni 14.1

L'istruzione goto può essere usata per uscire efficacemente da strutture di controllo profondamente annidate.



Osservazione di ingegneria del software 14.3

L'istruzione goto non è strutturata e può portare a programmi molto più difficili da correggere, mantenere e modificare.

Riepilogo

Paragrafo 14.2 Ridirezione di I/O

- Su molti sistemi di elaborazione è possibile ridirigere l'input e l'output di un programma.
- L'input viene ridiretto dalla riga di comando usando il simbolo di ridirezione dell'input (<) o un pipe (|).
- L'output viene ridiretto dalla riga di comando usando il simbolo di ridirezione dell'output (>) o il simbolo di concatenazione dell'output (>>). Il simbolo di ridirezione dell'output memorizza semplicemente l'output del programma in un file e il simbolo di concatenazione dell'output aggiunge l'output alla fine di un file.

Paragrafo 14.3 Liste di argomenti di lunghezza variabile

- Le macro e le definizioni nel file di intestazione per argomenti variabili <stdarg.h> forniscono le funzionalità necessarie per costruire funzioni con liste di argomenti di lunghezza variabile.

- Un'ellissi (...) nel prototipo di una funzione indica un numero variabile di argomenti.
- Il tipo `va_list` è adatto a contenere le informazioni necessarie alle macro `va_start`, `va_arg` e `va_end`. Per accedere agli argomenti in una lista di argomenti di lunghezza variabile deve essere dichiarato un oggetto di tipo `va_list`.
- La macro `va_start` va invocata prima di accedere agli argomenti di una lista di argomenti di lunghezza variabile. La macro inizializza l'oggetto dichiarato con `va_list` per l'uso da parte delle macro `va_arg` e `va_end`.
- La macro `va_arg` viene espansa in un'espressione che ha il valore e il tipo dell'argomento successivo nella lista degli argomenti di lunghezza variabile. Ogni invocazione a `va_arg` modifica l'oggetto dichiarato con `va_list` in modo che l'oggetto punti al successivo argomento nella lista.
- La macro `va_end` facilita un ritorno normale da una funzione alla cui lista di argomenti di lunghezza variabile faceva riferimento la macro `va_start`.

Paragrafo 14.4 Uso degli argomenti della riga di comando

- Su molti sistemi è possibile passare argomenti alla funzione `main` dalla riga di comando includendo i parametri `int argc` e `char *argv[]` nella lista dei parametri di `main`. Il parametro `argc` riceve il numero di argomenti della riga di comando. Il parametro `argv` è un array di stringhe in cui sono memorizzati gli argomenti effettivi della riga di comando.

Paragrafo 14.5 Compilazione di programmi con più file sorgente

- La definizione di una funzione deve essere interamente contenuta in un solo file. Essa non può abbracciare due o più file.
- Lo specificatore della classe di memoria `extern` indica che una variabile è definita in seguito nello stesso file o in un file differente del programma.
- Le variabili globali devono essere dichiarate in ogni file in cui sono usate.
- I prototipi di funzione possono estendere il campo d'azione di una funzione oltre il file in cui essa è definita. Ciò viene realizzato includendo il prototipo della funzione in ogni file in cui la funzione è invocata e compilando i file insieme.
- Lo specificatore della classe di memoria `static`, quando è riferito a una variabile globale o a una funzione, impedisce che essa venga usata da una funzione che non è definita nello stesso file. Questo si dice collegamento interno. Le variabili e le funzioni globali non precedute da `static` nelle loro definizioni hanno un collegamento esterno: è possibile accedervi in altri file contenenti dichiarazioni o prototipi di funzione appropriati.
- Lo specificatore `static` è comunemente usato per le funzioni di utilità che sono chiamate solo dalle funzioni in un particolare file. Se una funzione non è necessaria al di fuori di un particolare file, va fatto valere il principio del privilegio minimo applicando `static` alla definizione e al prototipo della funzione.
- Quando si costruiscono programmi grandi con più file sorgente, la compilazione del programma risulta pesante se si fanno piccole modifiche a un file e si deve poi ricompilare l'intero programma. Molti sistemi forniscono speciali utilità che ricompilano solo il file modificato. Sui sistemi Linux/UNIX questa utilità viene chiamata `make`. L'utilità `make` legge un file chiamato `makefile` che contiene istruzioni per la compilazione e il linking del programma, e ricompila solo quei file che sono cambiati dall'ultima volta che il progetto è stato costruito.

Paragrafo 14.6 Terminazione di programmi con `exit` e `atexit`

- La funzione `exit` provoca la terminazione di un programma.
- La funzione `atexit` registra una funzione da chiamare quando il programma termina raggiungendo la fine di `main` o quando viene invocata `exit`.
- La funzione `atexit` riceve come argomento un puntatore a una funzione. Le funzioni chiamate al termine del programma non possono avere argomenti e non possono restituire un valore.
- La funzione `exit` riceve un argomento. L'argomento è normalmente la costante simbolica `EXIT_SUCCESS` o la costante simbolica `EXIT_FAILURE`.
- Quando viene chiamata la funzione `exit`, le funzioni registrate con `atexit` vengono invocate nell'ordine inverso rispetto a quello della loro registrazione.

Paragrafo 14.7 Suffissi per letterali interi e in virgola mobile

- Il C fornisce suffissi per valori interi e in virgola mobile per specificare i tipi delle loro costanti. I suffissi interi sono: `u` o `U` per un intero `unsigned`, `l` o `L` per un intero `long` e `ll` o `LL` per un intero `long long int`. Se una costante intera è senza suffisso, il suo tipo è determinato dal primo tipo in grado di memorizzare un valore di quella dimensione (prima `int`, poi `long int`, quindi `unsigned long int`, ecc.). I suffissi in virgola mobile sono: `f` o `F` per `float` e `l` o `L` per `long double`. Una costante in virgola mobile senza suffisso è di tipo `double`.

Paragrafo 14.8 Gestione dei segnali

- La libreria per la gestione dei segnali consente di intercettare (trap) eventi inattesi tramite la funzione `signal`. La funzione `signal` riceve due argomenti: un numero di segnale intero e un puntatore alla funzione per la gestione del segnale.
- È possibile generare segnali anche con la funzione `raise` e un argomento intero.

Paragrafo 14.9 Allocazione dinamica della memoria: funzioni `calloc` e `realloc`

- La libreria di utilità generali (`<stdlib.h>`) fornisce due funzioni per l'allocazione dinamica della memoria: `calloc` e `realloc`. Queste funzioni possono essere usate per creare array dinamici.
- La funzione `calloc` alloca memoria per un array. Riceve due argomenti – il numero di elementi e la dimensione di ogni elemento – e inizializza gli elementi dell'array a zero. La funzione restituisce un puntatore alla memoria allocata, oppure un puntatore `NULL` se la memoria non è stata allocata.
- La funzione `realloc` cambia la dimensione di un oggetto allocato da una precedente chiamata a `malloc`, `calloc` o `realloc`. I contenuti dell'oggetto originario non sono modificati, a condizione che la quantità di memoria allocata sia più grande della quantità allocata in precedenza.
- La funzione `realloc` riceve due argomenti: un puntatore all'oggetto originario e la nuova dimensione dell'oggetto. Se `ptr` è `NULL`, `realloc` opera in maniera identica a `malloc`. Altrimenti, se `ptr` non è `NULL` e `size` è maggiore di zero, `realloc` cerca di allocare un nuovo blocco di memoria per l'oggetto. Se il nuovo spazio non può essere allocato, l'oggetto puntato da `ptr` rimane immutato. La funzione `realloc` restituisce un puntatore alla memoria riallocata, o un puntatore `NULL` per indicare che la memoria non è stata riallocata.

Paragrafo 14.10 Salto non condizionato con *goto*

- Il risultato dell'istruzione *goto* è una modifica nel flusso di controllo del programma. L'esecuzione del programma continua alla prima istruzione dopo l'etichetta specificata nell'istruzione *goto*.
- Un'etichetta è un identificatore seguito da due punti. Un'etichetta deve comparire nella stessa funzione dell'istruzione *goto* che si riferisce a essa.

Esercizi di autovalutazione**14.1** Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti frasi:

- Il simbolo _____ ridirige i dati di input facendoli leggere da un file invece che dalla tastiera.
- Il simbolo _____ è usato per ridirigere l'output per memorizzarlo su un file invece che inviarlo sullo schermo.
- Il simbolo _____ è usato per aggiungere l'output di un programma alla fine di un file.
- Un _____ connette l'output di un programma all'input di un altro programma.
- Una _____ nella lista dei parametri di una funzione indica che la funzione può ricevere un numero variabile di argomenti.
- La macro _____ deve essere invocata prima che si possa accedere agli argomenti in una lista di argomenti di lunghezza variabile.
- La macro _____ accede ai singoli argomenti di una lista di argomenti di lunghezza variabile.
- La macro _____ facilita un normale ritorno da una funzione alla cui lista di argomenti di lunghezza variabile faceva riferimento la macro `va_start`.
- L'argomento _____ di `main` riceve il numero di argomenti in una riga di comando.
- L'argomento _____ di `main` memorizza gli argomenti di una riga di comando come stringhe di caratteri.
- L'utilità Linux/UNIX _____ legge un file chiamato _____ contenente istruzioni per la compilazione e il linking di un programma costituito da più file sorgente.
- La funzione _____ costringe un programma a terminare l'esecuzione.
- La funzione _____ registra una funzione da chiamare alla normale terminazione di un programma.
- Un _____ per letterali interi o in virgola mobile può essere aggiunto a una costante intera o in virgola mobile per specificare il tipo esatto della costante.
- La funzione _____ può essere usata per intercettare eventi inattesi.
- La funzione _____ genera un segnale dall'interno di un programma.
- La funzione _____ alloca dinamicamente la memoria per un array e inizializza gli elementi a zero.
- La funzione _____ modifica la dimensione di un blocco di memoria dinamica allocata in precedenza.

Risposte all'esercizio di autovalutazione

- 14.1 a) di ridirezione dell'input (<). b) di ridirezione dell'output (>). c) di concatenamento dell'output (>>). d) pipe (|). e) ellissi (...). f) va_start. g) va_arg. h) va_end. i) argc. j) argv. k) make, makefile. l) exit. m) atexit. n) suffisso. o) signal. p) raise. q) calloc. r) realloc.

Esercizi

- 14.2 (*Lista argomenti di lunghezza variabile: calcolo del prodotto*) Scrivete un programma che calcoli il prodotto di una serie di interi che vengono passati alla funzione product usando una lista di argomenti di lunghezza variabile. Provate la vostra funzione con diverse chiamate, ognuna con un numero differente di argomenti.
- 14.3 (*Stampare gli argomenti di una riga di comando*) Scrivete un programma che stampi gli argomenti della riga di comando del programma.
- 14.4 (*Ordinamento di interi*) Scrivete un programma che ordini un array di interi in ordine crescente o decrescente. Usate gli argomenti della riga di comando per passare l'argomento -a per indicare l'ordine crescente o l'argomento -d per indicare l'ordine decrescente. [Nota: questo è il formato standard per passare le opzioni a un programma in UNIX.]
- 14.5 (*Gestione dei segnali*) Leggete la documentazione per il vostro compilatore per determinare quali segnali sono supportati dalla libreria per la gestione dei segnali (<signal.h>). Scrivete un programma che contenga i gestori di segnali (handler) per i segnali standard SIGABRT e SIGINT. Il programma deve testare l'intercettazione di questi segnali chiamando la funzione abort per generare un segnale di tipo SIGABRT e chiedendo all'utente di digitare <Ctrl> c (<Comando> c su OS X) per generare un segnale di tipo SIGINT.
- 14.6 (*Allocazione dinamica di array*) Scrivete un programma che allochi in maniera dinamica un array di interi. La dimensione dell'array va inserita tramite tastiera. Agli elementi dell'array vanno assegnati valori inseriti anch'essi tramite tastiera. Stampate i valori dell'array. In seguito, riallocate la memoria per l'array con dimensione pari alla metà del numero corrente di elementi. Stampate i valori che rimangono nell'array per confermare che essi corrispondono alla prima metà dei valori dell'array originario.
- 14.7 (*Argomenti della riga di comando*) Scrivete un programma che riceva due argomenti della riga di comando che sono nomi di file, legga i caratteri dal primo file uno alla volta e scriva i caratteri in ordine inverso sul secondo file.
- 14.8 (*Istruzione goto*) Scrivete un programma che usi istruzioni goto e solo le tre seguenti istruzioni printf per simulare una struttura di ripetizione annidata che stampa un quadrato di asterischi, come mostrato sotto:

```
printf("%s", "*");
printf("%s", " ");
printf("%s", "\n");
```

```
*****
* *
* *
*****
```

Tabella di precedenza degli operatori

Gli operatori sono mostrati dall'alto in basso in ordine decrescente di precedenza (Figura A.1).

Operatore	Tipo	Associatività
()	parentesi (operatore di chiamata di funzione)	da sinistra a destra
[]	indice di array	
.	selezione di membro tramite oggetto	
->	selezione di membro tramite puntatore	
++	post-incremento unario	
--	post-decremento unario	
++	pre-incremento unario	da destra a sinistra
--	pre-decremento unario	
+	più unario	
-	meno unario	
!	negazione logica unaria	
~	complemento bit a bit unario	
(<i>tipo</i>)	cast unario	
*	dereferenziazione	
&	indirizzo	
sizeof	determina la dimensione in byte	
*	moltiplicazione	da sinistra a destra
/	divisione	
%	modulo	
+	addizione	da sinistra a destra
-	sottrazione	
<<	spostamento a sinistra bit a bit	da sinistra a destra
>>	spostamento a destra bit a bit	
<	relazionale minore di	da sinistra a destra
<=	relazionale minore o uguale a	
>	relazionale maggiore di	
>=	relazionale maggiore o uguale a	
==	relazionale uguale a	da sinistra a destra
!=	relazionale non uguale a	
&	AND bit a bit	da sinistra a destra
^	OR esclusivo bit a bit	da sinistra a destra
	OR inclusivo bit a bit	da sinistra a destra
&&	AND logico	da sinistra a destra

Figura A.1 Tabella di precedenza degli operatori del linguaggio C.

continua

Operatore	Tipo	Associatività
	OR logico	da sinistra a destra
? :=	condizionale ternario	da destra a sinistra
=	assegnazione	da destra a sinistra
+=	assegnazione di addizione	
-=	assegnazione di sottrazione	
*=	assegnazione di moltiplicazione	
/=	assegnazione di divisione	
%=	assegnazione di modulo	
&=	assegnazione di AND bit a bit	
^=	assegnazione di OR esclusivo bit a bit	
=	assegnazione di OR inclusivo bit a bit	
<<=	assegnazione di spostamento a sinistra bit a bit	
>>=	assegnazione di spostamento a destra con segno bit a bit	
,	virgola	da sinistra a destra

Figura A.1 Tabella di precedenza degli operatori del linguaggio C.

Insieme dei caratteri ASCII											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	nul	soh	stx	etx	eot	enq	ack	bel	bs	ht	
1	lf	vt	ff	cr	so	si	dle	dc1	dc2	dc3	
2	dc4	nak	syn	etb	can	em	sub	esc	fs	gs	
3	rs	us	sp	!	"	#	\$	%	&	'	
4	()	*	+	,	-	.	/	0	1	
5	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	
6	<	=	>	?	@	A	B	C	D	E	
7	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
8	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	
9	Z	[\]	^	_	,	a	b	c	
10	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	
11	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	
12	x	y	z	{		}	~	del			

Figura B.1 Insieme dei caratteri ASCII.

Le cifre a sinistra nella tabella sono quelle più significative dell'equivalente decimale (0–127) del codice del carattere e le cifre in alto sono quelle meno significative del codice del carattere. Ad esempio, il codice per "F" è 70 e il codice per "&" è 38.



OBIETTIVI

- Comprendere i concetti fondamentali dei sistemi di numerazione come base, valore posizionale e valore dei simboli.
- Comprendere le operazioni con numeri rappresentati nei sistemi di numerazione binario, ottale ed esadecimale.
- Abbreviare i numeri binari con i numeri ottali o esadecimali.
- Convertire numeri ottali e numeri esadecimali in numeri binari.
- Effettuare conversioni avanti e indietro tra numeri decimali e i loro equivalenti binari, ottali ed esadecimali.
- Comprendere l'aritmetica binaria e la rappresentazione dei numeri binari negativi nella notazione con complemento a due.

C.1 Introduzione

In questa appendice introduciamo i sistemi di numerazione fondamentali che i programmati usano, specialmente quando lavorano su progetti software che richiedono una stretta interazione con hardware a livello macchina. Progetti di questo tipo riguardano i sistemi operativi, il software di rete, i compilatori, i sistemi di basi di dati e le applicazioni che richiedono alte prestazioni.

Quando in un programma scriviamo un intero come 227 o -63, si presuppone che il numero sia rappresentato nel **sistema di numerazione decimale (in base 10)**. Le cifre nel sistema di numerazione decimale sono 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9. La cifra più bassa è 0 e quella più alta è 9, uno meno della base 10. Internamente i computer usano il **sistema di numerazione binario (in base 2)**. Il sistema di numerazione binario ha solo due cifre, e cioè 0 e 1. La sua cifra più bassa è 0 e la sua cifra più alta è 1, uno meno della base 2.

Come vedremo, i numeri binari tendono a essere molto più lunghi dei loro equivalenti decimali. I programmati che lavorano con linguaggi assemblatori e con linguaggi ad alto livello come il C che consentono di spingersi fino al livello macchina, trovano scomodo lavorare con i numeri binari. Perciò si sono diffusi altri due sistemi di numerazione – il **sistema di numerazione ottale (in base 8)** e il **sistema di numerazione esadecimale (in base 16)** – principalmente perché rendono pratico abbreviare i numeri binari.

Nel sistema di numerazione ottale le cifre vanno da 0 a 7. Poiché sia il sistema di numerazione binario che quello ottale hanno meno cifre del sistema di numerazione decimale, le loro cifre equivalgono a quelle corrispondenti nel sistema decimale.

Il sistema di numerazione esadecimale pone un problema, in quanto necessita di 16 cifre: la cifra più bassa è 0 e la cifra più alta ha un valore equivalente al valore decimale 15 (uno meno della base 16). Per convenzione, usiamo le lettere dalla A alla F per rappresentare le cifre esadecimali corrispondenti ai valori decimali da 10 a 15. In questo modo, nel sistema esadecimale possiamo avere numeri come 876 costituiti solo da cifre come quelle decimali, numeri come 8A55F costituiti da cifre e lettere, nonché numeri come FFE costituiti unicamente da lettere. Occasionalmente, un numero esadecimale forma una parola comune come FACE o FEED. Ciò può sembrare strano ai programmatori abituati a lavorare con i numeri. Le cifre dei sistemi di numerazione binario, ottale, decimale ed esadecimale sono riepilogate nelle Figure C.1–C.2.

Cifra binaria	Cifra ottale	Cifra decimale	Cifra esadecimale
0	0	0	0
1	1	1	1
	2	2	2
	3	3	3
	4	4	A (valore decimale 10)
	5	5	B (valore decimale 11)
	6	6	C (valore decimale 12)
	7	7	D (valore decimale 13)
		8	E (valore decimale 14)
		9	F (valore decimale 15)

Figura C.1 Cifre dei sistemi di numerazione binario, ottale, decimale ed esadecimale.

Attributo	Binario	Ottale	Decimale	Esadecimale
Base	2	8	10	16
Cifra più bassa	0	0	0	0
Cifra più alta	1	7	9	F

Figura C.2 Confronto fra i sistemi di numerazione binario, ottale, decimale ed esadecimale.

Ognuno di questi sistemi di numerazione usa la **notazione posizionale**: ogni posizione in cui è scritta una cifra ha un **valore posizionale** differente. Ad esempio, nel numero decimale 937 (9, 3 e 7 sono i **valori dei simboli**), il 7 è scritto nella posizione delle unità, il tre nella posizione delle decine e il 9 nella posizione delle centinaia. Ognuna di queste posizioni è una potenza della base (base 10) e queste potenze iniziano da zero e aumentano di uno quando ci spostiamo a sinistra nel numero (Figura C.3).

Valori posizionali nel sistema di numerazione decimale

Cifra decimale	9	3	7
Denominazione della posizione	Centinaia	Decine	Unità
Valore posizionale	100	10	1
Valore posizionale espresso come potenza della base (10)	10^2	10^1	10^0

Figura C.3 Valori posizionali nel sistema di numerazione decimale.

Per numeri decimali più lunghi, le posizioni successive verso sinistra sono la posizione delle migliaia (10 alla terza potenza), la posizione delle decine di migliaia (10 alla quarta potenza), la posizione delle centinaia di migliaia (10 alla quinta potenza), la posizione dei milioni (10 alla sesta potenza), la posizione delle decine di milioni (10 alla settima potenza) e così via.

Nel numero binario 101, l'1 più a destra è scritto nella posizione degli "uno" (o delle unità), lo 0 è scritto nella posizione dei "due" e l'1 più a sinistra è scritto nella posizione dei "quattro". Ogni posizione è una potenza della base (base 2) e queste potenze iniziano da 0 e aumentano di uno quando ci spostiamo verso sinistra nel numero (Figura C.4). Pertanto, $101 = 1 * 2^2 + 0 * 2^1 + 1 * 2^0 = 4 + 0 + 1 = 5$.

Valori posizionali nel sistema di numerazione binario

Cifra binaria	1	0	1
Denominazione della posizione	Quattro	Due	Uno
Valore posizionale	4	2	1
Valore posizionale espresso come potenza della base (2)	2^2	2^1	2^0

Figura C.4 Valori posizionali nel sistema di numerazione binario.

Per numeri binari più lunghi, le posizioni successive verso sinistra sono la posizione degli "otto" (2 alla terza potenza), la posizione dei "sedici" (2 alla quarta potenza), la posizione dei "trentadue" (2 alla quinta potenza), la posizione dei "sessantaquattro" (2 alla sesta potenza) e così via.

Nel numero ottale 425, il 5 è scritto nella posizione degli "uno" (o delle unità), il 2 nella posizione degli "otto" e il 4 nella posizione dei "sessantaquattro". Ognuna di queste posizioni è una potenza della base (base 8) e queste potenze iniziano da 0 e aumentano di 1 quando ci spostiamo a sinistra nel numero (Figura C.5).

Valori posizionali nel sistema di numerazione ottale

Cifra ottale	4	2	5
Denominazione della posizione	Sessantaquattro	Otto	Uno
Valore posizionale	64	8	1
Valore posizionale espresso come potenza della base (8)	8^2	8^1	8^0

Figura C.5 Valori posizionali nel sistema di numerazione ottale.

Per numeri ottali più lunghi, le posizioni successive verso sinistra sono la posizione dei “cinquecentododici” (8 alla terza potenza), la posizione dei “quattromila e novantasei” (8 alla quarta potenza), la posizione dei “trentaduemilasettecentosessantotto” (8 alla quinta potenza) e così via.

Nel numero esadecimale 3DA, la cifra A è scritta nella posizione degli “uno” (o delle unità), la D è scritta nella posizione dei “sedici” e il 3 nella posizione dei “duecentocinquantasei”. Ognuna di queste posizioni è una potenza della base (base 16) e queste potenze iniziano da 0 e aumentano di uno quando ci spostiamo verso sinistra nel numero (Figura C.6).

Valori posizionali nel sistema di numerazione esadecimale

Cifra esadecimale	3	D	A
Denominazione della posizione	Duecentocinquantasei	Sedici	Uno
Valore posizionale	256	16	1
Valore posizionale espresso come potenza della base (16)	16^2	16^1	16^0

Figura C.6 Valori posizionali nel sistema di numerazione esadecimale.

Per numeri esadecimali più lunghi le posizioni successive verso sinistra sono la posizione dei “quattromilanovantasei” (16 alla terza potenza), la posizione dei “sessantacinquemilacinquecentotrentasei” (16 alla quarta potenza) e così via.

C.2 Abbreviazione dei numeri binari come numeri ottali ed esadecimali

In informatica i numeri ottali ed esadecimali sono usati principalmente per abbreviare le rappresentazioni binarie troppo lunghe. La Figura C.7 evidenzia il fatto che i numeri binari troppo lunghi possono essere espressi concisamente con sistemi di numerazione con basi più alte invece che con il sistema di numerazione binario.

Sia il sistema di numerazione ottale che quello esadecimale hanno un rapporto particolarmente importante col sistema binario, dovuto al fatto che le basi del sistema ottale e del sistema esadecimale (rispettivamente, 8 e 16) sono potenze della base del sistema di numerazione binario (base 2). Considerate il seguente numero binario di 12 cifre e i suoi equivalenti ottale ed esadecimale. Provate a determinare quanto questo rapporto renda conveniente l’abbreviazione dei numeri binari in ottali o esadecimali. La risposta la trovate dopo i numeri.

Numero binario	Equivalenti ottale	Equivalenti esadecimale
100011010001	4321	8D1

Per vedere come il numero binario si converta facilmente in ottale, suddividete semplicemente il numero binario di 12 cifre in gruppi di tre bit consecutivi e scrivete questi gruppi sopra le cifre corrispondenti del numero ottale come segue:

100	011	010	001
4	3	2	1

La cifra ottale che avete scritto sotto ogni gruppo di tre bit corrisponde precisamente all’equivalente ottale di quel numero binario di 3 cifre, come mostrato nella Figura C.7.

Numero decimale	Rappresentazione binaria	Rappresentazione ottale	Rappresentazione esadecimale
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10

Figura C.7 Equivalenza fra numeri decimali, binari, ottali ed esadecimali.

Lo stesso genere di rapporto può essere osservato effettuando la conversione da un numero binario in uno esadecimale. Suddividete il numero binario di 12 cifre in gruppi di quattro bit consecutivi e scrivete questi gruppi sopra le cifre corrispondenti del numero esadecimale come segue:

1000	1101	0001
8	D	1

La cifra esadecimale che avete scritto sotto ogni gruppo di quattro bit corrisponde precisamente all'equivalente esadecimale di quel numero binario di 4 cifre, come mostrato nella Figura C.7.

C.3 Conversione di numeri ottali ed esadecimali in numeri binari

Nel paragrafo precedente abbiamo visto come convertire numeri binari nei loro equivalenti ottali ed esadecimali, formando gruppi di cifre binarie e riscrivendoli semplicemente come valori equivalenti in cifre ottali o esadecimali. Questo processo può essere usato all'inverso per produrre l'equivalente binario di un dato numero ottale o esadecimale.

Ad esempio, il numero ottale 653 viene convertito in binario scrivendo semplicemente il 6 come il suo equivalente binario di 3 cifre 110, il 5 come il suo equivalente binario di 3 cifre 101 e il 3 come il suo equivalente binario di 3 cifre 011, così da formare il numero binario di 9 cifre 110101011.

Il numero esadecimale FAD5 viene convertito in binario scrivendo semplicemente la F come il suo equivalente binario di 4 cifre 1111, la A come il suo equivalente binario di 4 cifre 1010, la D come il suo equivalente binario di 4 cifre 1101 e il 5 come il suo equivalente binario di 4 cifre 0101, così da formare il numero di 16 cifre 1111101011010101.

C.4 Conversione da binario, ottale o esadecimale a decimale

Siamo abituati a lavorare con i decimali, e quindi fa spesso comodo convertire un numero binario, ottale o esadecimale in uno decimale, così da avere un senso del valore “reale” del numero. Le nostre tabelle nel Paragrafo C.1 esprimono i valori posizionali come valori decimali. Per convertire un numero in decimale da un’altra base, moltiplicate l’equivalente decimale di ogni cifra per il suo valore posizionale e sommate questi prodotti. Ad esempio, il numero binario 110101 viene convertito nel decimale 53, come mostrato nella Figura C.8.

Conversione di un numero binario in uno decimale						
Valori posizionali	32	16	8	4	2	1
Valori dei simboli	1	1	0	1	0	1
Prodotti	$1 \cdot 32 = 32$	$1 \cdot 16 = 16$	$0 \cdot 8 = 0$	$1 \cdot 4 = 4$	$0 \cdot 2 = 0$	$1 \cdot 1 = 1$
Somma	$= 32 + 16 + 0 + 4 + 0 + 1 = 53$					

Figura C.8 Conversione di un numero binario in uno decimale.

Per convertire l’ottale 7614 nel decimale 3980, adoperiamo la stessa tecnica, utilizzando questa volta valori posizionali appropriati per il sistema di numerazione ottale, come mostrato nella Figura C.9.

Conversione di un numero ottale in uno decimale				
Valori posizionali	512	64	8	1
Valori dei simboli	7	6	1	4
Prodotti	$7 \cdot 512 = 3584$	$6 \cdot 64 = 384$	$1 \cdot 8 = 8$	$4 \cdot 1 = 4$
Somma	$= 3584 + 384 + 8 + 4 = 3980$			

Figura C.9 Conversione di un numero ottale in uno decimale.

Per convertire l’esadecimale AD3B nel decimale 44347 adoperiamo la stessa tecnica, utilizzando questa volta valori posizionali appropriati per il sistema di numerazione esadecimale, come mostrato nella Figura C.10.

Conversione di un numero esadecimale in uno decimale				
Valori posizionali	4096	256	16	1
Valori dei simboli	A	D	3	B
Prodotti	$A \cdot 4096 = 40960$	$D \cdot 256 = 3328$	$3 \cdot 16 = 48$	$B \cdot 1 = 11$
Somma	$= 40960 + 3328 + 48 + 11 = 44347$			

Figura C.10 Conversione di un numero esadecimale in uno decimale.

C.5 Conversione da decimale a binario, ottale o esadecimale

Le conversioni nel Paragrafo C.4 derivano naturalmente dalle convenzioni della notazione posizionale. La conversione da decimale a binario, ottale o esadecimale deriva anch'essa da queste convenzioni.

Supponiamo di voler convertire il decimale 57 in binario. Iniziamo scrivendo i valori posizionali delle colonne da destra a sinistra con riferimento al sistema binario, finché giungiamo a una colonna il cui valore posizionale è maggiore del numero decimale. Quella colonna non ci serve, perciò la eliminiamo. Quindi dapprima scriviamo:

Valori posizionali:	64	32	16	8	4	2	1
---------------------	----	----	----	---	---	---	---

Poi eliminiamo la colonna con il valore posizionale 64, lasciando:

Valori posizionali:	32	16	8	4	2	1
---------------------	----	----	---	---	---	---

In seguito procediamo dalla colonna più a sinistra verso destra. Dividiamo il 57 per 32 e osserviamo che il 32 è contenuto una volta nel 57 con un resto di 25, per cui scriviamo 1 nella colonna del 32. Dividiamo il resto di 25 per 16 e osserviamo che il 16 è contenuto una volta nel 25 con un resto di 9, per cui scriviamo 1 nella colonna del 16. Dividiamo il 9 per 8 e osserviamo che l'8 è contenuto una volta nel 9 con un resto di 1. Le due colonne successive danno ciascuna un quoziente uguale a 0 nella divisione di 1 per i loro valori posizionali, quindi scriviamo degli zeri nelle colonne del 4 e del 2. Infine, 1 diviso 1 dà 1 e così scriviamo 1 nella colonna dell'1. Questo procedimento dà:

Valori posizionali:	32	16	8	4	2	1
Valori dei simboli:	1	1	1	0	0	1

per cui il decimale 57 è equivalente al binario 111001.

Per convertire il decimale 103 in ottale, iniziamo scrivendo i valori posizionali delle colonne da destra a sinistra con riferimento al sistema ottale, finché giungiamo a una colonna il cui valore posizionale è maggiore del numero decimale. Quella colonna non ci serve, perciò la eliminiamo.

Quindi dapprima scriviamo:

Valori posizionali:	512	64	8	1
---------------------	-----	----	---	---

Poi eliminiamo la colonna con il valore posizionale 512, ottenendo:

Valori posizionali:	64	8	1
---------------------	----	---	---

In seguito procediamo dalla colonna più a sinistra verso destra. Dividiamo il 103 per 64 e osserviamo che il 64 è contenuto una volta nel 103 con un resto di 39, e così scriviamo 1 nella colonna del 64. Dividiamo il resto di 39 per 8 e osserviamo che l'8 è contenuto quattro volte nel 39 con un resto di 7, per cui scriviamo 4 nella colonna dell'8. Infine, dividiamo il 7 per 1 e osserviamo che l'1 è contenuto sette volte nel 7 senza resto, per cui scriviamo 7 nella colonna dell'1. Questo dà:

Valori posizionali:	64	8	1
Valori dei simboli:	1	4	7

e pertanto il decimale 103 è equivalente all'ottale 147.

Per convertire il decimale 375 in un esadecimale, iniziamo scrivendo i valori posizionali delle colonne da destra a sinistra con riferimento al sistema esadecimale, finché giungiamo a una colonna il cui valore posizionale è maggiore del numero decimale. Quella colonna non ci serve, per cui la eliminiamo. Quindi innanzitutto scriviamo:

Valori posizionali:	4096	256	16	1
---------------------	------	-----	----	---

Poi eliminiamo la colonna con il valore posizionale 4096, ottenendo:

Valori posizionali:	256	16	1
---------------------	-----	----	---

Dopo procediamo dalla colonna più a sinistra verso destra. Dividiamo il 375 per 256 e osserviamo che il 256 è contenuto una volta nel 375 con un resto di 119, perciò scriviamo 1 nella colonna del 256. Dividiamo il resto di 119 per 16 e osserviamo che il 16 è contenuto sette volte nel 119 con un resto di 7, per cui scriviamo 7 nella colonna del 16. Alla fine, dividiamo il 7 per 1 e osserviamo che l'1 è contenuto sette volte nel 7 senza resto, e così scriviamo 7 nella colonna dell'1. Questo dà:

Valori posizionali:	256	16	1
Valori dei simboli:	1	7	7

e pertanto il decimale 375 è equivalente all'esadecimale 177.

C.6 Numeri binari negativi: notazione con complemento a due

L'analisi finora fatta in questa appendice si è focalizzata sui numeri positivi. In questo paragrafo spieghiamo come i computer rappresentano i numeri negativi usando la **notazione con complemento a due**. Prima di tutto spieghiamo come si forma il complemento a due di un numero binario, poi mostriamo perché questo rappresenta il **valore negativo** di un dato numero binario.

Facciamo l'ipotesi di una macchina con interi di 32 bit. Consideriamo la seguente dichiarazione:

```
int value = 13;
```

La rappresentazione a 32 bit del valore della variabile `value` è

```
00000000 00000000 00000000 00001101
```

Per rappresentare il negativo di `value`, calcoliamo dapprima il suo **complemento a uno**, applicando l'**operatore complemento bit a bit** del C (`~`):

```
onesComplementOfValue = ~value;
```

Nella rappresentazione interna, `~value` è adesso `value` con ciascuno dei suoi bit invertiti: gli uni diventano zeri e gli zeri diventano uni, come segue:

```
value:  
00000000 00000000 00000000 00001101  
~value (ossia il complemento a uno del valore):  
11111111 11111111 11111111 11110010
```

Per formare il complemento a due di `value`, aggiungiamo semplicemente 1 al suo complemento a uno. Di conseguenza

Complemento a due di `value`:

```
11111111 11111111 11111111 11110011
```

Se questo valore adesso è effettivamente uguale a -13, dovremmo poterlo aggiungere alla rappresentazione binaria di 13 e ottenere un risultato uguale a 0. Proviamo ciò:

```
00000000 00000000 00000000 00001101
+11111111 11111111 11111111 11110011
-----
00000000 00000000 00000000 00000000
```

Il bit di riporto che risulta dalla colonna più a sinistra viene eliminato e otteniamo come risultato proprio 0. Se aggiungiamo il complemento a uno di un numero al numero stesso, il risultato sarebbe un valore con tutti uni. La chiave per ottenere un risultato di tutti zeri sta nel fatto che il complemento a due è uno più del complemento a uno. L'aggiunta di 1 porta ogni colonna ad avere somma 0 con un riporto di 1. Il riporto continua a spostarsi verso sinistra, finché non viene eliminato dal bit più a sinistra, e così il numero che risulta è di tutti zeri.

I computer effettivamente eseguono una sottrazione, come

```
x = a - value;
```

addizionando il complemento a due di `value` ad `a`, come segue:

```
x = a + (~value + 1);
```

Supponete che `a` sia 27 e `value` sia 13 come prima. Se il complemento a due di `value` è veramente il negativo di `value`, allora addizionare il complemento a due di `value` ad `a` dovrebbe dare come risultato 14. Proviamo ciò:

```
a (cioè 27)      00000000 00000000 00000000 00011011
+(~value + 1)    +11111111 11111111 11111111 11110011
-----
00000000 00000000 00000000 00001110
```

che è proprio uguale a 14.

Riepilogo

- In un programma si suppone che un intero come 19, o 227 o -63 sia espresso nel sistema di numerazione decimale (in base 10). Le cifre nel sistema di numerazione decimale sono 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9. La cifra più bassa è 0 e quella più alta è 9 (uno meno della base 10).
- Internamente i computer usano il sistema di numerazione binario (base 2). Il sistema di numerazione binario ha solo due cifre, e cioè 0 e 1. La sua cifra più bassa è 0 e la sua cifra più alta è 1 (uno meno della base 2).
- Il sistema di numerazione ottale (in base 8) e il sistema di numerazione esadecimale (in base 16) sono molto diffusi, principalmente perché rendono pratica l'abbreviazione dei numeri binari.

- Le cifre del sistema di numerazione ottale vanno da 0 a 7.
- Il sistema di numerazione esadecimale pone un problema in quanto necessita di 16 cifre; la cifra più bassa è 0 e la cifra più alta ha un valore equivalente al decimale 15 (uno meno della base 16). Per convenzione, usiamo le lettere dalla A alla F per rappresentare le cifre esadecimali corrispondenti ai valori decimali da 10 a 15.
- Ogni sistema di numerazione usa la notazione posizionale: ogni posizione in cui è scritta una cifra ha un valore posizionale differente.
- Entrambi i sistemi di numerazione ottale ed esadecimale hanno un rapporto particolarmente importante col sistema binario, dovuto al fatto che le loro basi (rispettivamente, 8 e 16) sono potenze della base del sistema di numerazione binario (base 2).
- Per convertire un ottale in un numero binario, sostituite ogni cifra ottale col suo equivalente binario di tre cifre.
- Per convertire un numero esadecimale in un numero binario, sostituite semplicemente ciascuna cifra esadecimale col suo equivalente binario di quattro cifre.
- Essendo abituati a lavorare con i decimali, ci è comodo convertire un numero binario, ottale o esadecimale in un decimale, così da avere una percezione del valore “reale” del numero.
- Per convertire un numero nella rappresentazione decimale da un’altra base, moltiplicate l’equivalente decimale di ogni cifra per il suo valore posizionale e sommate i prodotti.
- I computer rappresentano i numeri negativi usando la notazione con complemento a due.
- Per formare il negativo di un valore in binario, calcolate dapprima il suo complemento a uno applicando l’operatore complemento bit a bit del C (~). Questo inverte tutti i suoi bit. Per formare il complemento a due del valore, aggiungete semplicemente uno al suo complemento a uno.

Esercizi di autovalutazione

- C.1** Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti affermazioni:
- Le basi dei sistemi di numerazione decimale, binario, ottale ed esadecimale sono, rispettivamente, _____, _____, _____ e _____.
 - Il valore posizionale della cifra più a destra di un numero in binario, ottale, decimale o esadecimale è sempre _____.
 - Il valore posizionale della cifra alla sinistra della cifra più a destra di un numero in binario, ottale, decimale o esadecimale è sempre uguale alla _____.
- C.2** Stabilite se ognuna delle seguenti affermazioni sia *vera* o *falsa*. Se *falsa*, spiegate perché.
- Una ragione diffusa per usare il sistema di numerazione decimale è che questo realizza una notazione comoda per abbreviare i numeri binari sostituendo semplicemente una cifra decimale a un gruppo di quattro bit.
 - La cifra più alta in una base è uno più della base.
 - La cifra più bassa in una base è uno meno della base.
- C.3** In generale, le rappresentazioni decimale, ottale ed esadecimale di un dato numero binario contengono (più/meno) cifre di quante ne contiene il numero binario.
- C.4** La rappresentazione (ottale/esadecimale/decimale) di un grande valore binario è la più concisa (delle alternative date).
- C.5** Riempite i valori mancanti nella seguente tabella di valori posizionali per le quattro posizioni più a destra in ognuno dei sistemi di numerazione indicati.

decimale	1000	100	10	1
esadecimale	...	256
binario
ottale	512	...	8	...

- C.6 Convertite il binario 110101011000 in ottale e in esadecimale.
- C.7 Convertite l'esadecimale FACE in binario.
- C.8 Convertite l'ottale 7316 in binario.
- C.9 Convertite l'esadecimale 4FEC in ottale. [Suggerimento: convertite dapprima 4FEC in binario, poi convertite il numero binario in ottale.]
- C.10 Convertite il binario 1101110 in decimale.
- C.11 Convertite l'ottale 317 in decimale.
- C.12 Convertite l'esadecimale EFD4 in decimale.
- C.13 Convertite il decimale 177 in binario, in ottale e in esadecimale.
- C.14 Mostrate la rappresentazione binaria del decimale 417, quindi mostrate il complemento a uno e il complemento a due di 417.
- C.15 Quale risultato si ottiene quando un numero e il suo complemento a due sono sommati l'uno all'altro?

Risposte agli esercizi di autovalutazione

- C.1 a) 10, 2, 8, 16. b) 1 (la base elevata alla potenza zero), c) base del sistema di numerazione.
- C.2 a) Falso. È il sistema esadecimale a fare questo. b) Falso. La cifra più alta in una base è uno meno della base. c) Falso. La cifra più bassa in una base è zero.
- C.3 Meno.
- C.4 Esadecimale.
- C.5
- | | | | | |
|-------------|------|-----|----|---|
| decimale | 1000 | 100 | 10 | 1 |
| esadecimale | 4096 | 256 | 16 | 1 |
| binario | 8 | 4 | 2 | 1 |
| ottale | 512 | 64 | 8 | 1 |
- C.6 Ottale 6530; Esadecimale D58.
- C.7 Binario 1111 1010 1100 1110.
- C.8 Binario 111 011 001 110.
- C.9 Binario 0 100 111 111 101 100; Ottale 47754.
- C.10 Decimale $2 + 4 + 8 + 32 + 64 = 110$.
- C.11 Decimale $7 + 1 * 8 + 3 * 64 = 7 + 8 + 192 = 207$.
- C.12 Decimale $4 + 13 * 16 + 15 * 256 + 14 * 4096 = 61396$.

C.13 Decimale 177

in binario:

256	128	64	32	16	8	4	2	1
128	64	32	16	8	4	2	1	
(1*128)+(0*64)+(1*32)+(1*16)+(0*8)+(0*4)+(0*2)+(1*1)								
10110001								

in ottale:

512	64	8	1
64	8	1	
(2*64)+(6*8)+(1*1)			
261			

in esadecimale:

256	16	1
16	1	
(11*16)+(1*1)		
(B*16)+(1*1)		
B1		

C.14 Binario:

512	256	128	64	32	16	8	4	2	1
256	128	64	32	16	8	4	2	1	
(1*256)+(1*128)+(0*64)+(1*32)+(0*16)+(0*8)+(0*4)+(0*2)+(1*1)									
11010001									

Complemento a uno: 001011110

Complemento a due: 001011111

Controllo: numero binario originale + il suo complemento a due:

11010001
00101111

00000000

C.15 Zero.**Esercizi**

C.16 Alcune persone sostengono che molti dei nostri calcoli sarebbero più facili col sistema di numerazione in base 12, perché il 12 è divisibile per molti più numeri del 10 (per la base 10). Qual è la cifra più bassa in base 12? Quale sarebbe il valore più alto come cifra in base 12? Quali sono i valori posizionali delle quattro posizioni più a destra per ogni numero nel sistema di numerazione in base 12?

C.17 Completate la seguente tabella di valori posizionali per le quattro posizioni più a destra in ognuno dei sistemi di numerazione indicati.

decimale	1000	100	10	1
base 6	6	...
base 13	...	169
base 3	27

- C.18 Convertite il binario 100101111010 in ottale e in esadecimale.
- C.19 Convertite l'esadecimale 3A7D in binario.
- C.20 Convertite l'esadecimale 765F in ottale. (*Suggerimento:* prima convertite 765F in binario, poi convertite il numero binario in ottale.)
- C.21 Convertite il binario 1011110 in decimale.
- C.22 Convertite l'ottale 426 in decimale.
- C.23 Convertite l'esadecimale FFFF in decimale.
- C.24 Convertite il decimale 299 in binario, ottale ed esadecimale.
- C.25 Mostrate la rappresentazione binaria del decimale 779, quindi mostrate il complemento a uno e il complemento a due di 779.
- C.26 Mostrate il complemento a due del valore intero –1 su una macchina con interi di 32 bit.

Ordinamento: uno sguardo più approfondito



OBIETTIVI

- Ordinare un array usando l'algoritmo di ordinamento per selezione.
- Ordinare un array usando l'algoritmo di ordinamento per inserzione.
- Ordinare un array usando l'algoritmo ricorsivo di ordinamento per fusione.
- Determinare l'efficienza degli algoritmi di ricerca e di ordinamento ed esprimere la notazione “O grande”.
- Esplorare (negli esercizi) ulteriori ordinamenti ricorsivi, compreso il quicksort e un ordinamento ricorsivo per selezione.
- Esplorare (negli esercizi) il bucket sort ad alte prestazioni.

D.1 Introduzione

Come avete appreso nel Capitolo 6, di solito l'ordinamento mette i dati in ordine crescente o decrescente, sulla base di una o più chiavi di ordinamento. Questa appendice introduce gli algoritmi di ordinamento per selezione e di ordinamento per inserzione, insieme all'ordinamento per fusione, più efficiente ma più complesso. Introduciamo la notazione “O grande”, usata per stimare il tempo di esecuzione per un algoritmo nel caso peggiore (una misura di quanto sforzo può essere richiesto a un algoritmo per risolvere un problema).

Un aspetto importante da capire riguardo all'ordinamento è che il risultato finale – l'array di dati ordinato – sarà lo stesso a prescindere dall'algoritmo di ordinamento utilizzato. La scelta di un algoritmo influisce solo sul tempo di esecuzione e sull'uso della memoria nel programma. I primi due algoritmi di ordinamento che studiamo qui – l'ordinamento per selezione e l'ordinamento per inserzione – sono facili da programmare ma inefficienti. Il terzo algoritmo – l'ordinamento ricorsivo per fusione – è più efficiente, ma più difficile da programmare.

Gli esercizi presentano due altri ordinamenti ricorsivi: il quicksort e una versione ricorsiva dell'ordinamento per selezione. Un altro esercizio presenta il bucket sort, il quale raggiunge alte prestazioni attraverso un uso intelligente di parecchia più memoria rispetto agli altri ordinamenti che esaminiamo.

D.2 Notazione "O grande"

Considerate un algoritmo per verificare se il primo elemento di un array è uguale al secondo elemento. Se l'array ha 10 elementi, questo algoritmo richiede un solo confronto. Se l'array ha 1000 elementi, l'algoritmo richiede ancora un solo confronto. Di fatto, l'algoritmo è completamente indipendente dal numero di elementi dell'array. Si dice che questo algoritmo ha un **tempo di esecuzione costante**. Questo fatto viene rappresentato nella notazione "O grande" come $O(1)$ e pronunciato "di ordine 1". Un algoritmo che è $O(1)$ non richiede necessariamente un solo confronto. $O(1)$ significa soltanto che il numero dei confronti è costante: non cresce quando aumenta la dimensione dell'array. Un algoritmo che verifica se il primo elemento di un array è uguale a uno qualunque dei tre elementi successivi è ancora $O(1)$ anche se richiede tre confronti.

Un algoritmo che verifica se il primo elemento di un array è uguale a *uno qualsiasi* degli altri elementi dell'array richiede al massimo $n - 1$ confronti, dove n è il numero di elementi nell'array. Se l'array ha dieci elementi, questo algoritmo richiede fino a nove confronti. Se l'array ha 1000 elementi, questo algoritmo richiede fino a 999 confronti. Quando n diventa più grande, il termine n dell'espressione "domina" e togliere uno è irrilevante. La notazione "O grande" è stata introdotta per evidenziare questi termini dominanti e ignorare i termini che diventano insignificanti quando n cresce. Per questa ragione, un algoritmo che richiede un totale di $n - 1$ confronti (come quello descritto prima) è detto $O(n)$. Un algoritmo $O(n)$ ha un **tempo di esecuzione lineare**. $O(n)$ si pronuncia spesso "dell'ordine di n " o, più semplicemente, "di ordine n ".

Supponete di avere un algoritmo che verifica se un elemento di un array è duplicato altrove nell'array. Il primo elemento deve essere confrontato con ogni altro elemento dell'array. Il secondo elemento deve essere confrontato con ogni altro elemento tranne il primo (esso è già stato confrontato con il primo). Il terzo elemento deve essere confrontato con ogni altro elemento eccetto i primi due. Alla fine, questo algoritmo terminerà facendo $(n - 1) + (n - 2) + \dots + 2 + 1$ ovvero $n^2/2 - n/2$ confronti. Man mano che n cresce, domina il termine n^2 e il termine n diventa irrilevante. Di nuovo, la notazione "O grande" evidenzia il termine n^2 , considerando solo $n^2/2$. Ma come presto vedremo, i fattori costanti sono omessi nella notazione "O grande".

La notazione "O grande" si riferisce a come cresce il tempo di esecuzione di un algoritmo in relazione al numero di elementi elaborati. Supponete che un algoritmo richieda n^2 confronti. Con quattro elementi l'algoritmo richiederà 16 confronti, con otto elementi ne richiederà 64. Con questo algoritmo, raddoppiare il numero di elementi quadruplica il numero di confronti. Considerate un algoritmo simile che richiede $n^2/2$ confronti. Con quattro elementi l'algoritmo richiederà otto confronti, con otto elementi ne richiederà 32. Ancora una volta, raddoppiare il numero di elementi quadruplica il numero di confronti. Ambedue questi algoritmi crescono in complessità come il quadrato di n , e così per "O grande" la costante è anch'essa irrilevante, e tutti e due gli algoritmi vengono considerati $O(n^2)$, che indica un **tempo di esecuzione quadratico** e si pronuncia "dell'ordine di n -quadrato" o più semplicemente "di ordine n -quadrato".

Quando n è piccolo, gli algoritmi $O(n^2)$ (eseguiti sugli odierni personal computer da miliardi di operazioni al secondo) non influenzano in modo rilevante le prestazioni. Ma quando n cresce, comincerete a notare il degrado nelle prestazioni. Un algoritmo $O(n^2)$ eseguito su un array di un milione di elementi richiederebbe mille miliardi di "operazioni" (e ognuna di esse potrebbe effettivamente comportare l'esecuzione di diverse istruzioni macchina). Sarebbero necessarie alcune ore per l'esecuzione. Un array di un miliardo di elementi richiederebbe un quintilione di operazioni, un numero talmente grande che l'algoritmo potrebbe metterci decenni! Gli algoritmi $O(n^2)$,

purtroppo, sono facili da scrivere, come vedrete in quest'appendice. Vedrete anche un algoritmo con un valore “O grande” più vantaggioso. La creazione di algoritmi efficienti spesso richiede un po’ più di ingegnosità e di lavoro, ma le loro prestazioni superiori possono ben valere lo sforzo in più, specialmente quando n diventa grande e quando gli algoritmi vengono combinati in programmi più grandi.

D.3 Ordinamento per selezione

L’ordinamento per selezione è un algoritmo di ordinamento semplice ma inefficiente. La prima iterazione dell’algoritmo seleziona l’elemento più piccolo nell’array e lo scambia con il primo elemento. La seconda iterazione seleziona il secondo elemento più piccolo (che è il più piccolo di quelli restanti) e lo scambia con il secondo elemento. L’algoritmo continua fino a che l’ultima iterazione seleziona il secondo elemento più grande e lo scambia con il penultimo, lasciando l’elemento più grande alla fine. Dopo la i -esima iterazione, i più piccoli i elementi dell’array saranno ordinati in ordine crescente nelle prime i posizioni dell’array.

Come esempio, considerate l’array

34	56	4	10	77	51	93	30	5	52
----	----	---	----	----	----	----	----	---	----

Un programma che implementa l’ordinamento per selezione individua prima l’elemento più piccolo (4) di questo array, che è contenuto nella terza posizione dell’array (cioè all’indice 2, perché gli indici dell’array partono da 0). Il programma scambia 4 con 34, producendo

4	56	34	10	77	51	93	30	5	52
---	----	----	----	----	----	----	----	---	----

Il programma poi individua il più piccolo tra i restanti elementi (tutti gli elementi tranne 4), che è 5, contenuto all’indice 8 dell’array. Il programma scambia 5 con 56, producendo

4	5	34	10	77	51	93	30	56	52
---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Alla terza iterazione, il programma individua il successivo valore più piccolo (10) e lo scambia con 34, ottenendo

4	5	10	34	77	51	93	30	56	52
---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Il processo continua fino a che, dopo nove iterazioni, l’array è completamente ordinato:

4	5	10	30	34	51	52	56	77	93
---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Dopo la prima iterazione, l’elemento più piccolo è nella prima posizione. Dopo la seconda iterazione, i due elementi più piccoli sono in ordine nelle prime due posizioni. Dopo la terza iterazione, i tre elementi più piccoli sono in ordine nelle prime tre posizioni.

Il programma della Figura D.1 implementa l’algoritmo di ordinamento per selezione sull’array `array`, il quale viene inizializzato con 10 valori `int` casuali (possibilmente duplicati). La funzione `main` stampa l’array disordinato, applica la funzione `selectionSort` all’array e quindi stampa di nuovo l’array dopo che è stato ordinato.

```
1 // Fig. D.1: figD_01.c
2 // Algoritmo di ordinamento per selezione.
3 #define SIZE 10
4 #include <stdio.h>
5 #include <stdlib.h>
6 #include <time.h>
7
8 // prototipi di funzione
9 void selectionSort(int array[], size_t length);
10 void swap(int array[], size_t first, size_t second);
11 void printPass(int array[], size_t length, unsigned int pass, size_t index);
12
13 int main(void)
14 {
15     int array[SIZE]; // dichiara l'array di int da ordinare
16
17     srand(time(NULL)); // fornisci il seme alla funzione rand
18
19     for (size_t i = 0; i < SIZE; i++) {
20         array[i] = rand() % 90 + 10; // assegna un valore a ogni elemento
21     }
22
23     puts("Unsorted array:");
24
25     for (size_t i = 0; i < SIZE; i++) { // stampa l'array
26         printf("%d ", array[i]);
27     }
28
29     puts("\n");
30     selectionSort(array, SIZE);
31     puts("Sorted array:");
32
33     for (size_t i = 0; i < SIZE; i++) { // stampa l'array
34         printf("%d ", array[i]);
35     }
36 }
37
38 // funzione che ordina per selezione l'array
39 void selectionSort(int array[], size_t length)
40 {
41     // esegui l'iterazione su length - 1 elementi
42     for (size_t i = 0; i < length - 1; i++) {
43         size_t smallest = i; // primo indice dell'array rimanente
44
45         // trova l'indice dell'elemento piu' piccolo
46         for (size_t j = i + 1; j < length; j++) {
47             if (array[j] < array[smallest]) {
48                 smallest = j;
```

```
49         }
50     }
51
52     swap(array, i, smallest); // scambia con l'elemento piu' piccolo
53     printPass(array, length, i + 1, smallest); // stampa il passo i + 1
54 }
55 }
56
57 // funzione che scambia due elementi nell'array
58 void swap(int array[], size_t first, size_t second)
59 {
60     int temp = array[first];
61     array[first] = array[second];
62     array[second] = temp;
63 }
64
65 // funzione che stampa un passo dell'algoritmo
66 void printPass(int array[], size_t length, unsigned int pass, size_t index)
67 {
68     printf("After pass %2d: ", pass);
69
70     // stampa gli elementi fino all'elemento selezionato
71     for (size_t i = 0; i < index; i++) {
72         printf("%d ", array[i]);
73     }
74
75     printf("%d* ", array[index]); // indica l'elemento scambiato
76
77     // completa la stampa dell'array
78     for (size_t i = index + 1; i < length; i++) {
79         printf("%d ", array[i]);
80     }
81
82     printf("\n");
83
84     // indica la porzione dell'array che e' ordinata
85     for (unsigned int i = 0; i < pass; i++) {
86         printf("%s", "-- ");
87     }
88
89     puts(""); // aggiungi un newline
90 }
```

Unsorted array:										
72	34	88	14	32	12	34	77	56	83	
After pass 1:	12	34	88	14	32	72*	34	77	56	83
	--									
After pass 2:	12	14	88	34*	32	72	34	77	56	83
	--	--								
After pass 3:	12	14	32	34	88*	72	34	77	56	83
	--	--	--							
After pass 4:	12	14	32	34*	88	72	34	77	56	83
	--	--	--	--						
After pass 5:	12	14	32	34	34	72	88*	77	56	83
	--	--	--	--	--					
After pass 6:	12	14	32	34	34	56	88	77	72*	83
	--	--	--	--	--	--				
After pass 7:	12	14	32	34	34	56	72	77	88*	83
	--	--	--	--	--	--				
After pass 8:	12	14	32	34	34	56	72	77*	88	83
	--	--	--	--	--	--				
After pass 9:	12	14	32	34	34	56	72	77	83	88*
	--	--	--	--	--	--				
After pass 10:	12	14	32	34	34	56	72	77	83	88*
	--	--	--	--	--	--				
Sorted array:										
12	14	32	34	34	56	72	77	83	88	

Figura D.1 Algoritmo di ordinamento per selezione.

Le righe 39–56 definiscono la funzione `selectionSort`. La riga 43 dichiara la variabile `smallest`, che memorizza l'indice dell'elemento più piccolo nella parte restante dell'array. Le righe 42–54 vengono ripetute `length - 1` volte. La riga 43 assegna a `smallest` l'indice `i`, che rappresenta il primo indice della porzione non ordinata dell'array. Le righe 46–50 effettuano il ciclo sui restanti elementi nell'array. Per ognuno di questi elementi la riga 47 confronta il valore dell'elemento corrente con il valore dell'elemento all'indice `smallest`. Se l'elemento corrente è più piccolo, la riga 48 assegna l'indice dell'elemento corrente a `smallest`. Quando questo ciclo finisce, `smallest` contiene l'indice dell'elemento più piccolo nell'array rimanente. La riga 52 chiama la funzione `swap` (righe 58–63) per inserire il restante elemento più piccolo nel posto successivo nell'array.

L'output di questo programma usa dei trattini per indicare la porzione dell'array che è ordinata dopo ogni iterazione dell'algoritmo sull'array. Un asterisco è posto accanto alla posizione dell'elemento che è stato scambiato con l'elemento più piccolo in quella iterazione. A ogni iterazione, l'elemento alla sinistra dell'asterisco e l'elemento sopra i trattini più a destra sono i due valori che sono stati scambiati.

Efficienza dell'ordinamento per selezione

L'algoritmo di ordinamento per selezione viene eseguito in un tempo $O(n^2)$. Il metodo usato da `selectionSort` nella Figura D.1, che implementa l'algoritmo, contiene due cicli `for`. Il ciclo `for` esterno (righe 42–54) itera sui primi $n - 1$ elementi nell'array, inserendo il restante elemento più piccolo nella sua posizione ordinata. Il ciclo `for` interno (righe 46–50) itera su ogni elemento nell'array rimanente, cercando l'elemento più piccolo. Questo ciclo viene eseguito $n - 1$ volte durante la prima iterazione del ciclo esterno, $n - 2$ volte durante la seconda iterazione, poi $n - 3, \dots, 3, 2, 1$. Questo ciclo interno effettua un totale di $n(n - 1) / 2$ o $(n^2 - n)/2$ iterazioni. Nella notazione “O grande”, i termini più piccoli e le costanti vengono ignorati, lasciando un valore $O(n^2)$.

D.4 Ordinamento per inserzione

L'ordinamento per inserzione è un altro algoritmo di ordinamento semplice ma inefficiente. La prima iterazione di questo algoritmo prende in considerazione il secondo elemento dell'array e, se è minore del primo, lo scambia con esso. La seconda iterazione considera il terzo elemento e lo inserisce nella posizione corretta rispetto ai primi due elementi, così tutti e tre gli elementi sono in ordine. Alla i -esima iterazione di questo algoritmo, vengono ordinati i primi $i+1$ elementi dell'array originario.

Considerate come esempio il seguente array [Nota: questo array è identico all'array usato nella presentazione dell'ordinamento per selezione e dell'ordinamento per fusione.]

34	56	4	10	77	51	93	30	5	52
----	----	---	----	----	----	----	----	---	----

Un programma che implementa l'algoritmo di ordinamento per inserzione guarda dapprima i primi due elementi dell'array, 34 e 56. Questi due elementi sono già in ordine e così il programma continua (se non fossero in ordine, il programma li scambierebbe).

Nella successiva iterazione il programma considera il terzo valore, 4. Questo valore è minore di 56, perciò il programma memorizza 4 in una variabile temporanea e sposta 56 di una posizione a destra. Il programma quindi verifica che 4 è minore di 34 e così sposta 34 di una posizione a destra. Il programma ha ora raggiunto l'inizio dell'array, per cui mette 4 nella posizione 0. L'array adesso è

4	34	56	10	77	51	93	30	5	52
---	----	----	----	----	----	----	----	---	----

Nell'iterazione successiva il programma memorizza il valore 10 in una variabile temporanea. Poi il programma confronta 10 con 56 e sposta 56 di una posizione a destra, perché è più grande di 10. Il programma quindi confronta 10 con 34, spostando 34 a destra di una posizione. Quando il programma confronta 10 con 4, osserva che 10 è più grande di 4 e mette 10 nella posizione 1. L'array adesso è

4	10	34	56	77	51	93	30	5	52
---	----	----	----	----	----	----	----	---	----

Usando questo algoritmo, alla i -esima iterazione, i primi $i + 1$ elementi dell'array originario sono ordinati l'uno rispetto all'altro. Tuttavia, essi possono non trovarsi nelle loro posizioni finali, perché i valori più piccoli possono essere posizionati più avanti nell'array.

Il programma della Figura D.2 implementa l'algoritmo di ordinamento per inserzione. Le righe 38–55 dichiarano la funzione `insertionSort`. La variabile `insert` (riga 43) contiene l'elemento da inserire mentre vengono spostati gli altri elementi. Le righe 41–54 iterano sugli elementi dell'array dall'indice 1 fino alla fine. In ogni iterazione, la riga 42 inizializza la variabile `moveItem`, che tiene traccia di dove inserire l'elemento, e la riga 43 memorizza in `insert` il valore che verrà inserito nella porzione ordinata dell'array. Le righe 46–50 eseguono un ciclo per individuare la posizione in cui va inserito l'elemento. Il ciclo termina sia quando il programma raggiunge l'inizio dell'array sia quando esso raggiunge un elemento che è minore del valore da inserire. La riga 48 sposta un elemento verso destra, e la riga 49 decrementa la posizione nella quale inserire l'elemento seguente. Al termine del ciclo, la riga 52 inserisce l'elemento in posizione. L'output di questo programma usa trattini per indicare la porzione dell'array che è ordinata a ogni iterazione. Un asterisco è posto accanto all'elemento che viene inserito nella posizione ordinata in quella iterazione.

```
1  /* Fig. D.2: figD_02.c
2   // Algoritmo di ordinamento per inserzione
3   #define SIZE 10
4   #include <stdio.h>
5   #include <stdlib.h>
6   #include <time.h>
7
8   // prototipi di funzione
9   void insertionSort(int array[], size_t length);
10  void printPass(int array[], size_t length, unsigned int pass, size_t index);
11
12 int main(void)
13 {
14     int array[SIZE]; // dichiara l'array di int da ordinare
15
16     srand(time(NULL)); // fornisce il seme alla funzione rand
17
18     for (size_t i = 0; i < SIZE; i++) {
19         array[i] = rand() % 90 + 10; // assegna un valore a ogni elemento
20     }
21
22     puts("Unsorted array:");
23
24     for (size_t i = 0; i < SIZE; i++) { // stampa l'array
25         printf("%d ", array[i]);
26     }
27
28     puts("\n");
29     insertionSort(array, SIZE);
30     puts("Sorted array:");
31
32     for (size_t i = 0; i < SIZE; i++) { // stampa l'array
33         printf("%d ", array[i]);
34     }
35 }
```

```
36
37 // funzione che ordina l'array
38 void insertionSort(int array[], size_t length)
39 {
40     // esegui l'iterazione su length - 1 elementi
41     for (size_t i = 1; i < length; i++) {
42         size_t moveItem = i; // posizione in cui inserire l'elemento
43         int insert = array[i]; // contiene l'elemento da inserire
44
45         // cerca la posizione dove mettere l'elemento corrente
46         while (moveItem > 0 && array[moveItem - 1] > insert) {
47             // sposta l'elemento a destra di una posizione
48             array[moveItem] = array[moveItem - 1];
49             --moveItem;
50         }
51
52         array[moveItem] = insert; // inserisci l'elemento al suo posto
53         printPass(array, length, i, moveItem);
54     }
55 }
56
57 // funzione che stampa un passo dell'algoritmo
58 void printPass(int array[], size_t length, unsigned int pass, size_t index)
59 {
60     printf("After pass %2d: ", pass);
61
62     // stampa gli elementi fino all'elemento selezionato
63     for (size_t i = 0; i < index; i++) {
64         printf("%d ", array[i]);
65     }
66
67     printf("%d* ", array[index]); // indica l'elemento inserito
68
69     // termina di stampare l'array
70     for (size_t i = index + 1; i < length; i++) {
71         printf("%d ", array[i]);
72     }
73
74     printf("%5s", "\n"); // per l'allineamento
75
76     // indica la porzione di array che e' ordinata
77     for (size_t i = 0; i <= pass; i++) {
78         printf("%s", "-- ");
79     }
80
81     puts(""); // aggiungi un newline
82 }
```

Unsorted array:											
72	16	11	92	63	99	59	82	99	30		
After pass 1: 16* 72 11 92 63 99 59 82 99 30											
After pass 2: 11* 16 72 92 63 99 59 82 99 30											
After pass 3: 11 16 72 92* 63 99 59 82 99 30											
After pass 4: 11 16 63* 72 92 99 59 82 99 30											
After pass 5: 11 16 63 72 92 99* 59 82 99 30											
After pass 6: 11 16 59* 63 72 92 99 82 99 30											
After pass 7: 11 16 59 63 72 82* 92 99 99 30											
After pass 8: 11 16 59 63 72 82 92 99 99* 30											
After pass 9: 11 16 30* 59 63 72 82 92 99 99											
Sorted array:											
11	16	30	59	63	72	82	92	99	99		

Figura D.2 Algoritmo di ordinamento per inserzione.

Efficienza dell'ordinamento per inserzione

Anche l'algoritmo di ordinamento per inserzione viene eseguito in un tempo $O(n^2)$. Come nell'ordinamento per selezione, la funzione `insertionSort` usa cicli annidati. Il ciclo `for` (righe 41–54) è iterato `SIZE – 1` volte, inserendo a ogni iterazione un elemento nella posizione corretta fra gli elementi ordinati fino a quel punto. Per gli scopi di questa applicazione, `SIZE – 1` è equivalente a $n – 1$ (poiché `SIZE` è la dimensione dell'array). Il ciclo `while` (righe 46–50) effettua l'iterazione sugli elementi precedenti nell'array. Nel caso peggiore, questo ciclo `while` richiede $n – 1$ confronti. Ogni singolo ciclo viene eseguito in un tempo $O(n)$. Nella notazione “O grande”, in caso di cicli annidati si devono moltiplicare i numeri di iterazioni per ogni ciclo. Per ogni iterazione di un ciclo esterno ci sarà un certo numero di iterazioni del ciclo interno. In questo algoritmo, per ognuna delle $O(n)$ iterazioni del ciclo esterno vi saranno $O(n)$ iterazioni del ciclo interno. Moltiplicare questi valori produce un valore “O grande” pari a $O(n^2)$.

D.5 Ordinamento per fusione

L'ordinamento per fusione è un algoritmo di ordinamento efficiente ma concettualmente più complesso dell'ordinamento per selezione e dell'ordinamento per inserzione. L'algoritmo di ordinamento per fusione ordina un array suddividendolo in due sottoarray di eguali dimensioni, ordinando ognuno di essi e fondendoli infine in un array più grande. Con un numero dispari di elementi, l'algoritmo crea i due sottoarray, di cui uno con un elemento in più dell'altro.

L'implementazione dell'ordinamento per fusione in questo esempio è ricorsiva. Il caso di base è un array con un solo elemento. Un array con un elemento è, naturalmente, ordinato, per cui l'ordinamento per fusione ritorna immediatamente quando viene chiamato con un array di un elemen-

to. Il passo di ricorsione suddivide un array di due o più elementi in due sottoarray di eguale misura, ordina ricorsivamente ogni sottoarray, quindi li fonde in un array ordinato più grande. [Ancora, se c'è un numero dispari di elementi, un sottoarray è di un elemento più grande dell'altro.]

Supponete che l'algoritmo abbia già fuso gli array più piccoli per creare gli array ordinati A:

4 10 34 56 77

e B:

5 30 51 52 93

L'ordinamento per fusione combina questi due array in uno ordinato più grande. L'elemento più piccolo in A è 4 (che si trova nella posizione zero di A). L'elemento più piccolo in B è 5 (postionato all'indice zero di B). Per determinare l'elemento più piccolo nell'array più grande, l'algoritmo confronta 4 e 5. Il valore in A è più piccolo, e così 4 diventa il primo elemento nell'array fuso. L'algoritmo continua confrontando 10 (il secondo elemento in A) con 5 (il primo elemento in B). Il valore in B è più piccolo e così 5 diventa il secondo elemento nell'array più grande. L'algoritmo continua confrontando 10 con 30, con 10 che diventa il terzo elemento nell'array, e così via.

Il programma della Figura D.3 implementa l'algoritmo di ordinamento per fusione. Le righe 35–38 definiscono la funzione `mergeSort`. La riga 37 chiama la funzione `sortSubArray` con `0` e `length - 1` come argomenti (`length` è la dimensione dell'array). Gli argomenti corrispondono agli indici iniziali e finali dell'array da ordinare, facendo sì che `sortSubArray` operi sull'intero array. La funzione `sortSubArray` è definita nelle righe 41–64. La riga 44 verifica il caso di base. Se la dimensione dell'array è 1, l'array è ordinato, per cui la funzione ritorna immediatamente. Se la dimensione dell'array è maggiore di 1, la funzione suddivide l'array in due, chiama ricorsivamente la funzione `sortSubArray` per ordinare i due sottoarray, quindi li fonde in un solo array. La riga 58 chiama ricorsivamente la funzione `sortSubArray` sulla prima metà dell'array e la riga 59 chiama ricorsivamente la funzione `sortSubArray` sulla seconda metà. Quando queste due chiamate di funzioni ritornano, ogni metà dell'array è stata ordinata. La riga 62 chiama la funzione `merge` (righe 67–114) sulle due metà dell'array per combinare i due array ordinati in un array ordinato più grande.

```

1 // Fig. D.3: figD_03.c
2 // Algoritmo di ordinamento per fusione
3 #define SIZE 10
4 #include <stdio.h>
5 #include <stdlib.h>
6 #include <time.h>
7
8 // prototipi di funzione
9 void mergeSort(int array[], size_t length);
10 void sortSubArray(int array[], size_t low, size_t high);
11 void merge(int array[], size_t left, size_t middle1,
12           size_t middle2, size_t right);
13 void displayElements(int array[], size_t length);
14 void displaySubArray(int array[], size_t left, size_t right);
15
16 int main(void)
17 {
18     int array[SIZE]; // dichiara l'array di int da ordinare
19

```

```
20     srand(time(NULL)); // fornisci il seme alla funzione rand
21
22     for (size_t i = 0; i < SIZE; i++) {
23         array[i] = rand() % 90 + 10; // assegna un valore a ogni elemento
24     }
25
26     puts("Unsorted array:");
27     displayElements(array, SIZE); // stampa l'array
28     puts("\n");
29     mergeSort(array, SIZE); // ordina per fusione l'array
30     puts("Sorted array:");
31     displayElements(array, SIZE); // stampa l'array
32 }
33
34 // funzione che ordina per fusione l'array
35 void mergeSort(int array[], size_t length)
36 {
37     sortSubArray(array, 0, length - 1);
38 }
39
40 // funzione che ordina una porzione dell'array
41 void sortSubArray(int array[], size_t low, size_t high)
42 {
43     // effettua il test per il caso di base
44     if ((high - low) >= 1) { // se non si tratta del caso di base...
45         size_t middle1 = (low + high) / 2;
46         size_t middle2 = middle1 + 1;
47
48         // stampa il passo di suddivisione
49         printf("%s", "split: ");
50         displaySubArray(array, low, high);
51         printf("%s", "\n      ");
52         displaySubArray(array, low, middle1);
53         printf("%s", "\n      ");
54         displaySubArray(array, middle2, high);
55         puts("\n");
56
57         // dividi l'array a metà e ordina ciascuna metà ricorsivamente
58         sortSubArray(array, low, middle1); // prima metà
59         sortSubArray(array, middle2, high); // seconda metà
60
61         // fonda i due array ordinati
62         merge(array, low, middle1, middle2, high);
63     }
64 }
65
66 // fonda i due sottoarray ordinati in un sottoarray ordinato
67 void merge(int array[], size_t left, size_t middle1,
68             size_t middle2, size_t right)
69 {
```

```
70     size_t leftIndex = left; // indice nel sottoarray sinistro
71     size_t rightIndex = middle2; // indice nel sottoarray destro
72     size_t combinedIndex = left; // indice nell'array temporaneo
73     int tempArray[SIZE]; // array temporaneo
74
75     // stampa i due sottorray prima di fonderli
76     printf("%s", "merge:    ");
77     displaySubArray(array, left, middle1);
78     printf("\n        ");
79     displaySubArray(array, middle2, right);
80     puts("");
81
82     // fonda i sottorray finche' non si raggiunge la fine di uno di loro
83     while (leftIndex <= middle1 && rightIndex <= right) {
84         // inserisci il piu' piccolo dei due elementi correnti nel risultato
85         // e spostati nella posizione seguente nel sottoarray
86         if (array[leftIndex] <= array[rightIndex]) {
87             tempArray[combinedIndex++] = array[leftIndex++];
88         }
89         else {
90             tempArray[combinedIndex++] = array[rightIndex++];
91         }
92     }
93
94     if (leftIndex == middle2) { // fine del sottoarray sinistro?
95         while (rightIndex <= right) { // copia il sottoarray destro
96             tempArray[combinedIndex++] = array[rightIndex++];
97         }
98     }
99     else { // fine del sottoarray destro?
100         while (leftIndex <= middle1) { // copia il sottoarray sinistro
101             tempArray[combinedIndex++] = array[leftIndex++];
102         }
103     }
104
105     // ricopia indietro i valori nell'array originario
106     for (size_t i = left; i <= right; i++) {
107         array[i] = tempArray[i];
108     }
109
110     // stampa il sottoarray fuso
111     printf("%s", "        ");
112     displaySubArray(array, left, right);
113     puts("\n");
114 }
115
116 // stampa gli elementi dell'array
117 void displayElements(int array[], size_t length)
118 {
119     displaySubArray(array, 0, length - 1);
```

```
120 }
121
122 // stampa alcuni elementi dell'array
123 void displaySubArray(int array[], size_t left, size_t right)
124 {
125     // stampa spazi per l'allineamento
126     for (size_t i = 0; i < left; i++) {
127         printf("%s", "   ");
128     }
129
130     // stampa la porzione di array
131     for (size_t i = left; i <= right; i++) {
132         printf(" %d", array[i]);
133     }
134 }
```

Unsorted array:

```
79 86 60 79 76 71 44 88 58 23
split:    79 86 60 79 76 71 44 88 58 23
           79 86 60 79 76
                           71 44 88 58 23

split:    79 86 60 79 76
           79 86
               79 76

split:    79 86 60
           79 86
               60

split:    79 86
           79
               86

merge:    79
           86
           79 86

merge:    79 86
           60
           60 79 86

split:      79 76
           79
               76

merge:      79
           76
           76 79

merge:    60 79 86
           76 79
           60 76 79 79 86
```

```

split:      71 44 88 58 23
            71 44 88
                  58 23

split:      71 44 88
            71 44
                  88

split:      71 44
            71
                  44

merge:      71
            44
            44 71

merge:      44 71
            88
            44 71 88

split:      58 23
            58
                  23

merge:      58
            23
            23 58

merge:      44 71 88
            23 58
            23 44 58 71 88

merge:      60 76 79 79 86
            23 44 58 71 88
            23 44 58 60 71 76 79 79 86 88

Sorted array:
  23 44 58 60 71 76 79 79 86 88

```

Figura D.3 Algoritmo di ordinamento per fusione.

Le righe 83–92 nella funzione `merge` eseguono un ciclo fino a che il programma non giunge alla fine di uno o dell'altro sottoarray. La riga 86 verifica quale elemento all'inizio dei due array è più piccolo. Se l'elemento nell'array sinistro è più piccolo, la riga 87 lo mette in posizione nell'array combinato. Se l'elemento nell'array destro è più piccolo, la riga 90 lo mette in posizione nell'array combinato. Quando il ciclo `while` viene completato, un intero sottoarray è già inserito nell'array combinato, ma l'altro sottoarray contiene ancora dati. La riga 93 verifica se l'array sinistro è giunto alla fine. Se è così, le righe 95–97 riempiono l'array combinato con gli elementi dell'array destro. Se l'array sinistro non ha raggiunto la fine, allora è l'array destro che deve aver raggiunto la fine e le righe 100–102 riempiono l'array combinato con gli elementi dell'array sinistro. Infine, le righe 106–108 copiano l'array combinato nell'array originario. L'output di questo programma stampa le suddivisioni e le fusioni eseguite dall'ordinamento per fusione, mostrando il progredire dell'ordinamento a ogni passo dell'algoritmo.

Efficienza dell'ordinamento per fusione

L'ordinamento per fusione è un algoritmo di gran lunga più efficiente sia dell'ordinamento per inserzione che dell'ordinamento per selezione (sebbene ciò possa essere difficile da credere guardando la Figura D.3, piuttosto elaborata). Considerate la prima chiamata (non ricorsiva) alla funzione `sortSubArray`. Questa produce due chiamate ricorsive alla stessa funzione `sortSubArray`, ognuna con un sottoarray approssimativamente della metà dell'array originario, e una singola chiamata alla funzione `merge`. Questa chiamata alla funzione `merge` richiede nel peggiore dei casi $n - 1$ confronti per riempire l'array originario, con valore quindi $O(n)$. (Ricordate che ogni elemento dell'array viene scelto confrontando un elemento da ognuno dei sottoarray.) Le due chiamate alla funzione `sortSubArray` producono altre quattro chiamate ricorsive alla funzione `sortSubArray`, ognuna con un sottoarray di circa un quarto dell'array originario, insieme alle due chiamate alla funzione `merge`. Queste due chiamate alla funzione `merge` richiedono ognuna nel peggiore dei casi $n/2 - 1$ confronti, per un numero totale di confronti ancora $O(n)$. Questo processo continua, con ogni chiamata a `sortSubArray` che genera due ulteriori chiamate a `sortSubArray` e una chiamata a `merge`, finché l'algoritmo non suddivide l'array in sottoarray di un solo elemento. A ogni livello sono necessari $O(n)$ confronti per fondere i sottoarray. Ogni livello suddivide a metà la dimensione degli array, per cui raddoppiare la dimensione dell'array richiede in più solo un ulteriore livello. Quadruplicare la dimensione dell'array richiede due ulteriori livelli. Questo schema è logaritmico e produce $\log_2 n$ livelli. Ciò produce un'efficienza totale pari a $O(n \log n)$.

La Figura D.4 riepiloga molti degli algoritmi di ricerca e di ordinamento trattati in questo libro ed elenca per ognuno di essi il valore "O grande". La Figura D.5 elenca i valori "O grande" trattati in questa appendice riferiti a un certo numero di valori di n per mettere in evidenza le differenze nelle velocità di crescita.

Algoritmo	"O grande"
Ordinamento per inserzione	$O(n^2)$
Ordinamento per selezione	$O(n^2)$
Ordinamento per fusione	$O(n \log n)$
Bubble sort	$O(n^2)$
Quicksort	Caso peggiore: $O(n^2)$ Caso medio: $O(n \log n)$

Figura D.4 Algoritmi di ordinamento con valori "O grande".

n	Valore decimale approssimato	$O(\log n)$	$O(n)$	$O(n \log n)$	$O(n^2)$
2^{10}	1000	10	2^{10}	$10 \cdot 2^{10}$	2^{20}
2^{20}	1.000.000	20	2^{20}	$20 \cdot 2^{20}$	2^{40}
2^{30}	1.000.000.000	30	2^{30}	$30 \cdot 2^{30}$	2^{60}

Figura D.5 Numero approssimato di confronti riferiti alle comuni notazioni "O grande".

Riepilogo

Paragrafo D.1 Introduzione

- L'ordinamento riguarda la disposizione di dati in ordine.

Paragrafo D.2 Notazione “O grande”

- Un modo per descrivere l'efficienza di un algoritmo è l'uso della notazione “O grande” (O), la quale indica lo sforzo che un algoritmo può dover compiere per risolvere un problema.
- Per gli algoritmi di ricerca e di ordinamento, la notazione “O grande” descrive come varia lo sforzo che un particolare algoritmo può dover compiere a seconda di quanti elementi sono presenti nei dati.
- Un algoritmo che è $O(1)$ si dice che ha un tempo di esecuzione costante. Ciò non significa che l'algoritmo richieda un solo confronto. Significa solo che il numero di confronti non cresce quando aumenta la dimensione dell'array.
- Un algoritmo $O(n)$ ha un tempo di esecuzione lineare.
- La notazione “O grande” è stata ideata per mettere in evidenza i fattori dominanti, ignorando i termini che diventano insignificanti per valori grandi di n .
- La notazione “O grande” si riferisce alla velocità di crescita del tempo di esecuzione dell'algoritmo, pertanto le costanti vengono ignorate.

Paragrafo D.3 Ordinamento per selezione

- L'ordinamento per selezione è un algoritmo semplice ma inefficiente.
- La prima iterazione dell'ordinamento per selezione seleziona l'elemento più piccolo nell'array e lo scambia con il primo elemento. La seconda iterazione seleziona il secondo elemento più piccolo (che è il più piccolo di quelli rimasti) e lo scambia col secondo elemento. L'algoritmo continua finché l'ultima iterazione seleziona il secondo elemento più grande e lo scambia col penultimo, lasciando l'elemento più grande come ultimo. Alla i -esima iterazione, gli i elementi più piccoli dell'intero array sono ordinati nelle prime i posizioni dell'array.
- L'algoritmo di ordinamento per selezione viene eseguito in un tempo $O(n^2)$.

Paragrafo D.4 Ordinamento per inserzione

- La prima iterazione dell'ordinamento per inserzione considera il secondo elemento dell'array, e se è minore del primo elemento lo scambia con esso. La seconda iterazione considera il terzo elemento e lo inserisce nella posizione corretta rispetto ai primi due elementi. Dopo la i -esima iterazione, i primi $i+1$ elementi dell'array originale sono in ordine. Sono richieste solo $n - 1$ iterazioni.
- L'algoritmo di ordinamento per inserzione viene eseguito in un tempo $O(n^2)$.

Paragrafo D.5 Ordinamento per fusione

- L'ordinamento per fusione è un algoritmo di ordinamento più veloce ma più complesso da implementare dell'ordinamento per selezione e dell'ordinamento per inserzione.
- L'algoritmo di ordinamento per fusione ordina un array suddividendolo in due sottoarray di eguale dimensione, ordinando ogni sottoarray e fondendo i sottoarray in un array più grande.
- Il caso di base di un ordinamento per fusione è un array con un elemento, il quale è già ordinato, per cui l'ordinamento per fusione ritorna immediatamente alla funzione chiamante quan-

do viene chiamato con un array di un elemento. La componente di fusione dell'ordinamento per fusione prende due array ordinati (questi potrebbero essere array di un elemento) e li combina in un array ordinato più grande.

- L'ordinamento per fusione attua la fusione guardando il primo elemento in ogni array, che è anche l'elemento più piccolo in ognuno di essi. L'algoritmo prende il più piccolo di questi due e lo mette nel primo elemento dell'array più grande ordinato. Se vi sono ancora elementi in un sottoarray, l'algoritmo guarda il secondo elemento in quel sottoarray (che è ora il più piccolo fra gli elementi rimasti) e lo confronta col primo elemento nell'altro sottoarray. L'ordinamento per fusione continua questo processo finché l'array più grande non è riempito.
- Nel peggiore dei casi, la prima chiamata della funzione di ordinamento per fusione deve fare $O(n)$ confronti per riempire le n posizioni nell'array finale.
- L'operazione di fusione dell'algoritmo di ordinamento per fusione viene compiuta su due sottoarray ordinati, ognuno pressappoco della dimensione $n/2$. Ognuno di questi sottoarray effettua a sua volta $n/2 - 1$ confronti, ovvero $O(n)$ confronti in totale. Questo schema continua man mano che ogni livello opera su un numero doppio di array, ma ognuno della metà dell'array precedente.
- Questo dimezzamento produce $\log n$ livelli, con ogni livello che richiede $O(n)$ confronti, per un'efficienza totale di $O(n \log n)$, che è di gran lunga più efficiente di $O(n^2)$.

Esercizi di autovalutazione

D.1 Riempite gli spazi in ognuna delle seguenti affermazioni:

- a) Un'applicazione dell'ordinamento per selezione richiederebbe per operare su un array di 128 elementi pressappoco _____ volte il tempo richiesto per un array di 32 elementi.
- b) L'efficienza dell'ordinamento per fusione è _____.

D.2 Il valore “O grande” della ricerca lineare è $O(n)$ e della ricerca binaria è $O(\log n)$. Quale aspetto chiave sia della ricerca binaria (Capitolo 6) che dell'ordinamento per fusione giustifica la porzione logaritmica dei loro rispettivi valori “O grande”?

D.3 Per quale aspetto l'ordinamento per inserzione è superiore all'ordinamento per fusione? In che senso l'ordinamento per fusione è superiore all'ordinamento per inserzione?

D.4 Nel testo diciamo che dopo che l'ordinamento per fusione suddivide l'array in due sottoarray, poi ordina questi due e li fonde. Perché qualcuno potrebbe essere confuso dalla nostra affermazione che “esso poi ordina questi due sottoarray”?

Risposte agli esercizi di autovalutazione

D.1 a) 16, perché un algoritmo $O(n^2)$ richiede un tempo 16 volte maggiore se il numero di elementi viene quadruplicato.

b) $O(n \log n)$.

D.2 Entrambi questi algoritmi incorporano il “dimezzamento”, riducendo in qualche modo qualcosa della metà a ogni passo. La ricerca binaria non prende più in considerazione una metà dell'array dopo ogni confronto. L'ordinamento per fusione suddivide l'array a metà a ogni chiamata ricorsiva.

D.3 L'ordinamento per inserzione è più facile da capire e da implementare dell'ordinamento per fusione. L'ordinamento per fusione è di gran lunga più efficiente – $O(n \log n)$ – dell'ordinamento per inserzione – $O(n^2)$.

- D.4 In un certo senso, esso non ordina realmente questi due sottoarray, ma semplicemente continua a suddividere a metà l'array originario, finché non arriva ad avere un sottoarray di un elemento, che è, naturalmente, ordinato. Mette poi insieme i sottoarray originari, fondendo questi array di un elemento per formare sottoarray più grandi, i quali sono poi fusi, e così via.

Esercizi

- D.5 (*Ordinamento per selezione ricorsivo*) Un ordinamento per selezione esamina un array cercando l'elemento più piccolo nell'array. Quando l'elemento più piccolo viene trovato, è scambiato con il primo elemento dell'array. Il processo è poi ripetuto per il sottoarray che inizia con il secondo elemento. Ogni iterazione sull'array produce un elemento da mettere nella sua giusta posizione. Questo ordinamento richiede capacità di elaborazione simili a quelle del bubble sort. Per un array di n elementi, si devono fare $n - 1$ iterazioni e per ogni sottoarray si devono fare $n - 1$ confronti per trovare il valore più piccolo. Quando il sottoarray da elaborare contiene un elemento, l'array è ordinato. Scrivete una funzione ricorsiva `selectionSort` per eseguire questo algoritmo.
- D.6 (*Bucket sort*) L'algoritmo di bucket sort inizia con un array unidimensionale di interi positivi da ordinare e un array bidimensionale di interi con righe indicizzate da 0 a 9 e colonne indicizzate da 0 a $n - 1$, dove n è il numero dei valori nell'array da ordinare. Ogni riga dell'array con doppio indice è detta *bucket* (letteralmente "cesta"). Scrivete una funzione `bucketSort` che riceva come argomenti un array intero e la dimensione dell'array.

L'algoritmo è il seguente:

- Eseguite un ciclo lungo l'array unidimensionale e mettete ognuno dei suoi valori in una riga dell'array di bucket basandovi sulla sua cifra delle unità. Ad esempio, 97 viene messo nella riga 7, 3 viene messo nella riga 3 e 100 nella riga 0.
- Eseguite un ciclo ordinato lungo l'array di bucket e copiate i valori indietro nell'array originario. Il nuovo ordine dei tre valori considerati sopra nell'array con singolo indice è 100, 3 e 97.
- Ripetete questo processo per ogni successiva posizione di cifra (decine, centinaia, migliaia, e così via) e fermatevi quando è stata elaborata la cifra più a sinistra del numero più grande.

Alla seconda iterazione sull'array, 100 è posizionato nella riga 0, 3 è posizionato nella riga 0 (esso ha una sola cifra, perciò lo trattiamo come 03) e 97 è posizionato nella riga 9. L'ordine dei valori nell'array con singolo indice è ora 100, 3 e 97. Alla terza iterazione, 100 è posizionato nella riga 1, 3 (003) nella riga 0 e 97 (097) nella riga zero (dopo il 3). Il bucket sort ha tutti i valori correttamente ordinati dopo l'elaborazione della cifra più a sinistra del numero più grande. Esso sa di avere terminato quando tutti i valori sono copiati nella riga zero dell'array con doppio indice.

L'array di bucket bidimensionale è grande dieci volte la dimensione dell'array intero da ordinare. Questa tecnica di ordinamento fornisce una prestazione di gran lunga migliore del bubble sort, ma richiede una capacità di memoria molto più grande. Il bubble sort richiede solo una locazione di memoria aggiuntiva per il tipo di dati da ordinare. Il bucket sort è un esempio di compromesso spazio-tempo. Esso usa più memoria ma offre prestazioni migliori. Questa versione del bucket sort richiede che vengano copiati a ogni iterazione tutti i dati indietro nell'array originario. Un'altra possibilità è quella di creare un secondo array di bucket con doppio indice e di spostare ripetutamente i dati tra i due array di bucket finché sono tutti copiati nella riga zero di uno degli array. La riga zero contiene alla fine l'array ordinato.

D.7 (*Quicksort*) Presentiamo ora la tecnica di ordinamento ricorsivo chiamata Quicksort. L'algoritmo di base per un array con singolo indice di valori è il seguente:

- Passo di partizionamento*: prendete il primo elemento dell'array disordinato e determinate la sua posizione finale nell'array ordinato (la posizione in cui tutti i valori alla sinistra dell'elemento nell'array sono minori dell'elemento stesso e tutti i valori alla destra dell'elemento nell'array sono maggiori). Adesso abbiamo un elemento nella sua giusta posizione e due sottoarray disordinati.
- Passo ricorsivo*: eseguite il *Passo a* su ogni sottoarray disordinato.

Ogni volta che il *Passo a* viene eseguito su un sottoarray, un altro elemento è messo nella sua posizione finale dell'array ordinato e vengono creati due sottoarray disordinati. Quando un sottoarray consiste di un solo elemento, è già ordinato; di conseguenza, quell'elemento è nella sua posizione finale.

L'algoritmo di base sembra abbastanza semplice, ma come determiniamo la posizione finale del primo elemento di ogni sottoarray? Come esempio, considerate il seguente insieme di valori (l'elemento in neretto è l'elemento di partizionamento, che verrà posto nella sua posizione finale nell'array ordinato):

37 2 6 4 89 8 10 12 68 45

- Partendo dall'elemento più a destra dell'array, confrontate ogni elemento con **37** finché non viene trovato un elemento minore di **37**. Quindi scambiate **37** con l'altro elemento. Il primo elemento minore di **37** è **12**, e così vengono scambiati **37** e **12**. Il nuovo array è

12 2 6 4 89 8 10 **37** 68 45

- L'elemento **12** è evidenziato in corsivo per indicare che è stato appena scambiato con **37**.
- Partendo dalla sinistra dell'array, ma iniziando con l'elemento dopo il **12**, confrontate ogni elemento con **37** finché non viene trovato un elemento maggiore di **37**. Allora scambiate **37** con quell'elemento. Il primo elemento maggiore di **37** è **89**, e così vengono scambiati **37** e **89**. Il nuovo array è

12 2 6 4 **37** 8 10 89 68 45

- Partendo da destra, ma iniziando con l'elemento prima dell'**89**, confrontate ogni elemento con **37** finché non viene trovato un elemento minore di **37**. Allora scambiate **37** con quell'elemento. Il primo elemento minore di **37** è **10**, e così vengono scambiati **37** e **10**. Il nuovo array è

12 2 6 4 **10** 8 **37** 89 68 45

Partendo da sinistra, ma iniziando con l'elemento dopo il **10**, confrontate ogni elemento con **37** finché non viene trovato un elemento maggiore di **37**. Allora scambiate **37** con quell'elemento. Non vi sono più altri elementi maggiori di **37** prima di esso, pertanto quando confrontiamo **37** con se stesso, sappiamo che **37** è stato posto nella sua posizione finale nell'array ordinato.

Una volta che l'array è stato partizionato, vi sono due sottoarray disordinati. Il sottoarray con valori minori di **37** contiene **12, 2, 6, 4, 10** e **8**. Il sottoarray con valori maggiori di **37** contiene **89, 68** e **45**. L'ordinamento continua partizionando entrambi gli array alla stessa maniera dell'array originario.

Scrivete la funzione ricorsiva `quicksort` per ordinare un array con singolo indice di interi. La funzione deve ricevere come argomenti un array di interi, un indice di inizio e un indice di fine. La funzione `partition` deve essere chiamata da `quicksort` per compiere il passo di partizionamento.

Indice analitico

Simboli

; 38
'\0' (carattere nullo) 349
\a (alert) 39
& (AND bit a bit) 435, 572
\ (backslash) 39, 407
'\b' (backspace) 355
\ (carattere di escape) 38
* (carattere di soppressione dell'assegnazione) 414
// (commenti) 37
/*...*/ (commenti multilinea) 37
~ (complemento a uno) 435
%c (specificatore di conversione) 128, 172
/ (divisione) 47, 572
\\" (doppie virgolette) 39
\\" (doppio backslash) 39
%d (specificatore di conversione) 44, 172
\f (avanzamento pagina) 351
- (flag) 405
- (sottrazione) 47, 572
(flag) 405
+ (flag) 405
%f (specificatore di conversione) 86, 172
%hd (specificatore di conversione) 172
.h (estensione del nome di file) 176
%hu (specificazione di conversione) 172
[] (indice di array) 572
%ld (specificazione di conversione) 172
%Lf (specificazione di conversione) 172
%lld (specificazione di conversione) 172
%llu (specificazione di conversione) 172
-lm (opzione) 124
%lu (specificazione di conversione) 172
> (maggiore di) 51
=> (maggiore o uguale a) 51
- (meno unario) 572
< (minore di) 51
<= (minore o uguale a) 51
* (moltiplicazione) 47, 572
\n (nuova riga) 39
!= (non uguale) 51
^ (operatore) 443
() (operatore) 48

& (operatore) 43
(operatore) 546
(operatore) 547
+ (operatore) 44
?: (operatore condizionale) 74
-= (operatore di assegnazione) 92
*=(operatore di assegnazione) 92
/= (operatore di assegnazione) 92
%=(operatore di assegnazione) 92
=(operatore di assegnazione) 44
&= (operatore di assegnazione AND bit a bit) 443
>>= (operatore di assegnazione di spostamento a destra) 443
<<= (operatore di assegnazione di spostamento a sinistra) 443
^= (operatore di assegnazione OR esclusivo bit a bit) 443
|= (operatore di assegnazione OR inclusivo bit a bit) 443
+= (operatore di assegnazione per l'addizione) 92
() (operatore di chiamata di funzione) 572
-- (operatore di decremento) 92
++ (operatore di incremento) 92
* (operatore di indirezione) 289
& (operatore di indirizzo) 288
. (operatore di membro di struttura) 426
-> (operatore di puntatore a struttura) 426
&& (operatore logico AND) 135, 137 tabella di verità 135
! (operatore logico di negazione) 136, 137
|| (operatore logico OR) 135, 137
^ (OR esclusivo bit a bit) 435, 572
| (OR inclusivo bit a bit) 435, 572
|| (OR logico) 573
) (parentesi graffa destra) 39
((parentesi graffa sinistra) 38
+ (più unario) 572
%p (specificatore di conversione) 239, 289, 401
\? (punto interrogativo) 408
% (resto) 47
\r (ritorno a capo) 351
%% (specificatore di conversione) 401

>> (spostamento a destra) 435
>> (spostamento a destra bit a bit) 572
<< (spostamento a sinistra) 435
<< (spostamento a sinistra bit a bit) 572
%s (specificatore di conversione) 56
(tipo) (cast unario) 572
\t (tab orizzontale) 39, 408
== (uguale) 51
%u (specificatore di conversione) 89, 172
, (virgola) 573
\` (virgoletta singola) 408
\v (tab verticale) 351
\n 113

A

a (modalità) 467
a.out 14
a+ (modalità) 467
ab (modalità) 467
ab+ (modalità) 467

- ambiente locale 177
analisi dei dati di sondaggi 245
analisi di numeri telefonici 388
analisi di testi 390
AND bit a bit 435, 443
AND logico 134, 137
Android di Google 25, 26
Annex K dello standard C11 96
annidamento 87
Apache Software Foundation 25
apertura di un file 462
Apple 26
applicazione in C 15
applicazioni delle pile 515
approcci a forza bruta 283
architettura di controllo 186
`argc`, parametro 558
argomenti della riga di comando 558
argomenti variabili 556
argomento della funzione 163
`argv`, parametro 558
aritmetica dei puntatori 306
aritmetica in C 46
ARPA (Advanced Research Projects Agency) 26
ARPANET 27
array 222
 confini 231
 definizione 224
 indirizzo del primo elemento 239
 inizializzatori 226
 inizializzazione 226
 limiti 231
 nome 222
 numero di elementi 240
 ordinamento 243
 passaggio degli array per riferimento 239
 passare alle funzioni 239
 ricerca in 250
array automatici 226
array bidimensionali 255
array di caratteri 233
array di lunghezza variabile 262
array dinamici 565
array di puntatori 314
array di stringhe 314
array locali automatici 236
array locali statici 236
array m per n 255
array multidimensionali 255
array *static* 226
arresto anomalo 83
arrotondamento 211
arrotondamento di numeri in virgola mobile 421
arrotondare i valori in virgola mobile 396
- ascending*, funzione 321
assegnazione 48
assemblatori 7
`<assert.h>`, file di intestazione 548
`<assert.h>`, file di intestazione 177
assert, macro 548
asserzioni 548
associatività 54
associatività degli operatori 48
astrazione 164
`atexit`, funzione 561
attraversamento del labirinto 337
attributi delle variabili 186
 dimensioni 186
 nome 186
 tipo 186
 valore 186
`automaticArrayInit`, funzione 236
auto, parola chiave 187
avanzamento pagina 351, 408
`average`, funzione 259, 557
avviso 355
azione/decisione, modello di programmazione 73
azzeramento della memoria 379
- B**
- backslash 38, 407, 408
backspace 408
base 10 575
BCPL 8
big data 6
binary digit 4
bit (cifra binaria) 4
bit di riporto 583
BlackBerry OS 25
blocchi costituenti accatastati 143
blocchi costituenti annidati 143
blocco 38, 76, 167
blocco di controllo del file (FCB) 462
BMI 66
Bohm 70
`bool` 137
 `_Bool`, tipo di dati 137
`break`, istruzione 129
 in un'istruzione di iterazione 132
`bubble`, funzione 321
bubble sort 243
`bubbleSort`, funzione 250, 300
`bucket` 606
`Bucket sort` 606
byte 3, 4, 7
byte offset 473
- C**
- `c` (specificatore di conversione) 400, 409
- C tradizionale 8
C++ 11
C11 10
C99 9
calcolare i limiti di credito 155
calcolatore del risparmio nel car pooling 67
calcolatore delle emissioni di anidride carbonica 347
calcolatore dell'indice di massa corporea 66
calcolo degli interessi 108
calcolo della paga settimanale 158
calcolo delle commissioni sulle vendite 107
calcolo delle vendite 156
calcolo dell'interesse composto 123
calcolo dell'ipotenusa 212
calcolo del salario 108
calcolo del valore di π 157
calcolo di media, mediana e moda con gli array 245
calcolo di un polinomio di secondo grado 49
calcolo ricorsivo del fattoriale 192
`calloc`, funzione 565
campi 5
campo d'azione 186
campo d'azione di un identificatore 188
campo d'azione esteso al blocco 188
campo d'azione esteso al file 188
campo d'azione esteso alla funzione 188
campo d'azione esteso al prototipo di funzione 189
campo di bit 444
campo di bit anonimo 447
carattere di controllo 351
carattere di escape 38, 407
carattere di soppressione dell'assegnazione 414
carattere di spaziatura 351
carattere maiuscolo/minuscolo 42
carattere nullo 234
carattere nullo di terminazione 234
carattere speciale di terminazione di stringa 234
carattere stampabile 351, 355
caratteri 4, 127, 348
caratteri ASCII (American Standard Code for Information Interchange) 5
caratteri letterali 396
caratteri speciali 349
`case`, etichette 125
casi di base 192
`caso default` 125
`cbrt`, radice cubica 164
`ceil`, arrotonda 164

CERT C Secure Coding Standard 55
char 172
CHAR_BIT, costante simbolica 438
 chiamata di funzione 162
 chiamata ricorsiva 192
 chiave del record 463
 chiave di ricerca 250
 chiavi di ordinamento 588
ciclo 115
 ciclo di esecuzione delle istruzioni 343
 ciclo infinito 78, 199
 cifra binaria (bit) 4
 cifre 575

- binarie 576
- decimali 576
- esadecimali 576
- ottali 576

 cima della pila 173
 classe *blank* 351
 classe di memoria statica 187
 classi di memoria 186
clients.dat, file 465
 cloud computing 31
 coda 515
 code nelle reti di computer 516
 codice in linea 543
 codice oggetto 12
 codice open-source 25
 codice operativo 340
 codici numerici 368
 codici operativi del linguaggio macchina del Simpletron 340
 coercizione degli argomenti 170
 collegamento di un identificatore 186
 collegamento esterno 560
 collegamento interno 560
 colonna 255
 commenti 37
 commenti multilinea 37
 compilatore GNU C 14
 compilatori 8, 12
 compilatori ottimizzanti 543
 compilazione 12
 compilazione condizionale 545
 complemento a uno , 435
 complessità esponenziale 198
 componenti software 11
 computerizzazione di cartelle cliniche 460
 condizione 51, 72
 condizione combinata 135
 condizione di continuazione del ciclo 115, 117
 condizioni semplici 134
 confine di parola 425
 confine di unità di memoria 447
 confrontare i puntatori 309
 confronto di file 493

confronto di interi 64
 confronto di numeri 53
 confronto di porzioni di stringhe 387
const, qualificatore 294
 consumo di carburante 106
 contatore 79
 contatore del ciclo 116
 conteggio delle lettere dell'alfabeto in una stringa 389
 conteggio delle occorrenze di una sottostringa 389
 conteggio delle occorrenze di un carattere 389
 conteggio del numero di parole in una stringa 389
 conteggio di voti a lettera 127
continue, istruzione 133
continuous beta 32
 controllo degli intervalli 145
 controllo dei confini per gli indici di un array 266
 controllo programmi 69, 115
 convalida degli input 109, 381
 conversione da decimale a binario, ottale o esadecimale 581
 conversione di numeri ottali ed esadecimali in numeri binari 579
 conversione di temperature 421
 conversione di un numero binario in uno decimale 580
 conversione di un numero ottale in uno decimale 580
 conversione di una stringa in maiuscolo 296
 conversione esplicita 86
 conversione esplicita e implicita tra tipi 86
 conversione implicita 86
 conversioni di temperatura 214
 convertitore da infisso a postfisso 534
convertToUppercase, funzione 296
 copiare stringhe con array e puntatori 312
copy1, funzione 313
copy2, funzione 314
 corpo di funzione 38, 167
cos, funzione trigonometrica seno 164
 costante di tipo carattere 131
 costanti di enumerazione 185, 447
 costanti intere 131
 costanti simboliche 541
 costanti simboliche predefinite 547
 costo del parcheggio 211
 costruire il proprio compilatore 539
 costruire il proprio computer 339, 341, 343, 345
 costrutto condizionale del preprocessore 545

CPU (Central Processing Unit) 4, 14
craps 183
crashing 83
 creazione di un file ad accesso casuale 473
 creazione di un file ad accesso sequenziale 462
 creazione di un programma 12
 creazione e attraversamento di un albero binario 525
 crescita della popolazione mondiale 113, 160
 criptare e decriptare 114
 criptare i puntatori a funzioni 326
 crittografia 114
CryptGenRandom, funzione 201
<Ctrl> d 129
<Ctrl> z 129
<cctype.h>, file di intestazione 177, 350
cubeByReference, funzione 291
cubeByValue, funzione 291
 cucinare con ingredienti più sani 392
 cursore 408

D

d (specificatore di conversione) 409
database 6
 database relazionale 6
DATE, costante simbolica predefinita 548
deal, funzione 318, 432
 debugger 545
 debugging 177
 decisioni 39, 51, 55
 decrementare un puntatore 306
#define, direttiva per il preprocessore 228, 541
#define DEBUG 546
defined 545
 definizione di strutture 423
 definizioni 69
 definizioni di funzioni 165
 definizioni di variabili 41
delete, funzione 508
deleteRecord, funzione 481
 delimitatori 373
dequeue, funzione 521
dequeue, operazione 522
 dereferenziare un puntatore 289
descending, funzione 321
 descrittore di file 462
 design pattern 30
 determinare il numero degli elementi nell'array 305
 determinare le dimensioni dei tipi standard 305
 diagramma di flusso 70

diagramma di flusso dell'istruzione di iterazione *while* 78
 diagramma di flusso dell'istruzione *switch* 129
 diagramma di flusso non strutturato 144
 diagramma di flusso più semplice 142
 dichiarazione di unioni 432
 dichiarazione (prototipo) di funzione 166
 dimensione di un array 227
 directory (o cartella) 16
 direttive per il preprocessore 13, 540
 disattivare i messaggi di warning 96
 disco fisso 4, 12
 disegnare forme e caratteri 213
 dispari o pari 65
displayBits, funzione 437, 438
displayBits, funzione portabile 458
 dispositivi 15, 395
 di memoria secondaria 12
 di input 3
 di output 3
 distanza tra punti 217
 distribuire le carte 315
 dividere per zero 47
 dividi e conquista 161
 divisione 47
 divisione intera 47
 DOS 25
 double 172
do...while, istruzione di iterazione 131
 diagramma di flusso 132
dump 343
dump, funzione 345
 duplicati in un albero binario 537

E

e (costante matematica) 113
 e (specificatore di conversione) 398, 408, 409
E (specificatore di conversione) 398, 409
 Eclipse 12, 25
 Eclipse Foundation 25
 editing 12
 efficienza dell'ordinamento per fusione 603
 efficienza dell'ordinamento per inserzione 597
 efficienza dell'ordinamento per selezione 594
 elaboratori di testo 348
 elaborazione di file 461
 elaborazione interattiva 43
 elemento centrale dell'array ordinato 250

elemento di casualità 178
 elemento di posizione zero 223
#elif, direttiva 545
 eliminazione di duplicati 277, 527
 ellissi (...) 556
#else, direttiva 545
emacs, editor 12
 e-mail 27
 end of file 128
#endif 545
enqueue, funzione 520
 enumerazione 185
 EOF 128
 equazione di una linea retta 49
 equivalente decimale di un numero binario 112
 equivalente in lettere dell'importo di un assegno 392
 equivalenza fra numeri decimali, binari, ottali ed esadecimali 579
e-reader 26
<errno.h>, file di intestazione 177
#error, direttiva 546
 errori di compilazione 14
 errori di segmentazione 45
 errori di sintassi 14
 errori di tipo off-by-one 119
 errori in fase di esecuzione 15
 errori irreversibili 15
 errori logici 77
 irreversibili 77
 non irreversibili 77
 esecuzione 14
 esecuzione di un gioco 178
 esecuzione sequenziale 69
 eseguibile 39
 esponenziazione 213
 esponenziazione ricorsiva 215
 espressione condizionale 74
 espressione costante intera 131
 espressione di controllo 129
 espressioni algebriche 47
 espressioni con puntatori 306
 espressioni con tipi misti 171
 espressioni in C 47
 etichetta della struttura 423
 etichette 188
 euristica 282
 euristica di accessibilità 282
 evento esterno asincrono 563
e^x 113
execute, funzione 345
EXIT_FAILURE, costante simbolica 561
exit, funzione 561
EXIT_SUCCESS, costante simbolica 561
exp, funzione esponenziale 164
extern

classe di memoria 187
 parola chiave 187
 specificatore della classe di memoria 559

F

f (specificatore di conversione) 398, 409
F (specificatore di conversione) 398
f, suffisso 563
F, suffisso 563
fabs, valore assoluto in virgola mobile 164
 Facebook 25
factorial, funzione ricorsiva 194
 falla nella memoria 500
false 137
 fase di chiusura 84
 fase di elaborazione 84
 fase di inizializzazione 84
 fattore di scala 179
 fattoriale 113
 fattoriali 155
fclose, funzione 465
feof, funzione 465
fetch 344
fgetc, funzione 462
fgets, funzione 359, 360, 462
fibonacci, funzione 196
 figlio 522
 figura a scacchiera di asterischi 65
 file 6, 461
 `_FILE_`, costante simbolica predefinita 548
FILE, struttura 462
file accounts.txt 480
 file ad accesso casuale 473
 file ad accesso sequenziale 462
 file binari 467
 file "credit.dat" 474
 file di intestazione 176
 file di intestazione della Libreria Standard 177, 541
 file di intestazione (header) di input/output standard (*<stdio.h>*) 37
 file offset 469
fillDeck, funzione 431
 fine della coda (tail) 515
 finestra di Terminale in Mac OS X 15
 Firefox 25
 flag 396, 404
 flag 0 (zero) 405, 407
 flag della stringa di controllo del formato 405
 flag spazio 406
 Flickr 28
float, tipo di dati 172

<float.h>, file di intestazione 177
floor, arrotonda 164
fmod, resto di x/y in virgola mobile 164
fopen, funzione 464
for 118
 calcolo di una somma 123
 diagramma di flusso di un'istruzione di iterazione for 121
 formato di un'istruzione 119
forma lineare 47
formato da computer "raw data" 474
formato della definizione di una funzione 166
formato tabellare 226
formato testo 474
formattare numeri in virgola mobile 86
formattare output numerici 125
formattazione dell'input 407
formattazione dell'output 396
forme con asterischi 64
formulare algoritmi 79
formulare algoritmi con affinamento graduale top-down 81
Foursquare 28
fprintf, funzione 465
fprintf_s, funzione 486
fputc, funzione 462
fputs, funzione 462
frasi casuali 387
fratelli 522
fread, funzione 473
free, funzione 500
frequenza cardiaca normale 113
fscanf, funzione 468
fscanf_s, funzione 486
fseek, funzione 475
funzionalizzare i programmi 200
funzioni 10, 14, 161
 chiamanti 162
 chiamate 162
 definite dal programmatore 162
 della libreria math 163
 della Libreria Standard 10
 della libreria standard di input/output 359
 di confronto di stringhe 366
 di conversione di stringhe 356
 di gestione della memoria 375
 invocate 162
 per la gestione del segnale 563
 per la manipolazione di stringhe 364
 per la ricerca 368
 per l'elaborazione sicura di stringhe 381
 predicato 507
 ricorsive 192
 sicure 325

fusione di liste ordinate 533
fwrite, funzione 473

G

g (specificatore di conversione) 398, 408, 409
G (specificatore di conversione) 408, 409
gcc 14
generare labirinti in modo casuale 338
generatore di cruciverba 392
generatore di parole per numeri telefonici 495
generazione di numeri casuali 178
gerarchia di dati 4
gestione dei segnali 563, 571
gestione di una coda 519
gestore (handler) del segnale 563
getchar, funzione 127, 359, 361
getchar, macro 544
gioco d'azzardo 183, 185
Giro del Cavallo 280
GNU C 14
Google 25
goto, istruzione 69, 566
 eliminazione 70
GPS, dispositivo 3
grafici a barre 232
grafici a tartaruga 280
Groupon 28
GuessNumber 16

H

h (specificatore di conversione) 397, 409
hardware 1, 2, 8
home directory 19
HyperText Markup Language (HTML) 27
HyperText Transfer Protocol (HTTP) 27

I

i (specificatore di conversione) 397, 409
identificatore 42, 186
identificatore della macro 542
identificatori con permanenza in memoria statica 187
identificatori esterni 187
#if, costrutto 545
if, diagramma di flusso dell'istruzione a selezione singola 72
if, istruzione di selezione 51, 72
#ifdef, direttiva 545
#ifdef DEBUG 546

if...else, diagramma di flusso dell'istruzione a selezione doppia 74
if...else, istruzione di selezione 71, 73
if...else, istruzioni annidate 75
#ifndef, direttiva 545
immagine della memoria 343
immagine eseguibile 14
impacchettare caratteri in un intero 458
impacchettare i dati 450
#include, direttiva per il preprocessore 37, 540
incrementare un puntatore 306
indice 223
indice di colonna 256
indice di riga 256
indicizzazione di un array 311
indicizzazione di un puntatore 311
indirezione 287
indirezione doppia 507
indirizzo di ritorno 173
indovina il numero 215
information hiding 188
inizializzare con una stringa un array di caratteri 349
inizializzazione di strutture 426
inizializzazione di unioni 433
inline, parola chiave 543
inOrder, funzione 526
input di caratteri 127
input formattati 43
input/output formattato 395
inserimento dell'indicatore EOF 129
inserimento di un nodo in una lista ordinata 508
inserimento e cancellazione di nodi in una lista 505
inserimento in una lista ordinata 533
insert, funzione 507
insertionSort, funzione 595
insertNode, funzione 526
insieme dei caratteri ASCII 574
insieme dei caratteri della macchina 349
insieme di scansione 409, 412
insieme di scansione invertito 412
instant messaging 27
instradamento (router) 516
instructionCounter 342
instructionRegister 343
int, tipo di dati 172
intercettare (trap) 563
interfaccia grafica utente (GUI) 26
interi casuali 179
Internet 26
Internet delle cose 29
intero 396
 decimale con segno 397

decimale senza segno 397
 equivalente 65
 esadecimale senza segno 397
 ottale senza segno 397
 interpreti 8
 interruzioni 563
 intervallo minimo di valori per ogni tipo di intero 131
 intestazione della funzione 166
 intestazione dell'istruzione `for` 118
`INT_MAX` 95
`INT_MIN` 95
 inventario di ferramenta 494
 inversione dell'ordine dei bit di un intero 458
 inversione di cifre 214
 invertire le parole di una frase 534
 iOS di Apple 25, 26
 IP (Internet Protocol) 27
`isalnum`, funzione 351, 352
`isalpha`, funzione 351, 352
`isblank`, funzione 351
`iscntrl`, funzione 351, 355
`isdigit`, funzione 351, 352
`isEmpty`, funzione 507
`isgraph`, funzione 351, 355
`islower`, funzione 351, 353
`isprint`, funzione 351, 355
`ispunct`, funzione 351, 355
`isspace`, funzione 351, 354
 istogramma 232
 istruzioni 38, 69
 assistite da computer 220
 composte 76
 di assegnazione 44
 di azione 69
 di controllo annidate 87
 di controllo a un solo ingresso e a una sola uscita 71
 di iterazione 71, 77
 di iterazione `for` 118
 di output 38
 di salto 344
 di selezione 71
 di selezione doppia 71
 di selezione multipla 71
 di selezione singola 71
 eseguibili 51
 in SML 340
 vuote 77
`isupper`, funzione 351, 353
`isxdigit`, funzione 351, 352
 iterazione 115
 controllata da contatore 79, 116
 controllata da sentinella 81
 definita 79
 indefinita 81

J

Jacopini 70
 Java, linguaggio di programmazione 11
 JavaScript 11

K

kernel 25
 kernel Linux 26

L

l (specificatore di conversione) 397, 409
 L (specificatore di conversione) 398, 409
 l, suffisso 562, 563
 L, suffisso 562, 563
 LAMP 30
 lanciare un dado 178
 lancio di una moneta 214
 larghezza di banda 27
 larghezza di campo 125, 402, 444
 la tartaruga e la lepre, simulazione 334
 lati di un triangolo 113
 lati di un triangolo rettangolo 113
 latino maccheronico 388
 Legge di Moore 2
 leggere input formattati con `scanf` 407
 leggere stringhe tra virgolette 421
 letterale 38
 lettere 4
 lettori di DVD 3
 lettura di dati da un file ad accesso sequenziale 468
 lettura sequenziale di un file ad accesso casuale 480
 libreria di funzioni
 di utilità generale 356
 per il trattamento dei caratteri 350
 per il trattamento delle stringhe 364
 Libreria Standard del C 10, 12
 limerick 388
`<limits.h>`, file di intestazione 95, 177, 438
`_LINE_`, costante simbolica predefinita 548
`#line`, direttiva per il preprocessore 547
`LinearSearch`, funzione 250
 linee di flusso 70
 linguaggi
 ad alto livello 8
 assemblatori 7
 B 8
 C 8
 C standard 9
 di programmazione 7

di scripting 30
 estensibili 195
 macchina 7
 per SMS 394

linguaggi ad alto livello 8

linguaggi assemblatori 7

linguaggio macchina 7, 12

link 14, 499

linker 14

linking 14

Linux Red Hat 25

Linux Ubuntu 25

lista collegata 501

lista di inizializzazione 226

lista di parametri 163, 166

liste di argomenti di lunghezza variabile 555

live-code 1

livello di indentazione 39

livello di precedenza 48

livello top 82

l1 (specificatore di conversione) 397, 409

l1, suffisso 562

lL, suffisso 562

`load`, funzione 345

loader 14

loading 14

`<locale.h>`, file di intestazione 177

locuzione di memoria 45

`log`, logaritmo naturale 164

`log10`, logaritmo in base 10 164

`long`, tipo di dati 131

`long double`, tipo di dati 172

`long int`, tipo di dati 131, 172

`long long int`, tipo di dati 172

`lvalue` 138

M

Macintosh 26

Mac OS X 25, 26

macro 542

 con argomenti 542

 definizione 542

 espansa 542

`main`, funzione 38

main ricorsiva 217

`makefile` 561

`make`, utilità 561

`malloc`, funzione 500

manipolare stringhe 233

manipolazioni di array bidimensionali 259

marcatore di end-of-file 461

maschera 437

mashup 28

massimo comun divisore 214

massimo comun divisore ricorsivo 217
 <math.h>, file di intestazione 124
maximum, funzione 168, 259
mazzo di carte 315
media 250
 media di una sequenza di interi 154
mediana 250
 membri della struttura 423
memchr, funzione 376, 378
memcmp, funzione 376, 377
memcpy, funzione 375, 376
memmove, funzione 376, 377
memoria 3
memoria primaria 3
 memorizzazione automatica 187
 memorizzazione di stringhe 233
 memorizzazione permanente di dati 461
memory, array 342
memory leak 500
memset, funzione 376, 378
merge, funzione 598
mergeSort, funzione 598
 mescolare le carte 315
 messaggi di prompting 43
 messaggio 38
 messaggio di avviso 408
 Metodologia Agile 30
 mettere in ordine alfabetico una lista di stringhe 389
 Microsoft 25
minimum, funzione 259
moda 250
modalità
 binaria 467
 di aggiornamento 468
 di apertura del file 467
 esclusiva di scrittura 467
mode, funzione 250
 modello di input/output formattato 472
 modi di apertura dei file 467
 modificatori di lunghezza 397
modifyArray, funzione 240
modifyElement, funzione 240
 modularizzazione dei programmi 161
 moltiplicazione 47
 movimento open-source 25
 Mozilla Foundation 25
 multipli 65, 213
 multipli di 2 113
 multipli di 10 112
mycopy, programma 558
 MySQL 30

N

n (specificatore di conversione) 409
NDEBUG, costante simbolica 548
 negazione logica 136
 neutralità di genere 394

newline 38, 408
newRecord, funzione 481
nodi 501
nodo
 foglia 522
 padre 522
 radice 522
 nome di una funzione 166, 320
 nome di una variabile 46
 normali regole di conversione aritmetica 170
notazione
 con complemento a due 582
 con indice e con puntatori 312
 con indice per gli array 234
 esponenziale 398
 infissa 534
 in virgola fissa 398
 "O grande" 589
 posizionale 576
 postfissa 534
 puntatore/indice 310
 puntatore/offset 310
 scientifica 398
NULL 288
 numerali romani 159
 numeri binari negativi 582
 numeri casuali sicuri 201
 numeri di Fibonacci 196
 numeri di locazione 339
 numeri di riga 547
 numeri interi senza segno 95
 numeri in virgola mobile 84
 numeri perfetti 214
 numeri pseudocasuali 181
 numero di posizione 222
 numero di segnale 563

O

o (specificatore di conversione) 397, 409
O(1), di ordine 1 589
 Objective-C 11, 26
 occultamento delle informazioni 188
 offset 310
 oggetti 11
O(n^2), di ordine n-quadrato 589
O(n), di ordine n 589
O(n log n) 603
 Open Handset Alliance 26
 operand 343
 operandi 44, 341
operationCode 342
 operatori 48
 additivi 95
 aritmetici 46, 47
 binari 44
 bit a bit 435
 bit a bit AND 435
 bit a bit complemento 435
 bit a bit OR esclusivo 435
 bit a bit OR inclusivo 435
 cast 86
 condizionale 95
 di assegnazione 92, 95
 di assegnazione AND bit a bit 443
 di assegnazione bit a bit 443
 di assegnazione di spostamento a destra 443
 di assegnazione di spostamento a sinistra 443
 di assegnazione OR esclusivo bit a bit 443
 di assegnazione OR inclusivo bit a bit 443
 di chiamata di funzione 223
 di dereferenziazione 289
 di indirezione 289
 di indirizzo 43
 di membro di struttura 426
 di postdecremento 92
 di postincremento 92
 di predecremento 92
 di preincremento 92
 di puntatore a struttura 426
 di spostamento a destra 435
 di spostamento a sinistra 435
 di uguaglianza 51, 95
 freccia 426
 logici 134
 moltiplicativi 95
 per i puntatori 288
 postfissi 95
 punto 426
 relazionali 51, 95
 unari 86, 95
 virgola 120
operazioni 48
 di caricamento/memorizzazione 340
 di input 395
 di output 395
OR bit a bit 443
 ordinamento 588
 a bolle 243
 con albero binario 526
 di interi 571
 per affondamento 243
 per fusione 597
 per inserzione 594
 per selezione 590
 per selezione ricorsivo 606
 ordine crescente 243
 ordine di calcolo 50
 ordine di calcolo degli operandi 198
 ordine di valutazione 48
 ordini di terminazione 563

OR esclusivo bit a bit 435
 organizzazione dei computer 2
 OR inclusivo bit a bit 435
 OR logico 135, 137
 Otto Regine 284
 overflow aritmetico 95
 overflow del buffer 266
overhead 199

P

p (specificatore di conversione) 401, 409
 PaaS (Platform as a Service) 31
 pacchetti 27
 pacchetti di informazioni 516
 pagina nuova 408
 parametro array 258
 parametro puntatore 292
 parentesi 48
 angolari 541
 annidate 48
 per raggruppare sottoespressioni 47
 quadre 412
 ridondanti 50
 pari o dispari 213
 parola 339, 425
 parole chiave del C 54
 aggiunte nel documento dello standard C11 55
 aggiunte nello standard C99 55
 passaggio per riferimento 177, 291
 passaggio per valore 177, 291
 passo di ricorsione 192
 permanenza in memoria automatica 187
 permanenza in memoria di un identificatore 186
 permanenza in memoria statica 187
phishing scanner 497
 PHP 11, 30
 piattaforme hardware 9
 pila 172, 509
 delle chiamate delle funzioni 172
 di esecuzione del programma 173
 pipe () 555
 piping 555
 pop, funzione 172, 514
 pop, operazione 515
 posposizione indefinita 316
 posta indesiderata 393
 postincrementare (o postdecrementare)
 una variabile 92
 postOrder, funzione 527
 potenza della base 576
 pow, funzione 50
 pow, x elevato alla potenza y 164
 pow(x, y), funzione 124
 #pragma, direttiva 546
 precedenza degli operatori aritmetici 48

precisione 125, 403
 precisione predefinita 86
 precisione preimpostata 399
 preelaborazione 12
 preincrementare (o predecrementare)
 una variabile 92
 preOrder, funzione 526
 preprocessore del linguaggio C 540
 principio del privilegio minimo 295
 print1DArray, funzione 265
 print2DArray, funzione 265
 printArray, funzione 250
 printCharacters, funzione 297
 printf 38, 396
 con argomento singolo 55
 specificazione di conversione 172
 printf_s 96
 printHeader, funzione 252
 printList, funzione 509
 printRow, funzione 252
 problema della media di una classe 79
 problema dell'else sospeso 110
 processo di affinamento 82
 processo distruttivo 45
 processo non distruttivo 46
 processore multi-core 4
 prodotto di numeri interi dispari 155
 profondità di un albero binario 538
 programma di conversione metrica 392
 programma di interrogazione per il credito 469
 programma editor 12
 programma in SML 341
 programma per la gestione di conti bancari 486
 programma per l'elaborazione di transazioni 480
 programmatore 2
 programmazione in linguaggio macchina 339
 programmazione orientata agli oggetti 11
 programmazione senza goto 70
 programmazione strutturata 70
 riepilogo 139
 programmi con più file sorgente 559
 programmi per computer 2
 programmi strutturati
 regole per la costruzione 142
 programmi traduttori 8
 promozione 171
 prompt 43
 Prompt dei comandi di Windows 15
 proporzione aurea 195
 protezione di assegni 391
 prototipo di una funzione 170
 pseudocodice 69
 pseudocodice a livello top 81

pseudocodice per il problema dei risultati dell'esame 90
 puntatori 286
 a FILE 462
 a una funzione 320
 a una struttura FILE 464
 a void 309
 con il valore NULL 288
 costanti a dati costanti 295
 costanti a dati non costanti 295
 di posizione del file 469
 dichiarare 287
 non costanti a dati costanti 295
 non costanti a dati non costanti 295
 punto decimale 398
 punto di ingresso 71
 punto di uscita 71
 punto interrogativo 408
 push 172
 push, funzione 514
 putchar, funzione 359, 360
 puts, funzione 55, 359, 361
 Python 11

Q

quadrato di asterischi 111
 quadrato di asterischi vuoto 112
 qualificatore di tipo const 242
 quicksort 607

R

r (modalità) 467
 r+ (modalità) 467
 raise, funzione 563
 RAM (Random Access Memory) 3
 rand, funzione 178
 RAND_MAX 178
 random, funzione 201
 randomizzazione 181
 rappresentazione
 di un puntatore in memoria 288
 grafica di una coda 516
 grafica di un albero binario 522
 grafica di una lista collegata 502
 grafica di una pila 510
 grafica di un puntatore 288
 rb (modalità) 467
 rb+ (modalità) 467
 readline, funzione non standard 350
 realloc, funzione 565
 record 5, 422
 record di attivazione 172
 record di lunghezza fissa 473
 refactoring 30
 register 186
 registro 339
 regola di accatastamento 140

regola di annidamento 140
 regole di precedenza degli operatori 48
 regole di promozione intera 171
 regole per il campo d'azione 188
 relazioni tra puntatori e array 309
release candidate 32
report 480
 Resource Center sul C 32
 resto della divisione 47
return 168
reverse, funzione ricorsiva 360
rewind 469
 riassumere i risultati di un sondaggio 229
 ricerca binaria 252
 ricerca di sottostringhe 388
 ricerca in un albero binario 527
 ricerca lineare 250
 ricorsione 192
 ricorsione infinita 199
 ricorsione rispetto all'iterazione 199
 ridirezione di I/O 554
 riferimenti non risolti 559
 riferimento diretto e indiretto a una variabile 287
 riga 255
 righe vuote 37
 riporto 583
 riscaldamento globale 219
 ritorno a capo 351, 408
 riusabilità del software 10, 164
rollDice, funzione 185
rvalue 138

S

s (specificatore di conversione) 400, 409
 SanS (Software as a Service) 30
 Salesforce 28
 salto 341
 salto condizionato 344
 salto non condizionato 344
 salto non condizionato con *goto* 566
 scacchi 280
 scacchiera 280
 scacchiera di asterischi 112
 scalari 240
 scambio 245
scanf, funzione 43
 valore di ritorno 145
scanf, specificazione di conversione 172
scanf_s 96, 266
 scarto 310
 schema logaritmico 603
 scope 186
 scrittura di dati in maniera casuale 475

SDK (Software Development Kit) 31
Se...altrimenti, istruzione nello pseudocodice 73
SEEK_CUR 478
SEEK_END 478
SEEK_SET, costante simbolica 477
 segnale 563
 segnali standard definiti in *signal.h* 563
Se..., istruzione in pseudocodice 72
selectionSort, funzione 590
 selezione multipla 125
 separazione delle cifre di un intero 66
 separazione di cifre 213
 sequenze di escape 38, 407, 408
 sequenze di espressioni separate da virgole 120
 serie di Fibonacci 195
 server web Apache 25
 servizi web 28
 Setaccio di Eratostene 285
 set di caratteri 4
 set di caratteri Unicode 5
<setjmp.h>, file di intestazione 177
 sezione aurea 195
 shell di Linux 15
short, tipo di dati 131, 172
short int, tipo di dati 131
 Short Message Service 394
shuffle, funzione 318, 431
SIGABRT, segnale 563
SIGFPE, segnale 563
SIGILL, segnale 563
SIGINT, segnale 563
signal, funzione 563
<signal.h>
 file di intestazione 177
 libreria per la gestione dei segnali 563
signalHandler, funzione 563
signed char 131
SIGSEGV, segnale 563
SIGTERM, segnale 563
 simboli
 cerchietto 70
 connettori 70
 di azione 70
 di concatenazione dell'output (>>) 555
 di decisione 70, 72
 di ridirezione dell'input (<) 555
 di ridirezione dell'output (>) 555
 rettangolo 70
 rettangolo arrotondato 70
 rombo 70
 speciali 4
Simpletron 339
Simpletron con elaborazione di file 496

Simpletron Machine Language 339
 simulazione 178
 simulazione ad alte prestazioni 429
 simulazione del supermarket 537
sin, funzione trigonometrica seno 164
 sinking sort 243
 sistema di numerazione binario (in base 2) 575
 sistema di numerazione decimale 575
 sistema di numerazione esadecimale (in base 16) 575
 sistema di numerazione ottale (in base 8) 575
 sistema di prenotazione per compagnie aeree 279
 sistema guidato da menu 324
 sistema operativo
 Linux 25
 open-source 25
 UNIX 8
 sistema operativo proprietario 26
 sistemi di elaborazione di transazioni 473
 sistemi di numerazione 575
 sistemi di telecomunicazione 9
 sistemi embedded 9, 25
 sistemi in tempo reale 9
 sistemi operativi 9, 25, 26
sizeof, operatore 265, 303, 438
size_t, tipo 225
 Skype 28
 smartphone 26
 SML 339
 SMS (Short Message Service) 394
 social network 28
 software open-source 25
 software proprietario 25
 somma degli elementi di un array 229
 somma di numeri interi pari 155
 somma di una sequenza di interi 154
 sondaggio 347
sortSubArray, funzione 598
 sottoalbero destro 522
 sottoalbero sinistro 522
 sottrarre un intero da un puntatore 306
 sottrarre un puntatore da un altro puntatore 306
 sottrazione 47
 SourceForge 25
 sovrapposizione di blocchi costituenti 143
 spacchettare caratteri da un intero 458
 spam 393
 spam scanner 393
 spazio 405
 specificatori della classe di memoria 186

- specificatori di conversione 43, 56, 396, 398, 400
di interi 396
di numeri in virgola mobile 398
per `scanf` 409
- spooling di stampa 516
- spostamento a destra 435
- spostamento a sinistra 435
- spostamento dell'intervallo 179
- `sprintf`, funzione 360, 362
- `sqrt`, radice quadrata 164
- `square`, funzione 173
- `rand`, funzione 181
- `sscanf`, funzione 360, 363
- stack 172
- stack overflow 173
- stampare
alberi 539
argomenti di una riga di comando 571
date 391
interi 396
numeri in virgola mobile 398
ricorsivamente una lista all'indietro 538
stringhe e caratteri 400
triangoli 155
una frase all'inverso 388
una riga di testo 36
una stringa all'indietro 285
una stringa un carattere alla volta 297
un grafico a barre 155
un rombo 158
- standard error stream 15
- standardizzazione 9
- static**
parola chiave 187
specificatore della classe di memoria 560
variabile 187
variabile locale 188
- `staticArrayInit`, funzione 236
- `_Static_assert`, direttiva 548
- `<stdarg.h>`, file di intestazione 177, 556
- `<stdbool.h>`, intestazione 137
- `_STDC_`, costante simbolica predefinita 548
- `<stddef.h>`, file di intestazione 177
- `stderr` 15
- `stdin` (standard input stream) 15
- `<stdio.h>`, file di intestazione 177, 359, 462
- `<stdlib.h>`, file di intestazione 177, 356
- `stdout` (standard output stream) 15
- `strcat`, funzione 364, 366
- `strchr`, funzione 369
- `strcmp`, funzione 367
- `strcpy`, funzione 364
- `strcspn`, funzione 369, 370
- stream (flusso di dati) 15, 395, 461
- stream standard error 395
- stream standard input* 395
- stream standard output* 395
- `strerror`, funzione 379, 380
- stringa 349
- stringa di caratteri 38
- stringa di controllo del formato 43, 396
- stringa letterale 234
- `<string.h>`, file di intestazione 177, 364
- stringhe 348
costanti 349
- `strlen`, funzione 379, 380
- `strncat`, funzione 364, 366
- `strncmp`, funzione 367
- `strncpy`, funzione 364
- `strupr`, funzione 369, 371
- `strrchr`, funzione 369, 372
- `strspn`, funzione 369, 372
- `strstr`, funzione 369, 373
- `strtod`, funzione 356, 357
- `strtok`, funzione 369, 373
- `strtol`, funzione 356, 357
- `strtoll` 356
- `strtoul`, funzione 356, 358
- `strtoull` 356
- `struct`, parola chiave 423
- struttura autoreferenziale 424
- struttura di dati non lineare e bidimensionale 522
- struttura sequenziale 70
- strutture 422
autoreferenziali collegate 499
di controllo 69
di dati 498
di dati first-in, first out (FIFO) 515
di dati last-in, first out (LIFO) 172, 509
dinamiche di dati 286, 498
di selezione 71
lineari di dati 501
- suddividere in token una stringa 374
- suffissi interi 562
- suffissi per letterali in virgola mobile 563
- supercomputer 1
- sviluppo agile del software 30
- sviluppo di un programma strutturato 68
- `swap`, funzione 300
- Swift 12
- `switch`, istruzione di selezione 71, 125
- T**
- tabella dei file aperti 462
- tabella di equivalenze fra decimali, binari, ottali ed esadecimali 157
- tabella di output 109
- tabelle di valori 255
- tabelle di verità 135
- tabulazione orizzontale 355, 408
- tabulazione verticale 351, 355, 408
- `tan`, funzione trigonometrica tangente 164
- Tassa Equa 160
- tavole di quadrati e di cubi 66
- TCP (Transmission Control Protocol) 27
- TCP/IP 27
- tecnica della simulazione software 339
- tempo di esecuzione
costante 589
lineare 589
quadratico 589
- tempo in secondi 213
- terabyte 4
- terminatore dell'istruzione 38
- terminazione di programmi 561
- testa della coda (head) 515
- test di caratteri 387
- tester di palindromi 112
- testo di sostituzione 228, 541
- `textFile`, funzione 480
- The Twelve Days of Christmas 159
- `_TIME_`, costante simbolica predefinita 548
- `time`, funzione 182
- `<time.h>`, file di intestazione 177
- tipi degli argomenti 166
- tipi di dati aritmetici 172
- tipi di dati derivati 423
- tipi e macro per liste di argomenti di lunghezza variabile 556
- tipi interi 131, 172
- tipi in virgola mobile 172
- tipo booleano 137
- tipo-del-valore-di ritorno 166
- tipo di dati float 84
- tipo di dato 43
- tipo di ritorno della funzione main 168
- tipo di struttura 423
- `token` 369, 373
- `tolower`, funzione 351, 353
- Torri di Hanoi 216
- totale 80
- Total delle Vendite 279
- touch-screen 25
- `toupper` 351
- `toupper`, funzione 296, 353
- trasferimento condizionato del controllo 341

trasferimento del controllo 69
 trattare gli array di caratteri come stringhe 236
 triple pitagoriche 157
 trovare il numero più grande 109
 true 137
`tryToModifyArray`, funzione 242
 Twitter 28
`typedef`, parola chiave 428

U

`u` (specificatore di conversione) 397, 409
`u`, suffisso 562
`U`, suffisso 562
`UINT_MAX` 96
`#undef`, direttiva per il preprocessore 544
 Unicode® 5
`union`, definizione 432
`unioni` 432
 unità aritmetica e logica 3
 unità centrale di elaborazione 4
 unità di input 3
 unità di memoria 3
 unità di memoria secondaria 4
 unità di output 3
 unità flash 3
 unità logiche 2
 UNIX 8
`unsigned int`, tipo di dati 80, 172
`unsigned long int`, tipo di dati 172
`unsigned long long int`, tipo di dati 172, 195
`unsigned short`, tipo di dati 172
`updateRecord`, funzione 480
`useGlobal`, funzione 191
`useLocal`, funzione 191
`useStaticLocal`, funzione 191

V

`va_arg`, macro 557
`va_end`, macro 557
`va_list`, tipo 557
 valore chiave 250
 valore dell'espressione di assegnazione 128
 valore di flag 81
 valore di segnale 81
 valore di spostamento 182
 valore di una variabile 46
 valore fittizio 81
 valore intero di un carattere 65
 valore in virgola mobile 398
 valore minimo in un array 285
 valore più piccolo 155
 valore posizionale 576

valore sentinella 81
 valore "spazzatura" 80
 valori ai puntatori, inizializzare e assegnare 288
 valori dei simboli 576
 valori interi 42
 valutatore di espressioni postfisse 535
 valutazione cortocircuitata 136
 variabili 41
 automatiche 173, 187
 definizioni 41
 di controllo 116
 di tipo struttura 424
 globali 187
 locali 163
 non inizializzate 80
 puntatore, definizione e inizializzazione 287
 valore 46
 variazione di scala 179
`va_start` 556
 verifica del limite di credito 106
 versione *alpha* 31
 versioni *beta* 32
`vi`, editor 12
 violazione di accesso 45
 virgolette 38, 541
 doppie 131, 349, 408
 singole 131, 349, 408
 visita di un albero binario per livelli successivi 538
 visita in ordine 526
 visita in post-ordine 527
 visita in pre-ordine 526
 visite di alberi 526
 Visual C# 11
 Visual Studio di Microsoft 12
 VLA, *variable-length array* 262
 void 38, 166
 vulnerabilità del doppio `free` 528

W

`w` (modalità) 467
 "w" (modalità di apertura file) 464
`w+` (modalità) 467
`wb` (modalità) 467
`wb+` (modalità) 467
 web server 11
`while`, istruzione di iterazione 77
 Wikipedia 28
 Windows 25
 Windows 8.1 25
 Windows Phone 25
 word processor 348
 World Wide Web 26, 27
 World Wide Web Consortium (W3C) 27

X

`x` (specificatore di conversione) 397, 409
`X` 397, 409
 XOR bit a bit 443

Y

YouTube 28

Z

zeri iniziali 405

