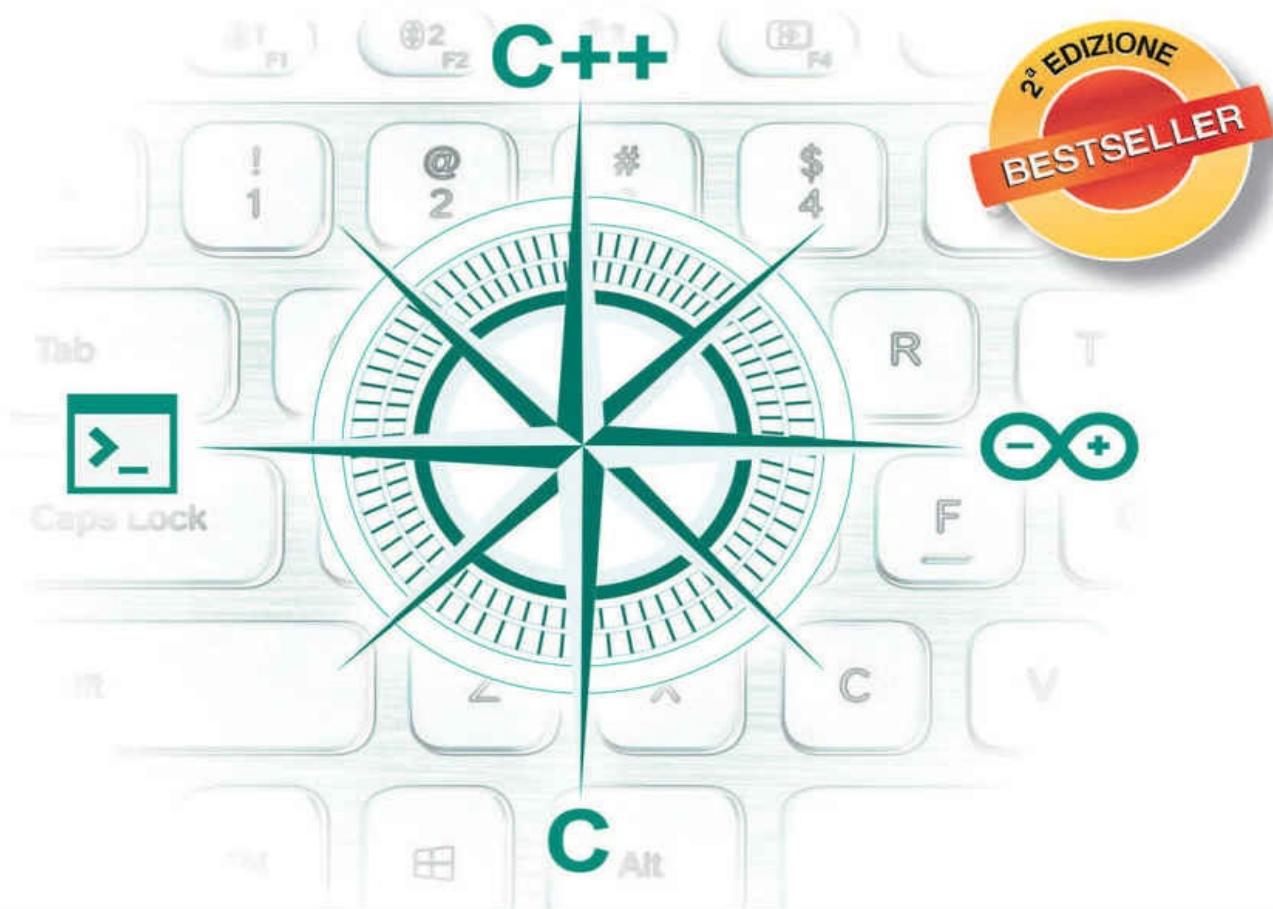


- Carlo A. Mazzone -

C e C++

Le chiavi della programmazione



I costrutti fondamentali della programmazione >>

Interfacce grafiche e programmazione guidata da eventi >>

La programmazione orientata agli oggetti >>

Arduino e Internet delle cose >>

*pro
DigitalLifeStyle

C e C++

Le chiavi della programmazione

Carlo A. Mazzone

EDIZIONI
LSWR

Ai sognatori di ogni età che non perdono mai la passione per lo studio e la voglia per la scoperta del nuovo e che, attraverso i loro sogni, contribuiscono a creare un mondo migliore.

Carlo A. Mazzone

C e C++ | Le chiavi della programmazione

Autore: Carlo A. Mazzzone

Collana: *pro
DigitalLifeStyle

Editor in Chief: Marco Aleotti

Progetto grafico: Roberta Venturieri

Immagine di copertina: Gianluca Rotondo

Realizzazione editoriale e impaginazione: Studio Dedita di Davide Gianetti

© 2016 Edizioni Lswr* – Tutti i diritti riservati

ISBN: 978-88-6895-330-0

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche), sono riservati per tutti i Paesi. Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume 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.

La presente pubblicazione contiene le opinioni dell'autore e ha lo scopo di fornire informazioni precise e accurate. L'elaborazione dei testi, anche se curata con scrupolosa attenzione, non può comportare specifiche responsabilità in capo all'autore e/o all'editore per eventuali errori o inesattezze.

L'Editore ha compiuto ogni sforzo per ottenere e citare le fonti esatte delle illustrazioni. Qualora in qualche caso non fosse riuscito a reperire gli astanti diritto è a disposizione per rimediare a eventuali involontarie omissioni o errori nei riferimenti citati.

Tutti i marchi registrati citati appartengono ai legittimi proprietari.

**EDIZIONI
LSWR**

Via G. Spadolini, 7

20141 Milano (MI)

Tel. 02 881841

www.edizionilswr.it

(*) Edizioni Lswr è un marchio di La Tribuna Srl. La Tribuna Srl fa parte di **LSWR GROUP**.

Sommario

INTRODUZIONE 13

Parte 1 – Il linguaggio C e i fondamenti della programmazione

1. PREMESSE E MOTIVAZIONI PER UNIRE LA TEORIA E LA PRATICA DELLA PROGRAMMAZIONE 23

Analogico versus digitale: la battaglia ormai persa 24

In principio era il bit 25

Quanti ne rappresento? 28

Nibble e Byte 28

Altre basi numeriche 28

Rappresentazione dei dati alfanumerici 30

Hardware e software 31

Linguaggi naturali e artificiali 39

I programmi traduttori 40

Interpreti e compilatori 43

A spasso con una “macchina virtuale” 43

Il C e le sue origini 44

Il C come primo linguaggio 46

Ambienti di sviluppo 46

Gli ambienti di sviluppo per il C 47

Creare programmi con interfaccia grafica 52

2. SALVE, MONDO 53

“Salve, mondo” con Dev-C++ 56

Salutiamo il mondo da Code::Blocks 64

3. LE VARIABILI E IL MONDO ESTERNO 69

Andiamo a capo 72
Input e output di base 73
Tipologie di variabili 75
Anche l'occhio vuole la sua parte 76
I nomi delle variabili 77
Le costanti 77
Quando le costanti sono tante: le enumerazioni 79

4. OPERIAMO SUI DATI 81

Aiuto: quanti problemi! 81
Algoritmo, la parola magica 82
I diagrammi di flusso 83
Operatori aritmetici 87
printf, la stampa e le specifiche di formattazione 88
Il casting delle variabili 90
Operatori di incremento e decremento 92
Operatori relazionali 93
Operatori logici 94

5. IL DEBUGGING DI UN'APPLICAZIONE 99

Fare debug con Dev-C++ 100
Il debug con Code::Blocks 107

6. ISTRUZIONI CONDIZIONALI: OPERIAMO DELLE SCELTE 111

Il costrutto if-else 111
Il costrutto else if 113
Strutture nidificate 115
Il costrutto switch 117

7. CICLI, OVVERO NOI LA MENTE E LA MACCHINA IL BRACCIO 119

Spaghetti e programmazione strutturata 120
Il ciclo for: ripetiamo contando 120

Il ciclo while 125

Il ciclo do-while 129

Facciamo un break 130

8. COMINCIAMO A FARE SUL SERIO: GLI ARRAY 133

Premesse sulla complessità dei dati 133

Le strutture dati composte 134

Gli array 135

Inizializziamo un array 138

Array di caratteri, usiamo le stringhe 140

Caratteri “numerici” 141

Input di caratteri, la funzione getchar 142

Una pausa alternativa 143

Do ut des, ovvero getchar e putchar 143

Il pappagallo rimbambito 144

Input e output di stringhe: gets e puts 145

Il pappagallo 2, la vendetta 146

Alcune funzioni tipiche per le stringhe 147

9. ARRAY BIDIMENSIONALI 151

Array a due dimensioni 151

La scansione di un array 2D 153

La generazione di numeri casuali 156

10. ORDINIAMO LE COSE: GLI ALGORITMI NOTEVOLI 161

Selection Sort 161

Bubble sort 165

11. SOLUZIONI SEMPLICI A PROBLEMI COMPLESSI: LE FUNZIONI 167

Approccio Top-Down alla programmazione 167

Procedure e funzioni 168

Dichiarazione e definizione di una funzione 169

Nessun input, nessun output 170

Input sì, output no 171

Input e output nella stessa funzione 173

La visibilità delle variabili 175

12. LA RICORSIONE E LE FUNZIONI RICORSIVE 181

I numeri fattoriali 181

Ancora ricorsione, Fibonacci 184

13. I PUNTATORI 187

I puntatori 187

Puntatori e array 189

Puntatori e funzioni 191

L'eccezione che conferma la regola: array, funzioni e passaggio per indirizzo 194

Comunichiamo con il programma, il passaggio di parametri al main 195

14. LE STRUTTURE: MOLTI DATI E UN'UNICA VARIABILE 199

Campi, record e strutture 199

Una struttura dentro l'altra 202

Array di strutture 205

Le strutture e le funzioni 207

Nuovi tipi con typedef 210

I campi di bit 212

Le unioni 213

15. I FILE E GLI ARCHIVI DI DATI SECONDO IL C 217

Archivi e file 217

Apertura e chiusura di un file 218

Modalità di apertura di un file 221

Scriviamo e leggiamo file di testo: fprintf e fscanf 221

Gestire gli errori 224

Un carattere per volta: fgetc e fputc 226

Scrivere e leggere file binari: fwrite e fread 227

Gestire gli archivi di dati 230

Parte 2 – Oltre le frontiere del C

16. LA PROGRAMMAZIONE ORIENTATA AGLI OGGETTI E LO SVILUPPO DI SOFTWARE COMPLESSO 235

I linguaggi orientati agli oggetti 237

Evoluzione dei linguaggi di programmazione 238

Vita, morte e “miracoli” di un software 239

Non solo codice 239

Il versioning del software 242

Dall’alfa al rilascio: versioni alfa, beta, RC 245

17. DAL C AL C++ 247

Un “Salve mondo” anche per il C++ 248

Diamo spazio ai nomi 251

Visibilità delle variabili in C++ 256

I riferimenti 257

18. INPUT E OUTPUT DI DATI 261

Console input 261

cin e le stringhe: un rapporto difficile 263

Qualche dettaglio sull’output, un po’ di formattazione 266

19. OGGETTI E CLASSI 271

Dalle struct alle classi 271

Incapsulamento e occultamento dell’informazione 273

Parliamo agli oggetti: messaggi e metodi 275

Oggetti e istanze 277

Come disegnare le classi 278

20. L’ARTE DEL CREARE E DEL DISTRUGGERE 281

Il costruttore 281

Il distruttore 283

La compilazione separata 284

21. IL POLIMORFISMO DEL C++ 291

Monomorfismo e polimorfismo 291

Una firma per la classe 295

Codice e ambiguità 296

Quando il numero conta: array di oggetti 297

Puntare sulla classe 298

Da punto a punto: puntare su se stessi 299

Overloading anche sugli operatori 302

22. EREDITARIETÀ 307

L'ereditarietà del C++ 308

Proteggere i membri della propria classe 313

Diversi ma non troppo: la sovrapposizione 314

Quando il virtuale è realmente utile 315

Dal virtuale all'astratto 318

L'amicizia è una funzione importante 319

23. LA PROGRAMMAZIONE GENERICA E LA LIBRERIA STANDARD DEL C++ 323

Riutilizzo del codice e applicazioni legacy 323

Modelli, template e classi generiche 324

Specializzare un template 331

La programmazione generica 331

STL: Standard Template Library 332

24. FLUSSI E FILE NEL C++ 335

Le classi per la gestione dei file 335

Apertura e chiusura di un file 337

Scriviamo file di testo 338

Modalità di apertura 339

Leggiamo il contenuto di un file 340

File binari e archivi di dati 342

Un archivio reale: gestiamo una collezione di fumetti 343

25. LA GESTIONE DEGLI ERRORI E DELLE ECCEZIONI 353

Try e catch 353

Gestori multipli 356

Eccezioni standard 357

26. L'ALLOCAZIONE DINAMICA DELLA MEMORIA 359

Stack e Heap: come gestire la memoria 361

New e delete: operiamo dinamicamente sulla memoria 362

Il dinamismo di un array 363

I memory leaks 364

Verifichiamo la disponibilità di spazio di memoria 365

Allocchiamo dinamicamente oggetti 366

27. LE INTERFACCE GRAFICHE E LA PROGRAMMAZIONE GUIDATA DA EVENTI 369

La programmazione guidata da eventi 369

Che fatica aprire una finestra 371

WinMain: il punto di ingresso dell'applicazione 375

La struttura di una finestra 376

Un loop per i messaggi 377

Rispondiamo ai messaggi 377

Messaggi complessi 378

Le risorse indispensabili per un'applicazione 379

28. IL C, ARDUINO E L'INTERNET DELLE COSE 387

Arduino 389

Hardware e corrente elettrica 390
La programmazione software di Arduino 391
Un “salve, mondo” per Arduino 393
Costanti e variabili 395
Comunicazione seriale 397
Arduino e la prototipazione 400
Qualche cenno sui principi della corrente elettrica 402
LED, resistenze e caduta di tensione 403
Fritzing: un aiuto per la progettazione elettronica 409
Bluetooth + Arduino = IoT 410
Collegamento wireless: il modulo ESP8266 418
Hardware libero e sperimentazione 436

Introduzione

La programmazione è una forma d'arte, così come possono esserlo la pittura, il disegno o la scultura. Realizzare un programma rappresenta, infatti, un processo di vera e propria creazione di qualcosa che prende vita grazie al talento di un essere umano. Nel contesto informatico, il creatore in questione è identificato con differenti nomi: programmatore, sviluppatore o anche developer. Si tratta, in ogni caso, di uno "strano essere" dotato di capacità tecniche che gli consentono di istruire la macchina a realizzare determinate attività e funzionalità.

Questo testo vuole fornire gli strumenti di base per intraprendere il lungo viaggio che può portare chi è dotato di passione per le macchine a diventare un vero programmatore e quindi a dialogare con esse. Per farlo individua quelle che potrebbero essere definite "le chiavi della programmazione" nell'uso di due linguaggi che rappresentano elementi imprescindibili per un qualsiasi programmatore: C e C++.

La prima parte del testo è dedicata appunto al C e consente, anche a chi si avvicina per la prima volta alla programmazione, di realizzare programmi di media difficoltà. In questa prima parte vengono infatti forniti non solo i rudimenti della sintassi del linguaggio ma anche, passo dopo passo, le indicazioni sui costrutti fondamentali della programmazione e i concetti di base relativi alle strutture dati, sia di tipo semplice sia complesso.

La seconda parte del libro inizia, anche metaoricamente, nel punto in cui si ferma il linguaggio C in termini di potenza e di strumenti dati al programmatore.

Viene presentato il linguaggio C++ come logica e naturale conseguenza dei limiti del C, nella direzione di rendere possibile la creazione di programmi sempre più complessi e più facilmente manutenibili. In questa ottica si espongono i concetti che sono alla base della programmazione orientata agli oggetti e si illustra il loro uso nel contesto del C++.

L'ultimo capitolo introduce il lettore al fermento attuale relativo al mondo della programmazione delle schede per microcontroller e alla loro interconnessione con la rete Internet. Si tratta del fenomeno noto come l'Internet delle cose, in cui la programmazione software si sposa con hardware a bassissimo costo, producendo una miriade di innovativi strumenti che interagiscono con il mondo reale uscendo dal confine ristretto di quello che è un classico software per PC. È in questo contesto che il linguaggio C ruggisce ancora la sua potenza e attualità consentendo, a chi ne conosce i rudimenti, di accedere immediatamente all'ambiente di programmazione delle schede hardware in questione.

A tutti voi che mi seguirete nelle pagine successive: buon viaggio!

Struttura e contenuti del libro

Il testo è organizzato in due principali sezioni. La prima parte è introduttiva alla programmazione in linguaggio C, presentando i concetti di base dello sviluppo software: le strutture dati e gli algoritmi che operano su di esse. Vengono così forniti i concetti relativi a variabili e costanti e ai principali costrutti di programmazione (sequenza, selezione, ripetizione) con abbondanza di esempi stimolanti anche per il lettore già avvezzo a tali argomenti. La prima sezione si chiude con la presentazione della struttura dati struct del C quale esempio di modalità complessa di gestione di dati ponendo le basi per le successive discussioni relative alla creazione di nuovi tipi di dati e operatori.

Il Capitolo 1 vuole fornire una base sostanziale rispetto ai concetti generali dell'informatica con speciale attenzione relativa a tutto ciò che riguarda lo sviluppo software. Viene innanzitutto presentata la dicotomia analogico-digitale e quindi, rispetto al contesto digitale, si fornisce una panoramica essenziale, ma corposa, relativa alla logica binaria e alle tecniche di rappresentazione dei dati (ASCII e Unicode).

Vengono introdotti i concetti e le descrizioni di base riguardanti i principali dispositivi hardware e una panoramica del mondo del software sia in merito a una semplice classificazione tipologica sia rispetto a ciò che attiene alla commerciabilità del software stesso.

Si introduce dunque il lettore al mondo dei linguaggi con indicazioni relative alla traduzione del codice: interpretazione, compilazioni e linguaggi bytecode.

Il primo capitolo termina quindi, motivando la scelta del linguaggio C come elemento cardine per tutte le discussioni di tipo operativo che proseguiranno nel resto del libro, con una carrellata in merito ai principali ambienti di sviluppo utilizzabili per produrre codice con tale linguaggio.

Il Capitolo 2 introduce alla compilazione, passo dopo passo, del primo semplice programma C proponendo l'ambiente Bloodshed Dev-C++ come strumento principale da utilizzarsi per implementare tutti gli spunti di esempio e di esercizio proposti nella prima parte del testo. In ogni caso si presenta, per coerenza di contenuti e di discussione, anche l'ambiente Code::Blocks fornendo anche per questo secondo sistema le istruzioni di base per compilare un primo semplice programma C. Seppure il consiglio sia quello di utilizzare tale secondo ambiente di sviluppo per i contenuti della seconda parte del testo, relativi al linguaggio C++, nulla osta a sceglierlo come principale strumento sin dall'inizio. Tale scelta può essere obbligata nel caso si utilizzi una macchina del mondo Mac in quanto Dev-C++ è specifico per l'ambiente Windows. Il consiglio di utilizzare come primo ambiente proprio il Dev-C++ è motivato dalla maggiore semplicità d'uso dell'ambiente stesso, che consente di meglio concentrarsi sugli aspetti del linguaggio. In ogni caso il lettore più esperto potrà scegliere lo strumento di sviluppo che preferisce sin dall'inizio.

Nel Capitolo 3 vengono introdotti i fondamentali concetti di variabile, costante ed enumerazione presentandone le varie tipologie unitamente ai consigli per una scelta corretta per i loro nomi e modalità d'uso. Per farlo si introduce da subito il lettore all'input e output di base del linguaggio C. Iniziano già in tale capitolo una serie di suggerimenti di carattere generale che riguardano le buone pratiche di programmazione che, nel contesto specifico, sono relative all'usabilità dell'interfaccia utente.

Il Capitolo 4 presenta il concetto cardine di algoritmo e fornisce spunti di esercizio in merito a semplici problemi risolvibili con l'ausilio dei diagrammi di flusso. La necessità di realizzare delle operazioni sui dati è lo spunto per introdurre i principali operatori aritmetici e relazionali e la presentazione delle problematiche relative alla trasformazione di un dato da un certo tipo a un altro.

Il capitolo si chiude con l'introduzione degli operatori logici e quindi con una panoramica sull'algebra di Boole.

Il Capitolo 5 presenta i meccanismi relativi al debugging (verifica degli errori) delle applicazioni software sia in relazione all'ambiente Dev-C++ sia per l'ambiente Code::Blocks. Vengono così proposti i concetti di punto di interruzione (breakpoint) e sono poste sotto osservazione specifiche variabili utilizzando esempi concreti.

Nel Capitolo 6 vengono fornite indicazioni dettagliate, corredate da esempi d'uso, relative alle istruzioni condizionali per consentire la realizzazione di programmi con un livello di complessità maggiore rispetto agli esempi iniziali.

Il Capitolo 7 completa la presentazione degli strumenti fondamentali di programmazione introducendo il costrutto iterazione. Vengono messi a confronto i cicli for e while cercando di evidenziare al meglio il loro campo di applicazione. Si discute quindi di programmazione di tipo strutturato come superamento delle problematiche legate alla cosiddetta “spaghetti programming”.

Nei Capitoli 8 e 9 vengono introdotte le strutture dati di tipo complesso. Vengono così presentati gli array monodimensionali con una dettagliata panoramica sulle problematiche connesse al trattamento delle stringhe. Successivamente è il turno degli array bidimensionali, subito dopo i quali si coglie l'occasione per illustrare la possibilità di generare numeri casuali. In tal modo si rendono disponibili gli strumenti che consentono la realizzazione di programmi autonomi rispetto all'input del programmatore o dell'utente.

Il Capitolo 10 presenta il concetto di algoritmo notevole come esempio di risoluzione di problemi mediante metodologie consolidate nella letteratura e dalla pratica informatica. Vengono esaminati in dettaglio gli algoritmi di ordinamento selection sort e bubble sort con accenni a concetti di complessità computazionale.

Il Capitolo 11 prende in esame l'approccio alla programmazione software di tipo Top-Down introducendo concetti ed esempi reali relativi a procedure e funzioni. È il contesto giusto in cui possono essere definiti, quindi, diversi dettagli relativi ai concetti di visibilità e ciclo di vita delle variabili presentando inoltre le classi di memorizzazione esterne e statiche.

Nel Capitolo 12, ormai noto il concetto di funzione, se ne presenta una tipologia molto particolare: la funzione ricorsiva. Vengono così proposti concetti ed esempi relativi al calcolo del fattoriale e alle sequenze di Fibonacci.

Il Capitolo 13 presenta i puntatori, argomento per sua natura ostico. Data la particolarità del tema si cerca di motivarne il più possibile l'utilizzo analizzando prima i collegamenti tra puntatori e array, e facendo successivamente vedere quale sia il collegamento tra puntatori e funzioni, esaminando le chiamate per valore e per indirizzo delle funzioni stesse.

Il Capitolo 14 descrive la struttura dati struct del C motivandone l'uso come contenitore fondamentale per raggruppare dati di tipo complesso tra di essi omogenei. Tale capitolo rappresenta un punto di snodo: si iniziano a delineare i limiti dello sviluppo del software con il linguaggio C e l'approccio di tipo procedurale. Vengono così enfatizzati gli aspetti relativi al trattamento dei dati introducendo la parola chiave typedef per la definizioni di nuovi tipi e le strutture dati union e campi di bit.

Con il Capitolo 15 si chiude la prima sezione del libro focalizzata sugli elementi del C, facendo vedere come vengano gestiti i file utilizzando l'approccio proprio di tale linguaggio di programmazione.

Il Capitolo 16 apre dunque la seconda sezione del testo presentando sin da subito le prime discussioni critiche sull'approccio che utilizza il paradigma a oggetti nella programmazione software. Preparando il lettore per lo sviluppo di applicativi di sempre maggiore complessità si definiscono le problematiche proprie della corretta progettazione del software come momento fondamentale e preliminare alla scrittura del codice. Si introducono quindi i concetti di ciclo di vita nello sviluppo

software e di conseguenza vengono presentati gli ambiti propri dell'ingegneria del software. Il capitolo si chiude con una panoramica sulle modalità di versioning.

I Capitoli 17 e 18 introducono nel dettaglio la sintassi e l'approccio alla programmazione del linguaggio C++. In tale ambito si suggerisce l'utilizzo dell'ambiente di sviluppo Code::Blocks fornendone le specifiche d'uso di massima. Vengono da subito introdotti i concetti di spazio dei nomi delle variabili e si vede come queste possano variare la loro visibilità nei differenti blocchi di codice. Il Capitolo 18 è specifico e dettagliato rispetto alle funzionalità di input e output proprie del C++.

Il Capitolo 19 presenta finalmente i concetti di classe e oggetto. È un momento fondamentale nel quale si mostra come, a partire da una struct del C, si possa costruire un oggetto di programmazione inserendo al suo interno la possibilità di realizzare specifiche azioni con l'utilizzo di apposite funzioni. Si discute quindi di encapsulamento e occultamento dell'informazione e di come si possa di conseguenza comunicare con gli oggetti.

Il Capitolo 20 fornisce la sintassi per la gestione del ciclo di vita degli oggetti relativamente alla loro creazione e successiva distruzione. Il capitolo presenta inoltre le modalità per la cosiddetta compilazione separata, ovvero la possibilità di organizzare il proprio codice in differenti file, operazione indispensabile al crescere delle dimensioni dei propri programmi.

I Capitoli 21 e 22 completano la descrizione delle proprietà fondanti della programmazione orientata agli oggetti descrivendo polimorfismo ed ereditarietà. Infatti, il Capitolo 21 continua l'analisi delle caratteristiche degli oggetti fornendo dettagli sul polimorfismo, contrapponendolo al comportamento monomorfico delle funzioni C, relativamente alla tecnica dell'overloading. Il Capitolo 22, d'altra parte, introduce il concetto di ereditarietà e quindi la possibilità di riutilizzare al meglio il codice già scritto per ampliarlo adattandolo a nuove necessità. È in questo contesto che si presentano le classi virtuali e astratte.

Il Capitolo 23 presenta la programmazione generica e quindi l'uso dei template. Si illustra così come sia possibile realizzare un approccio alternativo al polimorfismo classico, usando funzioni e classi parametriche, nell'ottica di produrre un codice sorgente il più efficiente e generico possibile in merito alle aspettative del programmatore.

Nel Capitolo 24 si riprende la discussione già affrontata nel Capitolo 15 in relazione alla gestione dei file e degli archivi. In questo contesto si affronta però l'approccio usato dal linguaggio C++ mostrando una diversa metodologia per un comune problema e dando al contempo la possibilità di esplorare dettagli ulteriori della programmazione C++ e della libreria standard. Ancora una volta vengono fornite indicazioni dettagliate per la realizzazione di una piccola ma reale applicazione di gestione di un archivio di dati.

Il Capitolo 25 affronta le problematiche connesse alla gestione degli errori e propone gli strumenti messi a disposizione dal linguaggio C++ per prevenire e gestire al meglio le condizioni anomale nelle quali possono venire a trovarsi le nostre applicazioni. Viene così proposto il concetto relativo alle eccezioni e il costrutto try - catch per la loro corretta gestione.

Il Capitolo 26 torna sulle questioni attinenti alla gestione della memoria, focalizzando l'attenzione sulle corrette procedure da utilizzarsi per superare i vincoli imposti dalle dimensioni fisse richieste nella dichiarazione di variabili statiche automatiche. Si discute quindi di allocazione dinamica della memoria confrontando stack e heap e dando adeguati suggerimenti per evitare situazioni potenzialmente disastrose come i memory leaks.

Il Capitolo 27 chiude il viaggio attraverso la programmazione e nel C/C++ fornendo spunti relativamente alla realizzazione di applicazioni con interfaccia grafica. Alle tante possibili declinazioni relative alla creazione di applicazioni di tipo grafico si preferisce l'approccio basato sulle funzioni native di Windows. Tale scelta è sufficientemente generica da fornire la giusta panoramica per comprendere i fondamenti dello sviluppo di applicazioni grafiche utilizzando la metodologia nota come programmazione guidata da eventi.

Infine, il Capitolo 28, proprio di questa seconda edizione, presenta il contesto della programmazione delle schede per microcontroller e della loro interconnessione con la rete Internet. Si introducono i concetti di base relativi alla corrente elettrica e si presenta in dettaglio la scheda Arduino, sia dal punto di vista hardware che da quello software. Dopo aver mostrato le corrispondenze tra i linguaggi C e C++ con il contesto Wiring, proprio di Arduino, si sfruttano tali conoscenze per gestire la comunicazione seriale tra il PC e la scheda in questione. Viene inoltre introdotta e messa alla prova la tecnologia bluetooth per controllare Arduino attraverso un qualsiasi smartphone Android. In conclusione, si mostra come sia possibile comandare la scheda Arduino attraverso un collegamento di tipo Wi-Fi.

Materiale di supporto ed esempi

Il testo mantiene in tutta la sua organizzazione un approccio pratico e per questo scopo propone numerosi esempi di codice reale. Tale materiale è disponibile in formato digitale all'indirizzo:
www.tesseract.it/lechiavi.

Allo stesso indirizzo è possibile riferirsi per approfondimenti e novità relativi al libro e agli argomenti in esso trattati.

Ringraziamenti

È abitudine consolidata quella di inserire, all'inizio di ogni testo, dei ringraziamenti da parte dell'autore nei confronti di una serie di persone che hanno, in un modo o nell'altro, contribuito alla realizzazione del testo medesimo. Trovo tale consuetudine doverosa.

Ognuno di noi cresce, vive e si realizza attraverso le proprie azioni in conseguenza degli stimoli e del sostegno che riceve dalle persone che lo circondano. Cosicché ogni nostra realizzazione è in un certo modo un prodotto collettivo. Non sfugge a tale contesto il presente volume.

Questo lavoro non avrebbe infatti visto la luce senza il sostegno che ho ricevuto negli anni in primo luogo dalla mia famiglia. Essa è stata da sempre fucina di stimoli e propulsione per una crescita basata sulla critica costruttiva e l'interesse sempre meravigliato verso tutte le cose del mondo. Ringrazio così in particolare i miei genitori e i miei fratelli. Nello specifico un forte tributo alla mia dolce mamma Rosa per l'affetto incondizionato, per le gite in libreria quando ero bambino e, tra le tantissime altre cose, un grazie particolare per avermi comprato il mio primo vero computer, il mitico Sinclair QL.

Uno speciale abbraccio è poi dovuto a mio fratello Ermanno per il continuo appoggio e sostegno in tutto ciò che faccio.

A mia moglie va il riconoscimento per la sopportazione relativa al fatto di aver sposato un uomo con DNA digitale e la mia eterna gratitudine per la sua capacità di riuscire a completarmi. Ai miei figli, unitamente al mio non misurabile affetto, vanno le scuse per quelle volte in cui, per il troppo lavoro, li ho costretti alla mia assenza.

Questo libro deve molto ai miei amici, che hanno fatto da cavie nella lettura e nello studio delle bozze. Tra i tanti voglio ringraziare gli ingegneri Francesco Ambrosio, Stefano Ciaramella, Amedeo Lepore, Giuseppe Pica e in particolare Luigi Della Gala. Un ringraziamento speciale va poi al mio fraterno amico Roberto Frattin, brillante informatico del quale ho sempre apprezzato la capacità di schematizzare in forma grafica il mondo della matematica.

È spontaneo e sincero il riconoscimento che tributo agli ingegneri Fabrizio D'Aloia e Dario Pica che mi hanno onorato della loro fiducia relativamente alle mie competenze informatiche in questi anni di continue evoluzioni tecnologiche.

Un ringraziamento specifico in merito al presente volume è poi per tutti i miei innumerevoli alunni che hanno fatto sì che potessi migliorarmi nelle capacità comunicative e non perdessi mai la voglia di continuare a studiare e stare dalla parte di chi impara. Tra i tantissimi ai quali va la mia riconoscenza, voglio ricordarne alcuni in particolare: Antonio Esposito, Andrea Micco e Pietro Goglia. Inoltre, per questa seconda edizione, un meritato e sentito riconoscimento va a Umberto Covino, Assunto De Mizio e Mattia Simeone.

Sempre in merito a questa seconda edizione e al contesto squisitamente didattico, se il presente testo coglie, almeno in parte, gli intenti dell'autore in merito alla capacità comunicativa è di certo dovuto anche alle sollecitazioni, suggerimenti e proposte di vari colleghi. Tra i tanti cito, a parziale ma rappresentativo elenco, Angelo Pucillo, Antonio Inglese, Carmine De Gennaro, Anna Maria Marmorale, Angela Viola, Valentina Schibani, Clea Pastore, Liana Urciuoli, Assunta Leone, Rosanna Gravano, Franca Fagioli, Antonio Guadagno, Silvio Feleppa, Francesco Chiriaco.

Questo libro non avrebbe, tuttavia, visto la luce in questa forma senza l'appoggio e la

condivisione di intenti di Fabrizio Comolli e Marco Aleotti.

E infine, a tutti coloro i quali, anche qui non menzionati, che in un modo o nell'altro hanno incrociato positivamente la mia esistenza: un grazie dal profondo del cuore.

Carlo A. Mazzone

Parte 1

Il linguaggio C e i fondamenti della programmazione

Einstein ha argomentato che ci devono essere spiegazioni semplificate della natura, perché Dio non è capriccioso o arbitrario.

Tale fede non è di conforto al programmatore di software.

Frederick Phillips Brooks, Jr.

Premesse e motivazioni per unire la teoria e la pratica della programmazione

Gli smanettoni erediteranno la terra.

Karl Lehenbauer

La programmazione è senza ombra di dubbio un'attività pratica con una sensazionale radice di tipo teorico. Una volta da qualche parte ho letto quanto segue:

La differenza tra la teoria e la pratica è molto più grande in pratica che in teoria.

La frase che può sembrare in un primo momento solo un gioco di parole nasconde una profonda verità: quando si concretizza praticamente qualsiasi attività immaginata in precedenza sulla carta ci si scontra inevitabilmente con l'ostilità del mondo reale. Senza tener conto poi che in agguato esiste sempre un certo Murphy: "Se qualcosa può andare storto allora lo farà".

La **legge di Murphy** è un insieme di affermazioni ironiche molto note nel campo informatico e più in generale tecnico-scientifico. L'aspetto più noto della legge di Murphy si può riassumere nella seguente espressione: "Se qualcosa può andare storto allora lo farà" ("If anything can go wrong, it will").

Si tratta, come è evidente, di un modo per esorcizzare gli innumerevoli problemi tecnici che si verificano durante il proprio lavoro. Le origini di tale legge sono controverse. Murphy dovrebbe essere un ingegnere della U.S. Air Force che conducendo un esperimento non andato propriamente a buon fine addusse la responsabilità dell'accaduto a un suo assistente dicendo: "Se quel tipo ha una qualsiasi possibilità di fare un errore, lo farà" ("If that guy has any way of making a mistake, he will").

Ho usato il condizionale in quanto sembra non esserci nulla di certo nei personaggi "storici" coinvolti in questa storia. Di certo c'è, tuttavia, la notorietà planetaria di questa legge e le sue innumerevoli varianti sul tema.

Delle tante vi cito la seguente: "La probabilità che una fetta di pane imburrata cada dalla parte del burro verso il basso su un tappeto nuovo è proporzionale al valore di quel tappeto".

Ma ancora: "Ogni cosa che potrà andare storta lo farà, nel momento peggiore e nel peggior modo

possibile” (“Whatever can go wrong will go wrong, and at the worst possible time, in the worst possible way”).

Il senso di tutto quanto detto è che il mondo reale è un sistema costituito da una miriade di dettagli di cui si deve tener conto affinché gli oggetti che costruiamo si comportino secondo gli schemi teorici che abbiamo immaginato. Anche il più banale dei dettagli può far fallire miseramente progetti di grandi dimensioni: tempo fa una missione spaziale fallì a causa di una banale errata conversione tra unità di misura.

Quello che voglio dire è che se la teoria è un aspetto imprescindibile e fondamentale, essa deve essere accompagnata da una giusta dose di praticità sia per verificare la correttezza di quanto formulato teoricamente sia per comprendere meglio un dato aspetto del sistema in esame.

Questa prima sezione include un'introduzione agli aspetti fondanti della programmazione utilizzando come banco di prova il **linguaggio C**.

Tale linguaggio può risultare, nel contesto di questo nostro viaggio, di estrema utilità per comprendere diversi aspetti altrimenti sfuggenti relativi alla programmazione e più in generale alla comprensione del funzionamento dei sistemi di elaborazione. Da un lato esso ci permette di verificare concretamente cosa sia un linguaggio artificiale e dall'altro di sperimentare personalmente alcuni esempi e applicazioni al fine di comprenderli appieno. Nondimeno il fatto di verificare con i nostri occhi determinate realtà pratiche ci aiuta enormemente nel fissare certi ricordi utilizzando la memoria visiva, senz'altro di grandissima importanza.

Analogico versus digitale: la battaglia ormai persa

Anche chi ha solo sentito parlare di **analogico** e precisamente non sa di cosa si tratti può facilmente immaginare che il vincitore tra i due contendenti indicati nel titolo di questo paragrafo è chiaramente il digitale. Ciò deriva sicuramente, almeno in parte, dal fatto che il termine digitale sia ormai quasi onnipresente nella descrizione di qualsiasi nuova tecnologia. Basta considerare esempi banali e comuni, come quelli legati ai display che visualizzano il numero che abbiamo in una coda al banco salumi del supermercato sotto casa, ai CD musicali, all'elettronica per le autovetture fino ad arrivare alle attuali implementazioni di trasmissione dei segnali televisivi in “digitale terrestre”.

Forse il modo migliore per comprendere il significato e le implicazioni del termine digitale è fare riferimento alla traduzione dalla forma inglese da cui è derivato: **digit** = cifra (e più in generale numero).

Dunque **digitale** sta per numerico e di conseguenza ogni dispositivo digitale sfrutta i numeri per immagazzinare, elaborare, trasmettere e ricevere informazioni.

L'esempio più classico che normalmente si fa per descrivere la differenza tra dispositivi analogici e digitali è probabilmente quello dell'orologio.

Un orologio con lancette è analogico in quanto le sue lancette possono indicare uno qualsiasi degli infiniti punti che formano la circonferenza del quadrante. Tali punti non sono quindi numerabili.

Al contrario un orologio digitale mostra sul suo quadrante un numero limitato di valori. Più precisamente 86.400, vale a dire 24 ore x 60 minuti x 60 secondi.

allo stesso modo si può constatare la differenza tra un termometro digitale e uno analogico. Il primo mostra un numero intero corrispondente alla temperatura misurata; nel caso di due cifre avremo valori di temperatura distanziati da un solo grado (36° , 37° , 38°) con possibili valori intermedi approssimati al numero a due cifre più vicino. Nel secondo caso, con un termometro analogico, la precisione della lettura sarà affidata alla nostra capacità di leggere il livello di mercurio sulla scala graduata del termometro stesso; in ogni caso si tratta di infiniti valori.

È intuitivo che, convertendo un valore da analogico a digitale, si effettua inevitabilmente un'approssimazione del valore stesso. Tuttavia si ottengono in cambio enormi benefici, dovuti innanzitutto alla possibilità di trattare i numeri ottenuti in maniera molto più accurata, potendo trasmetterli, riceverli e rielaborarli in modo da controllare molto più facilmente possibili errori di trasmissione. Su di essi risulta inoltre molto più semplice effettuare trasformazioni e manipolazioni varie, affidandosi a strumenti software facilmente programmabili senza essere costretti a costruire, per ottenere le stesse trasformazioni, complicate apparecchiature elettroniche specificatamente dedicate allo scopo.

In principio era il bit

Un punto lo dovremmo dare per assodato: le macchine operano utilizzando rappresentazioni numeriche. Quando si parla di numeri, la prima cosa a cui pensiamo è una sequenza di cifre che vanno da 0 a 9 e tutta una serie di numeri che abbiamo in mente: il nostro numero di telefono, il nostro civico e così via. Tuttavia, in ogni caso, pensiamo ai numeri immaginandone dieci (cifre). E qui arriva il primo problema: le macchine, e con loro gli informatici, pensano ai numeri come sequenze di sole due cifre: 0 e 1. Mi viene in mente una frase che ho letto da qualche parte e che viene riportata, con qualche variante, anche su alcune simpatiche magliette:

Al mondo esistono solo 10 tipi di persone.

Quelli che capiscono l'informatica e quelli che non la capiscono.

È ovvio che, a una prima lettura, la frase può risultare errata. Infatti, la sequenza di cifre “10”, per la nostra consolidata abitudine nel gestire numeri decimali, è in palese contrasto con la suddivisione in due gruppi o tipologie di persone (quelli che conoscono l’informatica e quelli che non la conoscono). Riconosciamo infatti in quella sequenza di cifre il valore “dieci”.

Per comprendere appieno il “giochino” della frase in questione è necessario riflettere sul fatto che tutta la nostra comunicazione è basata su delle convenzioni. Se dico “casa”, è immediato per tutti visualizzare nella propria mente il concetto di abitazione, costruzione in muratura, cemento o quant’altro. Ad ogni modo l’immagine mentale che costruiamo è precisa. Ciò è ovviamente basato su di una convenzione: il fatto di associare all’etichetta “casa” un ben preciso oggetto. Se facciamo un salto indietro nel tempo possiamo addirittura ricordare i colorati cartelloni usati alle elementari con le classiche letterine, con una grande “C” e il disegno di una casetta.

Medesima situazione si verifica con i **sistemi di numerazione**: associamo a dei simboli un certo valore e dopo un po’ di esercizio siamo in grado di immaginare nella nostra mente una certa quantità di oggetti associata a un dato numero. Per ulteriore chiarezza si può pensare agli antichi romani, che per rappresentare il numero dieci avrebbero utilizzato il simbolo X.

Dopo queste precisazioni dovrebbe risultare chiaro che i simboli “10” della frase precedente non rappresentano il numero dieci ma qualcosa di diverso. Ci aspettiamo infatti che il loro valore sia il numero decimale 2 (due). Per capire come ciò sia possibile si può partire osservando come vengono costruiti i numeri decimali.

Consideriamo ad esempio il numero decimale 123; esso può essere scritto come:

$$123 = 100 + 20 + 3 = 1 * 10^2 + 2 * 10^1 + 3 * 10^0$$

ricordando che un qualsiasi numero elevato a 0 dà 1 e che usiamo il simbolo di asterisco per indicare la moltiplicazione. Come si nota, il valore delle cifre dipende dalla posizione occupata dalla cifra stessa all’interno del numero. Si va dalla destra (posizione meno significativa) alla sinistra (posizione più significativa). Il numero finale si ottiene sommando le singole cifre, ognuna di esse moltiplicate per 10 elevato alla posizione della cifra all’interno del numero (si parte dalla posizione zero). La **base** dieci (**sistema decimale**) dell’elevamento a potenza visto è proprio quello che determina il valore della cifra e il nome della tipologia di rappresentazione dei nostri numeri: **notazione posizionale pesata** (ogni cifra ha un peso in base alla posizione).

Per base si intende dunque il numero di cifre utilizzate per rappresentare i numeri nella specifica notazione.

Dovrebbe risultare ora chiaro che modificando la base della notazione possiamo ottenere nuovi modi di rappresentare i nostri numeri. Nello specifico del mondo del computer, e finalmente possiamo chiudere il cerchio, la base maggiormente utilizzata per la rappresentazione dei numeri è il due, da cui: **sistema binario**.

In definitiva, il sistema binario utilizza per la rappresentazione dei numeri solo due cifre: 0 e 1. La singola cifra binaria (che ribadisco può assumere il valore 0 oppure 1) prende il nome di **bit**, ovvero **binary digit** (dall'inglese "cifra binaria").

Il valore di un numero binario viene banalmente ottenuto con la stessa regola vista prima nel caso dei numeri decimali. Consideriamo ogni singola cifra e la moltiplichiamo per 2 (il valore della base) elevato al numero che rappresenta la posizione della cifra (partendo dalla posizione 0). Ognuno di questi prodotti verrà sommato per ottenere il valore finale. Facciamo allora un esempio chiarificatore con il numero binario "10" al fine di risolvere l'enigma della frase di cui sopra:

$$10 \text{ (in binario)} = 1 * 2^1 + 0 * 2^0 = 2 + 0 = 2 \text{ (in decimale)}$$

Come si può osservare, per evitare ambiguità ho dovuto specificare tra parentesi il sistema (binario o decimale) in cui ricade il numero specifico. È intuitivo che è un modo poco elegante e nondimeno scarsamente formale per risolvere l'ambiguità stessa. In generale quando vi è possibilità di confusione si usa porre al fianco del numero, come pedice, la base del sistema utilizzato (cioè, come già detto, il numero di cifre che utilizziamo per rappresentare il numero). Ad esempio:

$$10_2 \text{ oppure } 10_{10}$$

Nel primo caso si intende il numero binario "10", il cui valore in decimale è 2; nel secondo caso il numero è il familiare numero decimale 10 (dieci).

In linea del tutto generale possiamo immaginare di avere una serie di bit del tipo:

$$a_{N-1} \ a_{N-2} \ \dots \ a_2 \ a_1 \ a_0$$

dove N è un numero di nostra scelta che indica dunque di quanti bit è composto il nostro numero binario. Il loro valore decimale sarà allora dato dall'espressione:

$$a_{N-1} \cdot 2^{N-1} + a_{N-2} \cdot 2^{N-2} + \dots + a_2 \cdot 2^2 + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0$$

Tale espressione è in realtà del tutto generale in quanto si può facilmente sostituire al 2 la base della specifica notazione (ad esempio dieci nel caso del classico sistema decimale).

Quanti ne rappresento?

In varie circostanze può essere importante calcolare la grandezza del numero esprimibile utilizzando un dato numero di bit. Osservate che con un solo bit gli oggetti differenti che possono essere rappresentati sono ovviamente solo due (0 oppure 1). Con 2 bit gli oggetti differenti diventano 4 (00, 01, 10, 11) ovvero 2^2 . Con 3 bit le combinazioni sono 8 (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111) ovvero 2^3 .

È intuitivo verificare che con N bit a disposizione (dove N è un qualsiasi numero intero positivo) è possibile rappresentare 2^N (2 elevato ad N) diversi possibili oggetti (combinazioni di bit differenti tra di essi).

D'altra parte, invece, il numero massimo rappresentabile con N bit è dato da $2^N - 1$, dove -1 è giustificato dal fatto che bisogna escludere il numero iniziale zero.

Nibble e Byte

Di norma la gestione dei bit avviene in gruppi di un numero ben determinato. Quando si gestiscono insieme 4 bit si parla di **nibble**. Quando invece, come più comunemente avviene, si gestiscono gruppi di 8 bit si parla di **byte**. I multipli più comunemente utilizzati del byte sono i seguenti:

KB (o **kilobyte**) = 10^3 byte ovvero 1024 byte
MB (o **megabyte**) = 10^6 byte ovvero 1024 kilobyte
GB (o **gigabyte**) = 10^9 byte ovvero 1024 megabyte
TB (o **terabyte**) = 10^{12} byte ovvero 1024 gigabyte

Altre basi numeriche

Come visto, la base della notazione utilizzata, ovvero il numero di cifre utilizzate per comporre i nostri numeri, è l'elemento fondamentale da considerare nella rappresentazione dei numeri stessi. In informatica, oltre alla base 2, esistono altre basi comunemente utilizzate: base 8 e base 16.

È importante notare a questo punto che l'utilizzo di basi diverse da quella binaria è un modo utilizzato per presentare all'utente l'informazione immagazzinata all'interno della macchina in una maniera che sia per lui più intuitiva. Dovrebbe essere scontato comunque che la macchina al suo interno continuerà a gestire il tutto in forma binaria (0 e 1). Si parla, infatti, di **rappresentazione esterna dell'informazione** o anche **alfabeto esterno** in contrapposizione al cosiddetto **alfabeto interno**, appunto gli 0 e gli 1.

La base 8 genera una rappresentazione nota come **ottale**. Le cifre utilizzate vanno ovviamente da 0 a 7.

Tuttavia, per la rappresentazione esterna dei dati, la base più utilizzata è sicuramente la base 16. Essa genera una rappresentazione nota come **esadecimale** e fa uso delle seguenti cifre:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F

Dovrebbe essere abbastanza intuitivo che la lettera 'A' corrisponde al decimale 10, la 'B' al decimale 11 e così via fino alla lettera 'F' corrispondente al decimale 15. Per semplificarvi la visione di queste corrispondenze potete osservare la tabella seguente, dove sono elencati anche i corrispondenti valori binari:

Decimale	Binario	Esadecimale
0	0 0 0 0	0
1	0 0 0 1	1
2	0 0 1 0	2
3	0 0 1 1	3
4	0 1 0 0	4
5	0 1 0 1	5
6	0 1 1 0	6
7	0 1 1 1	7
8	1 0 0 0	8
9	1 0 0 1	9
10	1 0 1 0	A
11	1 0 1 1	B
12	1 1 0 0	C
13	1 1 0 1	D
14	1 1 1 0	E
15	1 1 1 1	F

Il successo della notazione in base 16 è sicuramente dato dalla semplicità con cui è possibile trasformare un numero binario in esadecimale e viceversa. Infatti, per trasformare un numero binario nel suo corrispettivo in esadecimale è sufficiente raggruppare, partendo da destra, in gruppi di quattro cifre, i vari bit del numero binario e convertire ogni gruppo nel corrispondente

esadecimale. Un esempio chiarirà la semplicissima operazione:

$$1011110101_2 = 10\ 1111\ 0101 = 2F5_{16}$$

Analogamente si procede al contrario per ottenere il binario dato il numero esadecimale.
Ad esempio:

$$A3F_{16} = 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1$$

ovvero si prende ogni singola cifra esadecimale e si scrive al suo posto il corrispondente valore binario.

Rappresentazione dei dati alfanumerici

Finora abbiamo parlato solo di numeri. Se tuttavia le macchine si trovano perfettamente a loro agio nella gestione dei numeri, sicuramente non altrettanto vale per gli esseri umani. Pensate solo alle volte in cui avete sentito la frase “io non sono portato per la matematica” e traete voi stessi le conclusioni. È noto a tutti che il nostro alfabeto è costituito da una serie di caratteri con i quali costruiamo le nostre parole. Per risolvere il problema della rappresentazione di tali caratteri gli informatici hanno creato una semplice tabella di corrispondenza tra i numeri (binari), che le macchine possono facilmente masticare, e i caratteri stessi.

Il codice ASCII

Il più noto e utilizzato standard (dobbiamo essere tutti d'accordo sul metodo di rappresentazione) di codifica dei caratteri e, più in generale, dei simboli, è noto come **codice ASCII**, “American Standard Code for Information Interchange”, ovvero “standard americano per lo scambio di informazioni”. Notate che a rigore dovrebbe essere pronunciato come “aschi”. Esso è un sistema di codifica dei caratteri inizialmente basato su 7 bit, al quale **Bob Bemer**, un ingegnere dell'IBM, ha dato il maggior impulso tanto da essere considerato il “padre” del codice ASCII.

Come successiva implementazione si è passati a un sistema a 8 bit. In tal modo si raddoppia il numero di caratteri disponibili per un totale di 256 elementi differenti, potendo quindi rappresentare simboli di uso meno comune. Tale numero è dato dalla formuletta che abbiamo visto in precedenza per il calcolo del massimo numero rappresentabile con N bit. In questo caso N è pari a 8 e quindi abbiamo 2^8 uguale a 256. Se non altro prendiamo coscienza del fatto che le cose che impariamo ci tornano utili.

Non tutte le rappresentazioni di bit hanno come controparte un classico simbolo come una lettera a una cifra. Alcuni di essi, come ad esempio i codici corrispondenti ai numeri decimali da 0 a 31 e il 127, sono caratteri non stampabili usati come **codici di controllo** come, a puro titolo di esempio, per indicare la fine di una trasmissione di dati.

Il codice Unicode

Come si può facilmente intuire, i soli 256 simboli del codice ASCII non sono affatto sufficienti per rappresentare i caratteri degli alfabeti delle varie lingue presenti sul nostro pianeta. Si è resa quindi necessaria l'adozione di un altro sistema di codifica: **Unicode**.

Unicode si basa sulla codifica ASCII, andando tuttavia oltre la limitazione dell'alfabeto latino potendo codificare i caratteri utilizzati da tutte le lingue del mondo.

Infatti, seppur originariamente basato su di una codifica a 16 bit con possibilità di codificare al più 65.536 caratteri, ora invece è estendibile fino a poterne rappresentare circa un milione. Per la serie: almeno per un po' non avremo problemi di spazio di rappresentazione.

Hardware e software

Un sistemista, mio collega qualche anno fa in un Internet Service Provider, ripeteva spesso questa frase: “Giusto per non saper né leggere né scrivere questo controllo lo faccio”. Per chi non avesse capito è un modo per dire “anche se la cosa è (può sembrare) scontata è meglio, sempre e comunque, stare attenti”.

In questo contesto, seppur dovreste essere tutti a conoscenza delle caratteristiche generali e delle differenze tra hardware e software, così come quelle relative ai vari dispositivi di input e output, è forse bene spendere comunque qualche parola in proposito.

Hardware

Per **hardware** (letteralmente “ferramenta”) si intendono tutti i dispositivi fisici di un elaboratore. Tutto ciò che è possibile vedere e toccare del nostro sistema: tastiera, monitor, stampante, pennetta USB sono identificabili come hardware. L’elemento centrale di un tipico sistema di elaborazione è senza dubbio il **case**, noto anche come **cabinet** oppure **chassis**, ovvero il contenitore metallico all’interno del quale sono collocati i principali elementi costitutivi del nostro sistema di calcolo.

Ovviamente tale case deve poter comunicare con il suo utilizzatore. Per tale scopo vengono utilizzati una serie di dispositivi noti anche con il termine di **periferiche**. Tali congegni vengono di norma classificati in dispositivi di input (ingresso) e dispositivi di output (uscita).

I **dispositivi di input** sono tutte quelle periferiche che consentono l’ingresso dei dati all’interno dell’elaboratore: mouse e tastiera sono tra i più classici.

I **dispositivi di output** hanno il compito inverso rispetto a quelli di input: sono tutte quelle periferiche che consentono la comunicazione dei dati verso l’esterno dell’elaboratore: monitor e stampante credo rappresentino un esempio più che illuminante, avendo l’onere di trasferire i dati dell’elaborazione dalla macchina verso l’esterno e quindi di norma verso l’utente.

Intuitivamente si riconoscono dei **dispositivi ibridi** (quali ad esempio i supporti di memorizzazione come i dischi fissi) che sono sia di input che di output, così come i nuovi dispositivi di tipo **touch**, spesso di tipo **tablet**, che integrano contemporaneamente monitor e possibilità di input.

Organizzazione generale di un sistema di elaborazione

Il compito fondamentale del sistema è di eseguire una serie di istruzioni che soddisfino determinate nostre richieste. Una specifica sequenza di tali istruzioni codificate in modo tale da essere eseguite dalla macchina, come già lasciato intendere, prende il nome di programma o **software**.

Lo schema classico di costruzione di un sistema di elaborazione prende il nome di **architettura di Von Neumann** (o **macchina di Von Neumann**). L’idea di base di questo sistema, che prende appunto il nome dal suo ideatore, prevede che il programma, cioè le istruzioni da far eseguire alla macchina unitamente ai dati sui quali deve lavorare, sia presente nella memoria del calcolatore. Von Neumann fu il primo a intuire le potenzialità di avere le istruzioni direttamente in memoria. Come vedremo a breve, per memoria si intende un dispositivo hardware in grado di

immagazzinare dei dati.

Chi provvede a eseguire effettivamente le istruzioni è un dispositivo che prende il nome di CPU (Central Processing Unit). I dati da elaborare e i risultati dell'elaborazione vengono gestiti da unità di ingresso e uscita (dette anche di I/O ovvero Input/Output). Le varie parti del sistema sono collegate attraverso un canale di comunicazione noto come **BUS**.

La CPU

La **CPU (Central Processing Unit)**, nota anche **microprocessore**, rappresenta, come già detto, l'elemento che effettivamente esegue le istruzioni dei nostri programmi. Per tale motivo essa è spesso considerata il cuore o il cervello del computer (a seconda della maggiore importanza reciproca che si attribuisce a questi due organi). Il senso è che la CPU rappresenta il punto centrale dell'intero elaboratore e le sue caratteristiche sono i parametri principali ai quali si guarda per definire la "potenza" dell'elaboratore stesso.

Fisicamente si tratta di un circuito elettronico estremamente sofisticato prodotto attualmente da poche aziende specializzate. Probabilmente la più nota tra tali aziende è **Intel**.

Semplificando al massimo l'organizzazione interna della CPU possiamo individuare due componenti principali: ALU e CU.

La **ALU (Arithmetic Logic Unit)** è una sezione della CPU dedicata allo svolgimento di operazioni appunto aritmetiche come addizione, sottrazione e in alcuni casi moltiplicazioni e divisioni. Inoltre svolge operazioni logiche binarie come AND, NOT, OR e XOR (che vedremo più avanti). Ancora, svolge operazioni di shifting (spostamento) o rotazione di sequenze di bit.

La **CU (Control Unit)** è la sezione che si preoccupa della lettura ed esecuzione delle istruzioni.

La memoria

Come già accennato, per **memoria** si intende un dispositivo hardware in grado di immagazzinare dei dati. Fondamentalmente un calcolatore dispone di due tipi differenti di memorie, che vengono classificate come **memoria principale** (o **memoria centrale**) e **memoria secondaria**, le cui implementazioni pratiche vengono anche definite con l'appellativo di **dispositivi di memorizzazione di massa**.

Il tipo più importante di memoria principale è la memoria **RAM (Random Access Memory)**, ovvero memoria ad accesso casuale. Il nome è giustificato dal fatto che l'accesso di un dato da questo tipo di memoria può avvenire in maniera diretta e immediata indipendentemente dalla posizione del dato stesso all'interno della memoria (all'inizio o nella parte finale che sia).

Un'altra caratteristica importante della RAM è che essa è di **tipo volatile**, cioè il suo contenuto va perso in assenza di alimentazione elettrica. Questo è il motivo per cui i programmi vengono salvati sui dispositivi di memorizza di massa (hard disk e similari).

In un computer è presente comunque un altro tipo di memoria, la memoria **ROM (Read Only Memory)**, anch'essa di norma classificata come appartenente alla memoria principale. Si tratta di dispositivi che riescono a conservare i dati anche in assenza di alimentazione e per tale motivo vengono utilizzati per contenere i dati fondamentali relativi all'accesso all'hardware del sistema. Tra questi la tipologia più importante è data dal **BIOS** (Basic Input Output System).

Un’ulteriore tipologia di memoria è rappresentata dalla cosiddetta **memoria cache** o più semplicemente **cache**. Si tratta di un tipo di memoria molto veloce e costosa utilizzata per immagazzinare (cache significa “nascondiglio”) i dati che il sistema si presume dovrà utilizzare di frequente.

I vari dispositivi di memorizzazione come gli hard disk (detti anche dischi fissi o dischi rigidi), le penne USB e i vari CD o DVD riscrivibili hanno la capacità di subire una fase di scrittura (output) così come una fase di lettura dei dati (input) e sono quindi di tipo ibrido.

Come già detto, questi dispositivi prendono il nome di sistemi di memorizzazione di massa e vengono anche definiti con il termine di memoria secondaria per distinguerli dalla cosiddetta memoria principale (RAM, ROM e cache).

Firmware: questo sconosciuto

Altra lezione di vita: le cose del mondo non sono mai tutte nere o tutte bianche; il colore predominante è il grigio. Esiste, infatti, un livello particolare di “software-hardware” denominato firmware. Il **firmware** è un particolare software installato nell’hardware direttamente dalla casa produttrice (firm in inglese significa “azienda”) e che ha il compito di pilotare a bassissimo livello l’hardware stesso.

Nella categoria del firmware ricade ad esempio il già citato BIOS, un particolare tipo di software preinstallato nella macchina che serve a gestire il processo di partenza o inizializzazione della macchina stessa nel momento in cui la accendiamo.

Tale fase, nota con il termine di **bootstrap**, ha il compito di verificare il funzionamento dei vari dispositivi hardware e predisporre la macchina al successivo caricamento del sistema operativo (ad esempio Windows). Visivamente tale processo si estrinseca con la serie di voci di testo che è possibile notare quando appunto accendiamo la macchina e che indicano il tipo di processore utilizzato, la quantità di RAM installata e altre varie amenità. Nello specifico questa fase prende il nome di **POST** (Power On Self Test), ovvero autodiagnosi all’avvio.

Il software

Il **software** è ovviamente l’insieme dei programmi e dei dati che in generale costituiscono il carburante e il motore stesso della macchina. Senza software un PC sarebbe un’inutile scatola di metallo, plastica e quant’altro. Microsoft Windows, Microsoft Word piuttosto che il fantastico videogioco Halo sono banali esempi di software.

Come quasi ogni elemento al mondo, anche il software ha le sue inevitabili classificazioni. Infatti, esso viene di norma differenziato in software di base e software applicativo.

Il **software di base** è costituito da programmi (o insiemi di programmi) di enorme rilievo (ma d’altronde lo dice la parola stessa: è di base). In questa sottocategoria rientrano, ad esempio, i **Sistemi Operativi (software di sistema)**, programmi di utilità varia (detti anche **tools**) associati al sistema operativo (compressione dati, manutenzione del sistema ecc.) e infine gli **ambienti di sviluppo** (ovvero programmi per creare altri programmi) con di riflesso i relativi linguaggi di programmazione.

Nella categoria del **software applicativo** rientrano tutti i programmi di norma utilizzati

dall'utente finale. Word, Excel, un programma di fotoritocco; sono tutti esempi di software appartenenti a questa categoria. Software specifici per problemi specifici.

Relativamente alla specificità del software è possibile effettuare un'ulteriore distinzione tra **software di tipo orizzontale** e **software di tipo verticale**.

Quelli di tipo orizzontale hanno scarsa specificità e sono quindi rivolti a un'utenza molto vasta: un editor di testi oppure un software di contabilità generale sono esempi classici ricadenti in tale categoria.

I software di tipo verticale al contrario sono fortemente “tipizzati”. Essi sono rivolti a ben specifiche tipologie di utenti: un software per la manutenzione della segnaletica stradale, uno per il controllo di una centrale termoelettrica, piuttosto che un software per il controllo del traffico aereo oppure uno per il supporto al calcolo per costruzioni critiche in zone sismiche sono tutti esempi di software verticali.

I Sistemi Operativi

I Sistemi Operativi nell'ambito del software di base fanno la parte del leone. Ciò è tanto vero che spesso software di base e sistemi operativi vengono considerati addirittura sinonimi. Essi sono gli intermediari tra le funzionalità dei programmi generici, gli applicativi, e l'hardware sottostante.

Le varie versioni di **Microsoft Windows**: 95, 98, 2000, XP, Vista, 7, 8, 10, sono tutti sistemi operativi (sicuramente i più conosciuti). Sempre per rimanere nel contesto Microsoft è importante citare l'ormai obsoleto, ma comunque in qualche modo presente, **MS-DOS** (o più semplicemente **DOS**). Ma altri ne esistono e sono di enorme importanza: **Unix** e **Linux**, per citare forse i più importanti, ma ancora **Android** e **iOS** nel settore mobile. Tutti questi hanno fondamentalmente lo stesso compito: evitare che i vari programmi applicativi debbano preoccuparsi degli innumerevoli dettagli “di basso livello” relativi all'hardware.

La questione è presto spiegata. Un applicativo qualsiasi, ad esempio Microsoft Word, deve poter accedere all'hardware del sistema; per leggere o scrivere un file su disco deve poter accedere al disco stesso. Ovviamente, ogni disco ha le sue specifiche caratteristiche fisiche. A tal proposito pensate alla differenza tra un disco fisso e un cd-rom. In questa ottica, senza l'intermediazione del sistema operativo la costruzione di un applicativo da parte di uno sviluppatore risulterebbe essere un'opera titanica. Ciò che fa l'applicativo è di limitarsi alla chiamata di una funzionalità messa a disposizione dal sistema operativo (nota come **system call**) con la quale delega il sistema operativo stesso ad eseguire l'accesso all'hardware per suo conto.

Schematizzando al massimo l'organizzazione di un sistema operativo, esso può essere visto essenzialmente come composto da due principali sezioni: una denominata **kernel** (nucleo), che è quella a più stretto contatto con l'hardware della macchina, e un'altra denominata **shell** (guscio), più vicina all'utente, tanto da essere nota anche con il termine di **interfaccia utente**. La shell, infatti, si preoccupa di intercettare le richieste dell'utente e di passarle agli strati più interni del sistema operativo per esaudire le richieste dell'utente stesso.

Schematizzando ulteriormente quest'ultimo aspetto si può dire che l'interfaccia utente può essere di due tipi fondamentali: **interfaccia grafica** oppure **interfaccia testuale**.

L'interfaccia grafica è ormai familiare per chiunque usi un Personal Computer oppure un

qualsiasi tablet o smartphone. Essa, infatti, è l'insieme delle icone e delle voci, selezionabili normalmente attraverso l'utilizzo del mouse o con il tocco delle dita, che consentono le normali operazioni di lancio di programmi, copia di file e similari. Viene spesso anche definita come **GUI** ovvero **Graphical User Interface** (appunto interfaccia grafica per l'utente).

L'interfaccia testuale, ormai ahimè sconosciuta ai più, è un metodo alternativo, ma se conosciuto di enorme e superiore potenza, per lanciare comandi e programmi sul sistema digitando il testo appropriato per il comando specifico. Ad esempio, per visualizzare la lista di determinati file su di una macchina Windows, è sufficiente scrivere il comando "DIR" in un'apposita finestra nota come **Prompt dei comandi**, battere il tasto "Invio" ottenendo un risultato analogo (ma in semplice testo e senza icone) all'elenco visibile aprendo con l'interfaccia grafica la cartella "Documenti".

Software e commerciabilità

Il software, seppur "impalpabile", è un bene di consumo a tutti gli effetti. Questa considerazione sfugge ai più. Molti, infatti, ritengono degni di essere acquistati con denaro contante solo i beni hardware, probabilmente perché dotati di fisicità. D'altra parte questa considerazione può forse aiutare a spiegare il fenomeno del **software contraffatto** (le cosiddette copie pirata o "craccate"). In realtà, attualmente il costo effettivo del software supera abbondantemente quello dell'hardware.

Un'altra considerazione che ritengo degna di nota è relativa al fatto che il software, in linea del tutto generale, non viene venduto ma piuttosto dato in licenza. Per comprendere questo aspetto basta pensare al fatto che se effettivamente il software venisse venduto all'utente finale, quest'ultimo potrebbe farne delle copie e quindi rivenderlo a sua volta. Ovviamente questo non è di norma possibile. Ciò che l'utente ottiene in cambio del denaro è una **licenza d'uso** del software stesso. È la licenza a definire diritti e limitazioni dell'utente nei confronti del software acquistato (ad esempio la possibilità di utilizzare il software solo su di un singolo computer per volta).

Tuttavia non esistono solo software a pagamento. Infatti, oltre a questo tipo di software, spesso indicato come **software commerciale** o **software proprietario**, esistono altre differenti categorie.

La categoria di software più vicina al software proprietario è lo shareware.

Un **software shareware** è un tipo di software proprietario che viene distribuito liberamente, normalmente tramite Internet, e che è di solito una versione con una **scadenza temporale**. Spesso dopo qualche decina di giorni di utilizzo il programma in questione smette completamente di funzionare oppure, tramite un'apposita finestra visualizzata al lancio dell'applicazione (finestra nota come **Nag Screen**), invita l'utente ad acquistare il software in questione. Si tratta, in definitiva, di un software da provare per verificarne l'utilità al fine di effettuare un acquisto consapevole.

In altri casi, un programma di tipo shareware, pur non avendo un limite di tempo e di numero di utilizzi ha invece una serie di limitazioni nelle possibilità d'uso. Potrebbe essere impedito il salvataggio del proprio lavoro in un file oppure, solo per fare un esempio, nel caso di un programma che produce immagini, a queste potrebbe essere sovrapposta una grande scritta che segnala il fatto che si tratta di software di prova e quindi non licenziato. Ovviamente dopo

l'acquisto tali limitazioni vengono rimosse. Il più delle volte la procedura prevede, dopo l'acquisto (di norma realizzato tramite Internet), l'invio di una serie di "codici di sblocco" atti ad abilitare le totali funzionalità del software stesso.

Generalmente il software di tipo shareware include programmi le cui licenze hanno costi abbastanza contenuti (normalmente qualche decina di euro) ma altrettanto spesso risultano essere di buona qualità. Su Internet i software di tipo shareware vengono anche definiti come **demoware**, oppure più spesso come **trialware**. In realtà, a voler essere pignoli, qualche seppur piccola differenza tra le tipologie demo, trial e shareware esiste. In generale una demo è un software sicuramente limitato nelle funzionalità (viene distribuito a puro titolo dimostrativo) mentre una versione trial di norma contiene tutte le funzionalità al fine appunto di rendere possibile la trial (prova) del software.

In ogni caso è spesso difficile riuscire a identificare queste piccole differenze e, in linea generale, le tipologie in oggetto possono essere considerate del tutto simili. A rafforzare questa considerazione c'è da osservare come le licenze indicate a questo tipo di software siano specifiche per ogni software e che ogni **software house** (azienda produttrice di software) o il singolo sviluppatore rilascino licenze "personalizzate". È dunque importante leggere con attenzione le singole licenze prima di procedere all'acquisto al fine di evitare spiacevoli sorprese. Ad esempio potrebbe capitare di immaginare di poter installare il software acquistato su differenti macchine quando la licenza indica, tra le righe, che essa è invece vincolata a una singola installazione.

Altre tipologie di software

Le tipologie di software che vi ho presentato fino a questo punto, come già detto, rientrano nella classificazione di software commerciale. Tuttavia, oltre a questa categoria, esiste una vera e propria "galassia" di **software non commerciali**, di norma identificati con il termine di **software liberi** o anche **Open Source** (codice a sorgente aperto) e ancora **software gratuiti**. In realtà software libero e open source non sono perfettamente sinonimi. L'essere open source per un software significa dare la possibilità all'utente di poter osservare, ed eventualmente modificare, il software stesso e rappresenta quindi un prerequisito per il software libero. Il termine software libero, invece, serve a esaltare il concetto relativo alla libertà di usare il software: eseguirlo per qualsiasi scopo, distribuirlo in un numero qualsiasi di copie ecc. Ma ciò non riguarda la questione del prezzo: non viene impedito di guadagnare economicamente dall'eventuale distribuzione di tale software.

Di seguito cerco di chiarire alcuni degli aspetti fondamentali rispetto a tali categorizzazioni, limitandomi a citare i nomi e gli elementi più significativi. Infatti, le licenze relative ai software non commerciali sono, inaspettatamente per un "profano", davvero tantissime.

Un primo termine che è facile incontrare nel contesto del software libero è PD. L'acronimo si riferisce al software di tipo **Public Domain** (in italiano di **Pubblico Dominio**). Si tratta di software rilasciato senza alcuna licenza specifica e quindi non coperto da copyright. L'autore rinuncia a qualsiasi tipo di diritto sul software in questione.

- **Software freeware** è un altro appellativo che si riferisce in generale a software gratuito (free in questo caso sta appunto per gratuito). Ma bisogna fare molta

attenzione a non usare questo termine come sinonimo di **free software**. In quest'ultimo caso, infatti, il termine free sta a indicare libero e quindi, free software significa **software libero**.

Altri termini e relative tipologie di software che si incontrano facilmente sono:

- **Adware**: si tratta di un software che viene distribuito a titolo gratuito ma che contiene varie forme di pubblicità (la “Ad” iniziale del nome è la contrazione di advertising, ovvero pubblicità). Sono programmi da utilizzare con una certa attenzione, in quanto in alcuni casi possono nascondere delle funzionalità pericolose per la privacy dell’utente.
- **Donationware**: in questo contesto l’autore richiede una donazione facoltativa per l’utilizzo del software (a volte anche in favore di terzi, enti benefici o similari). Essendo la donazione non obbligatoria, tale software può ricadere nell’ambito del freeware.
- **Abandonware**: si tratta di software ormai obsoleti e non più appetibili dal punto di vista commerciale per le aziende che li avevano prodotti. Spesso vengono rilasciati gratuitamente con scopo pubblicitario per invogliare all’acquisto di nuove versioni del pacchetto in questione.

Un ultimo nome, proposto dall’autore stesso, per un’altra tipologia di software, è vivariumware.

- **Vivariumware** è un neologismo che nasce con l’intento di dare una collocazione tipologica alle applicazioni nate in ambito sperimentale e didattico. Il termine è l’unione delle parole **vivarium**, dall’inglese (di derivazione latina) con significato di “vivaio”, e dalla arcaica parola **ware** che, sempre dall’inglese, ha il significato di materiale. Si tratta, dunque, di materiale da vivaio; ovvero progetti nati con lo scopo di insegnare un determinato contesto tecnologico che possono tuttavia essere i semi di futuri sviluppi. Ci si riferisce quindi al lavoro prodotto da gruppi di persone (principalmente ragazzi e di norma in ambito scolastico come esercitazione all’uso delle tecnologie informatiche) che si avvicinano alla produzione di pagine per Internet, così come ai linguaggi di programmazione. Tra i tanti progetti realizzati possono di sicuro anche nascere germogli di creatività e innovazione.

Linguaggi naturali e artificiali

Comunicare è essenziale. Comunicare significa trasmettere informazione. Si tratta di un processo che utilizziamo ogni giorno per interagire con il mondo che ci circonda. Qualunque sia la forma di comunicazione che utilizziamo: scritta, parlata, elettronica, cartacea tradizionale o qualunque altra cosa vi venga in mente, alla base di essa vi è un linguaggio.

In generale, un **linguaggio** può essere visto come costituito da un insieme di **simboli** organizzati in modo da costituire **parole**. A ogni parola è associato un oggetto o più in generale un concetto. L'insieme di tutte le parole di un linguaggio prende il nome di **lessico**. Si tratta in buona sostanza del **dizionario** del linguaggio in questione.

Facciamo un banale esempio: nella lingua italiana i simboli elementari sono le lettere dell'alfabeto, dalla 'a' alla 'z'. Combinando in vario modo tali lettere otteniamo le parole del linguaggio: da "abaco" a "zuzzurellone", costruiamo il lessico della nostra lingua.

Tuttavia le parole da sole non sono sufficienti a realizzare un linguaggio. Abbiamo bisogno di una serie di **regole grammaticali** che stabiliscano come le parole debbano essere legate tra di esse. Tali regole prendono il nome di **sintassi** del linguaggio.

Una qualsiasi proposizione (frase) del linguaggio deve contenere una certa quantità di informazioni. L'insieme delle regole che consentono di dare significato al linguaggio prende il nome di **semantica**.

I linguaggi utilizzati per comunicare tra esseri umani prendono il nome di **linguaggi naturali**; banalmente, in questa categoria rientrano la lingua italiana, la lingua inglese, il giapponese e tutte le altre lingue che vi vengono in mente.

Ma come facciamo a comunicare con le macchine? Se è difficile, a volte, farsi capire da un umano utilizzando la sua stessa lingua (linguaggio naturale), figuriamoci come può essere complicato utilizzare il linguaggio naturale con il nostro PC.

NOTA

In questo contesto ignorano volutamente ciò che attiene alle problematiche relative al riconoscimento vocale.

Sin dagli albori dell'informatica sono stati sviluppati tutta una serie di linguaggi specifici per comunicare le istruzioni da far eseguire alle macchine: tali linguaggi nel loro complesso prendono il nome di **linguaggi artificiali** (o anche **linguaggi formali**).

I programmi traduttori

Il punto iniziale e finale della comunicazione tra due esseri umani è il cervello. Con questo voglio dire che l'informazione da trasmettere proviene da un concetto, un pensiero partorito dalla mente di chi parla e che deve raggiungere il cervello di chi ascolta. Il cervello del "mittente" provvede a pilotare l'apparato vocale per creare un flusso di suoni (le parole) che raggiungeranno l'apparato uditivo del destinatario della comunicazione. Sarà infine il cervello del destinatario a separare i singoli suoni per ricostruire le parole (e quindi poi il significato) relativo al messaggio originario.

È ovvio che in questo contesto non ci soffermiamo sulle dinamiche di funzionamento del cervello umano. Tutta questa introduzione mi serviva per porre l'accento sul concetto di cervello, e quindi del suo "omologo" nel campo dei linguaggi artificiali e quindi delle macchine.

Ebbene, il cervello dei calcolatori elettronici, per quanto complessi questi possano essere, si basa sulla logica binaria (gli ormai noti valori 0 e 1). Ciò significa che le istruzioni e i comandi che il cervello delle macchine può gestire sono sequenze di bit. A ogni sequenza di bit corrisponde un'azione elementare che tale cervello, la **CPU**, può eseguire.

Operazioni classiche possono essere, ad esempio, la lettura di un elemento specifico dalla memoria del PC, la scrittura in memoria di un dato valore, la somma tra due valori ecc.

L'insieme di tutte le istruzioni elementari che la CPU può gestire, unitamente alle regole impiegate per il loro utilizzo, prende il nome di **linguaggio macchina**.

Una tipica istruzione in linguaggio macchina è composta da due parti: la prima, che prende il nome di **codice operativo**, indica il tipo di azione che deve essere effettuata e una eventuale seconda parte che contiene uno o più operandi. Tali **operandi** specificano le celle di memoria sulle quali effettuare l'operazione (istruzione) indicata dal codice operativo.

Come ho già detto, il tutto è espresso attraverso una sequenza di cifre binarie.

È facile comprendere quale debba essere la difficoltà dal punto di vista del programmatore umano che deve comunicare con la macchina utilizzando sequenze di 0 e di 1. In effetti, agli albori dell'informatica, le cose procedevano proprio in questo modo.

Per rendere più evidente tale difficoltà vi basterà immaginare che una tipica istruzione in linguaggio macchina è qualcosa del tipo:

0100 0000 0000 1001

Il primo passo compiuto per semplificare tale comunicazione fu quello di associare dei **codici mnemonici** alle sequenze di bit rappresentanti le istruzioni del linguaggio macchina.

Il linguaggio che ne derivò prese il nome di **linguaggio assembly**.

La precedente istruzione, convertita nel linguaggio diventa allora qualcosa di più comprensibile come la seguente:

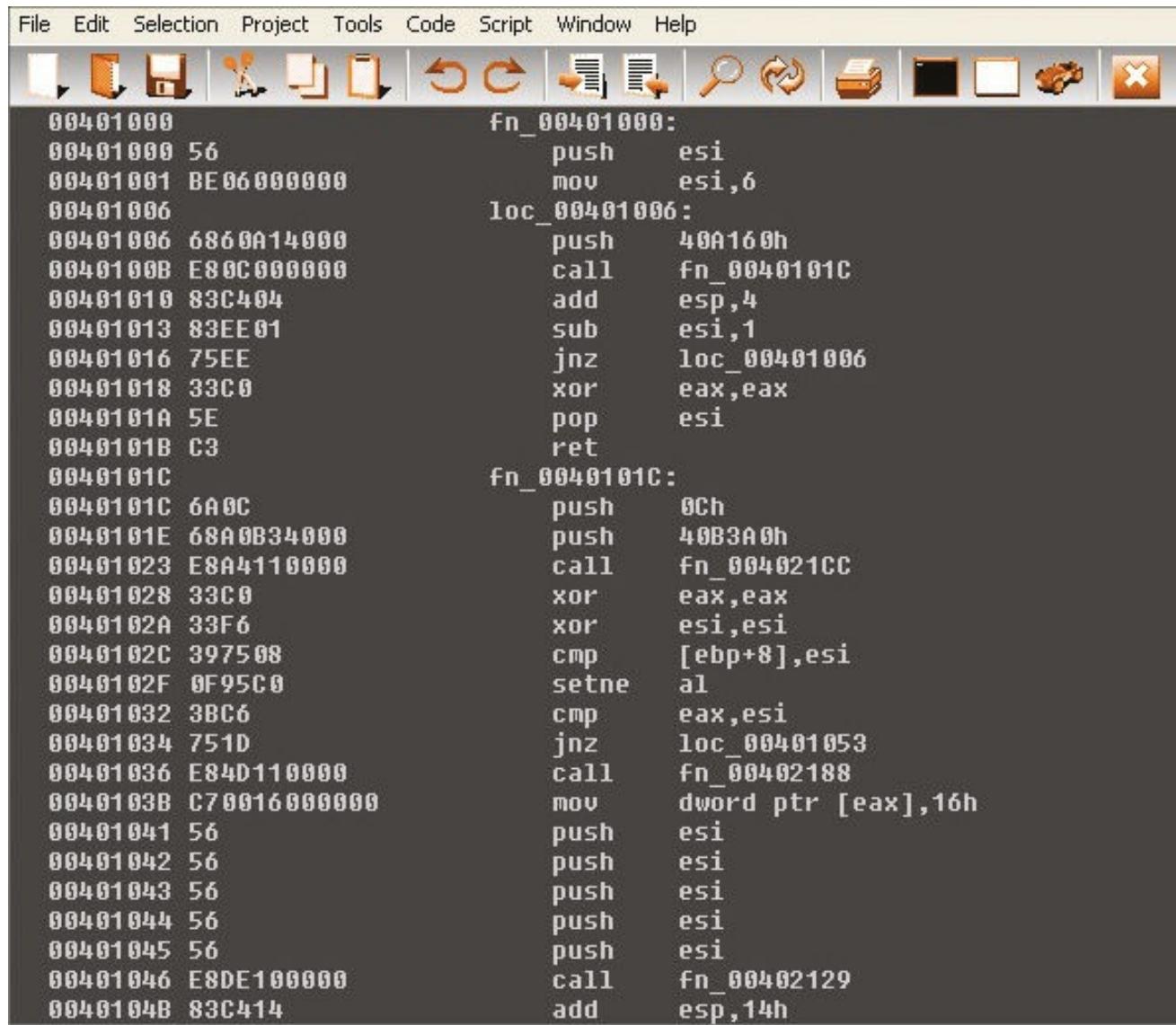
READ 9

Tale conversione si è ottenuta sostituendo, nell'istruzione in linguaggio macchina, ai prima quattro bit (0100) il codice mnemonico READ mentre i restanti bit rappresentano l'operando espresso in notazione decimale (0000 0000 1001 = 9).

Una prima cosa che mi sento di sottolineare è che spesso si confonde il linguaggio assembly con l'assembler, utilizzando tale termine come sinonimo di assembly.

In senso più rigoroso, infatti, per **assembler** si intende il programma che converte i codici mnemonici dell'assembly nei veri e propri codici binari del linguaggio macchina. Nel nostro esempio, sarà proprio l'assembler a sostituire in fase di traduzione al codice READ il corrispondente binario (0100). Nella Figura 1.1 vi propongo l'output di un classico **programma assemblatore**, il MASM, che visualizza il contenuto di un semplice file eseguibile.

Nella figura in questione sono riconoscibili quattro sezioni (colonne) fondamentali. La prima mostra l'indirizzo di memoria, in formato esadecimale, in cui è stata caricata l'istruzione corrispondente alla specifica riga del file. La seconda colonna mostra, sempre in esadecimale, l'istruzione vera e propria in linguaggio macchina. Infine, la terza e la quarta colonna mostrano il codice assembly corrispondente al codice macchina della seconda colonna. Nella terza colonna viene visualizzato il codice operativo (push, mov, call) mentre nella quarta il relativo operando.



The screenshot shows the MASM assembly editor interface. The menu bar includes File, Edit, Selection, Project, Tools, Code, Script, Window, and Help. The toolbar contains various icons for file operations like Open, Save, and Build. The main window displays assembly code:

```
File Edit Selection Project Tools Code Script Window Help
00401000          fn_00401000:
00401000 56        push    esi
00401001 BE06000000  mov     esi,6
00401006          loc_00401006:
00401006 6860A14000  push    40A160h
0040100B E80C000000  call    fn_0040101C
00401010 83C404    add     esp,4
00401013 83EE01    sub     esi,1
00401016 75EE      jnz    loc_00401006
00401018 33C0      xor     eax,eax
0040101A 5E        pop    esi
0040101B C3        ret
0040101C          fn_0040101C:
0040101C 6A0C      push    0Ch
0040101E 68A0B34000  push    40B3A0h
00401023 E8A4110000  call    fn_004021CC
00401028 33C0      xor     eax,eax
0040102A 33F6      xor     esi,esi
0040102C 397508    cmp    [ebp+8],esi
0040102F 0F95C0    setne   al
00401032 3BC6      cmp     eax,esi
00401034 751D      jnz    loc_00401053
00401036 E84D110000  call    fn_00402188
00401038 C70016000000  mov    dword ptr [eax],16h
00401041 56        push    esi
00401042 56        push    esi
00401043 56        push    esi
00401044 56        push    esi
00401045 56        push    esi
00401046 E8DE100000  call    fn_00402129
0040104B 83C414    add     esp,14h
```

Figura 1.1 – Un file eseguibile “disassemblato”.

Un grosso limite del linguaggio assembly è tuttavia insito nella sua estrema vicinanza

all'hardware della macchina. Mi spiego: essendo composto da istruzioni specifiche della singola CPU, un programma scritto per una data architettura hardware non può essere utilizzato su di una macchina con architettura differente. In gergo tecnico si dice che esso non è “**portabile**” o, più propriamente, che non ne è consentita la **portabilità**.

Un'altra cosa di notevole interesse che vale la pena di sottolineare è il fatto che tale conversione introduce un concetto di estrema importanza: la **traduzione**.

Ciò che infatti resta sotteso a questo contesto è la possibilità di demandare a uno specifico programma il compito di effettuare la traduzione, a partire da un linguaggio più vicino all'utente (in questo caso i codici mnemonici più facilmente gestibili), verso il linguaggio effettivamente compreso dalla macchina.

Tale “scoperta” ha dato luogo a tutta una serie di nuovi linguaggi sempre più vicini alla logica umana e sempre più lontani dai dettagli interni dei vari microprocessori.

Quando si parla di **linguaggi a “basso livello”** e **linguaggi ad “alto livello”** ci si riferisce appunto alla vicinanza, o meno, dello specifico linguaggio rispetto alla macchina e all'utente. Sarà di basso livello un linguaggio molto vicino ai dettagli hardware della macchina; sarà di alto livello, al contrario, un linguaggio vicino al linguaggio naturale e al modo tipicamente umano di gestire i problemi.

Interpreti e compilatori

In linea del tutto generale tale traduzione può avvenire in due modi distinti: tramite interpretazione oppure tramite compilazione.

L'**interpretazione** consiste nella traduzione delle singole istruzioni, una dopo l'altra, e nella loro immediata codifica in linguaggio macchina e corrispondente esecuzione.

Una considerazione che risulta naturale in tale contesto di traduzione è data dal fatto che, affinché sia possibile tale procedimento, è necessario che sulla macchina che ha in esecuzione il nostro programma sia presente anche l'apposito programma traduttore: l'**interprete**.

“Interprete” è infatti il nome del programma che deve risiedere sul PC in questione affinché si possa eseguire il nostro programma scritto in linguaggio di alto livello. In generale, come conseguenza di tale situazione, i linguaggi che utilizzano questo approccio vengono definiti **linguaggi interpretati**.

Per rendere la mia descrizione più concreta mi sento di dover presentare qualche esempio specifico. Linguaggi tipicamente interpretati sono quelli utilizzati per le applicazioni rese disponibili su Internet: JavaScript e PHP, solo per citarne due tra i più diffusi.

Discorso diverso è quello relativo ai **linguaggi compilati**, ovvero quelli che si basano sulla **compilazione**: questi prevedono, come nel caso di quelli interpretati, la traduzione delle singole istruzioni in alto livello nelle specifiche istruzioni del linguaggio macchina. Tuttavia, tali istruzioni non vengono eseguite direttamente; al contrario, esse vengono salvate, già tradotte in codice macchina, in specifici file: i **file eseguibili**.

A spasso con una “macchina virtuale”

Interpretazione e compilazione non sono due mondi completamente separati. Esistono tuttavia dei linguaggi che si collocano a metà strada tra i linguaggi macchina (assembly incluso) e i linguaggi ad alto livello e che prendono il nome di **bytecode**. Tali linguaggi sono costituiti da un numero di istruzioni abbastanza limitato e tali da essere relativamente vicine all’hardware. Ciò rende più semplice creare degli ambienti traduttori maggiormente efficienti e al contempo “portabili” su sistemi operativi differenti. Questo è infatti uno snodo importante!

Quando si scrive del codice e lo si compila, lo si fa per un determinato e specifico sistema operativo (Windows, Linux o quello che sia). È il sistema operativo che mette a disposizione le funzionalità per l’accesso all’hardware sfruttate dagli applicativi. Tali funzionalità vanno sotto il nome di **API**, ovvero **Application Programming Interface** (Interfaccia di Programmazione per l’Applicazione). Va da sé che utilizzando una determinata API di uno specifico sistema operativo ci si lega con la propria applicazione a quello specifico sistema operativo. Per superare tali problemi di portabilità, e al contempo per fornire allo sviluppatore il maggior numero di funzionalità di accesso all’hardware in maniera predefinita senza che lo sviluppatore sia costretto a codificare in proprio tali funzionalità, sono nate delle interfacce software da frapporre tra il sistema operativo e l’applicativo stesso. Concentrando lo sviluppo del codice riferendosi a tale interfaccia, nota come **macchina virtuale**, il nostro programma sarà liberamente utilizzabile su vari sistemi operativi a patto che su questi sia presente la specifica macchina virtuale.

Giusto per fare qualche esempio di bytecode possiamo pensare al bytecode di Java eseguito dalla cosiddetta **Java Virtual Machine**. Dal lato Microsoft è presente il **Common Intermediate Language** della piattaforma .NET, eseguito dal **Common Language Runtime** (CLR), la macchina virtuale per il mondo .NET.

Ovviamente, come detto e come evidenziato dalla Figura 1.2, la specifica macchina virtuale deve essere presente sul sistema in questione.

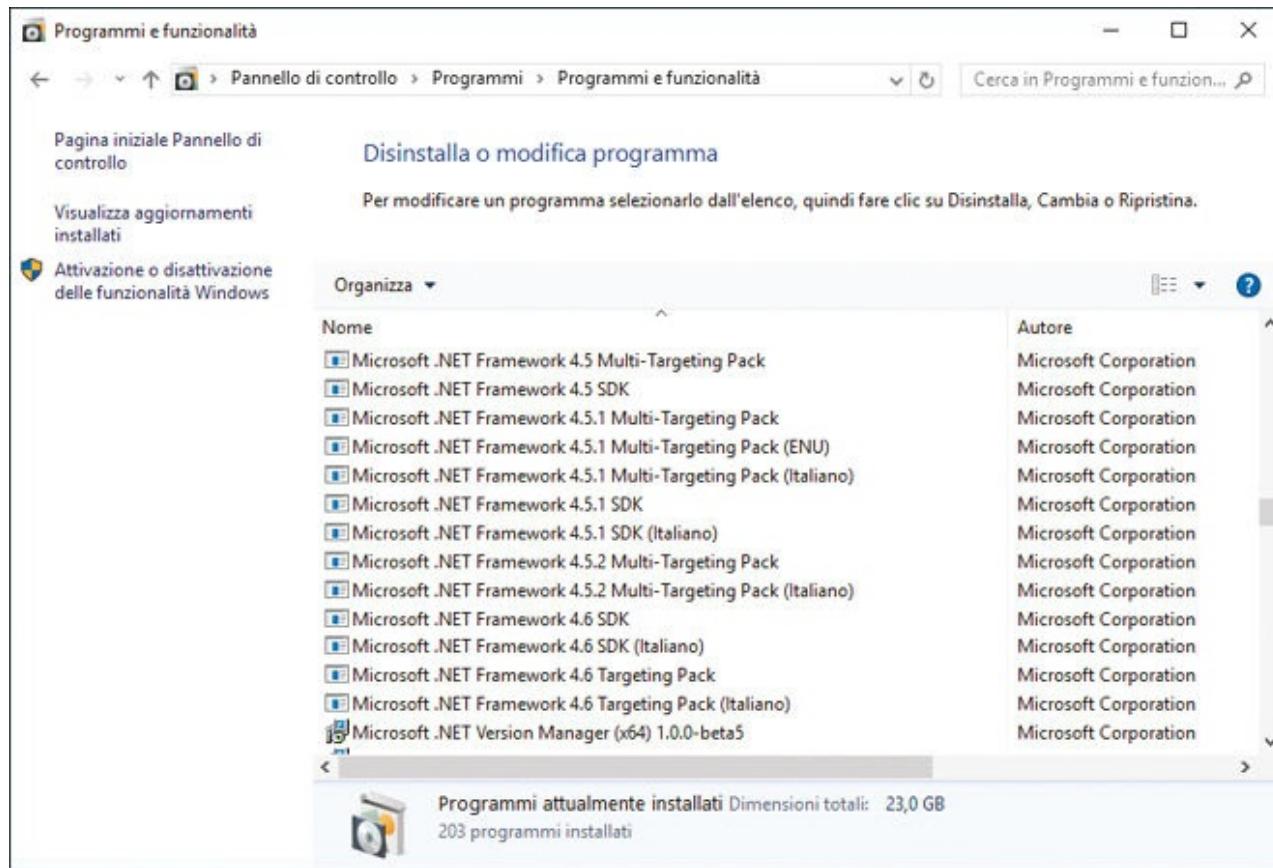


Figura 1.2 – La finestra “Programmi e funzionalità” di Windows con i riferimenti al framework .NET.

Il C e le sue origini

Il linguaggio C venne sviluppato negli Stati Uniti tra il 1972 e il 1973, all'interno dei laboratori Bell, ad opera di **Dennis Ritchie**.



Figura 1.3 – Dennis Ritchie (in piedi) con Ken Thompson (seduto).

Il “C” discende da un altro linguaggio chiamato BCPL implementato da **Martin Richards**. Infatti, **Ken Thompson** realizzò una prima evoluzione del BCPL nel 1970 denominandola Linguaggio B. Successivamente, Ritchie migliorò il linguaggio denominandolo C a confermare una continuità con il linguaggio precedente.

Il C rientra a tutti gli effetti nei linguaggi ad **alto livello**: tuttavia viene spesso descritto come “linguaggio di basso livello”, intendendo con ciò che esso consente di interagire con componenti molto vicine all’hardware del sistema. Il C può quindi generare programmi di grande efficienza e velocità. D’altro canto si presta a essere utilizzato anche in innumerevoli contesti generici, potendo infatti gestire programmi di notevoli dimensioni e complessità.

Il C ha iniziato a godere di enorme popolarità in seguito alla pubblicazione del libro *The C Programming Language*, tradotto anche in Italia, e realizzato da Ritchie insieme a **Brian Kernighan**.

L’ottimo libro in questione ha rappresentato il principale riferimento del linguaggio. Ne è seguita una seconda edizione relativa alla standardizzazione ottenuta dal C da parte dell’ente internazionale ISO. Per comprendere l’importanza di questo libro (e quindi anche il motivo per

cui ne riporto in Figura 1.4 la copertina) basta pensare al fatto che per esso si è addirittura coniato un apposito termine per definirlo: “**The white book**” (ovviamente per il colore della sua copertina).



Figura 1.4 – La mia copia, un po' logora e custodita gelosamente nella mia libreria, della prima edizione italiana del manuale di Kernighan e Ritchie.

Il C come primo linguaggio

Il C viene spesso considerato un linguaggio complicato e con una curva di apprendimento abbastanza alta: ciò significa che la sua comprensione e il suo relativo utilizzo richiedono una quantità di tempo non trascurabile. Questo è probabilmente uno dei motivi che spingono molti autori di testi generici di informatica a privilegiare l'utilizzo di un altro linguaggio, almeno in apparenza più semplice: il Pascal.

L'utilizzo del Pascal viene motivato considerando che la sua semplicità aiuta a comprendere gli aspetti generali dei problemi di programmazione evitando di impegnarsi con i dettagli specifici del linguaggio. Ritengo tuttavia che, con uno sforzo minimo, tale difficoltà possa essere superata ottenendo al contempo enormi benefici. Tali benefici risiedono innanzitutto nell'apprendimento di un linguaggio di enorme potenza e diffusione come il C. Il C è, infatti, facilmente disponibile in vari e differenti ambienti (Windows, Unix, Linux) consentendo di trasportare i propri lavori con estrema semplicità.

Ambienti di sviluppo

La semplice traduzione da linguaggio ad alto livello a linguaggio macchina a volte non è sufficiente. Infatti, in generale c'è bisogno di una fase preventiva di **editazione** (scrittura) del **codice sorgente** (ovvero delle singole istruzioni del linguaggio di programmazione) e del suo relativo **testing** (prova che tutto sia come ci aspettiamo). Ancora, c'è la necessità di consentire di accedere a un'enorme mole di esempi reali: con il C, infatti, sono scritti buona parte dei più importanti e diffusi Sistemi Operativi di cui sopra. Ciò significa avere un programma che ci faciliti la scrittura del nostro codice nello specifico linguaggio scelto, eventualmente segnalandoci gli errori commessi direttamente in fase di editazione supportandoci inoltre con un help (aiuto) in linea del linguaggio.

Tali software prendono il nome generico di **ambienti di sviluppo** spesso anche conosciuti con il termine di **IDE**, ovvero **Integrated Development Environment** (Ambienti di Sviluppo Integrati).

Solo per citarne alcuni: Turbo C, Dev-C++, Visual C++, Code::Blocks, SharpDevelop, MinGW.

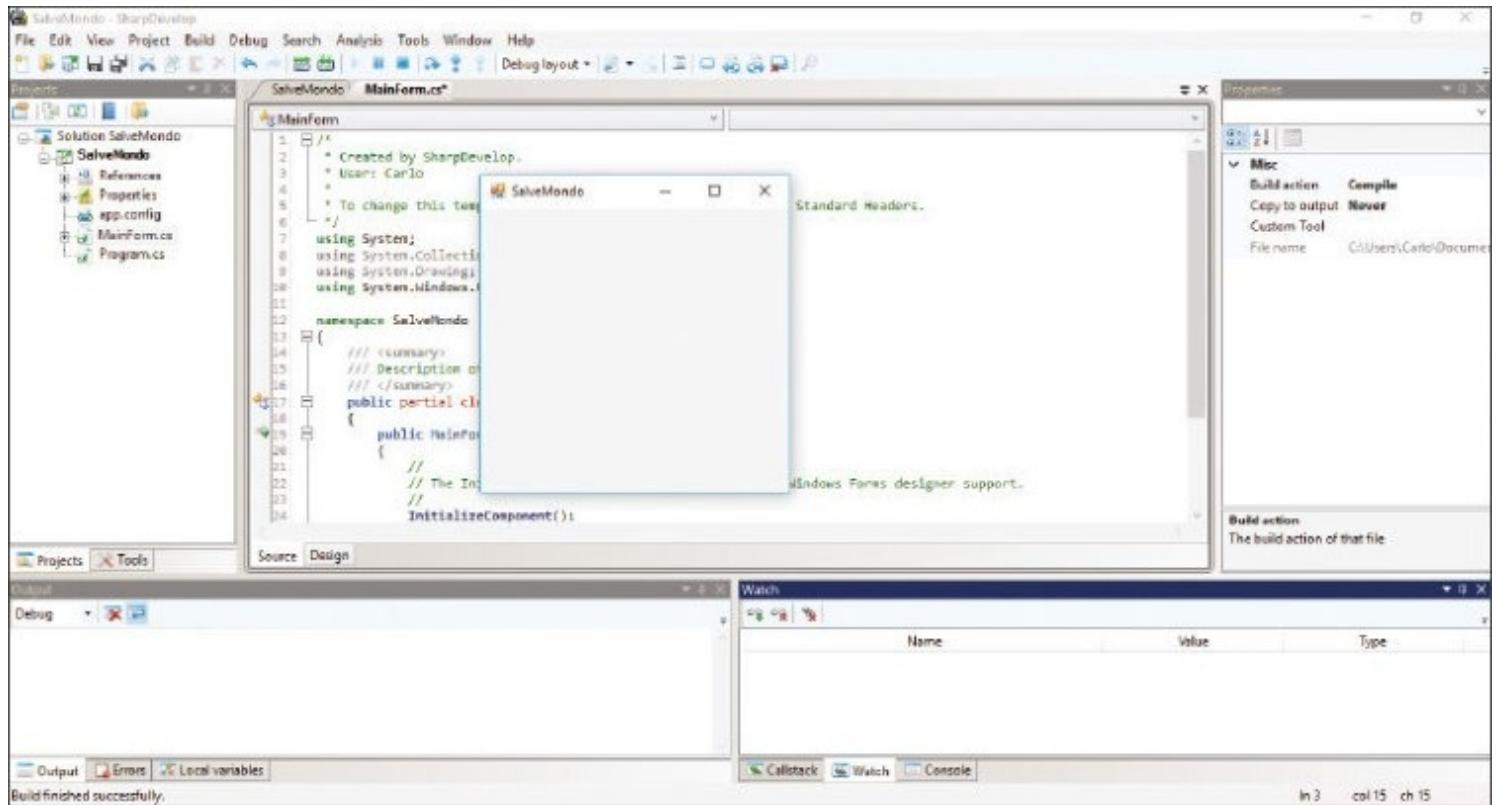


Figura 1.5 – L'IDE di SharpDevelop.

Gli ambienti di sviluppo per il C

Gli ambienti di sviluppo utilizzabili per scrivere programmi in linguaggio C sono davvero tantissimi. Di seguito vi elenco alcuni tra i più noti, cercando di suggerire i più adatti a seconda del contesto d'uso.

Un C con il “Turbo”

Un ambiente spartano ma sufficientemente completo, utile per muovere solo i primissimi passi con il C, è il “Turbo C” della Borland. Questo ambiente di sviluppo può essere una scelta iniziale per chi utilizza ambienti Microsoft Windows su hardware molto scadente dal punto di vista delle prestazioni.

La versione 2.01 è ormai utilizzabile gratuitamente per scopi personali, essendo non più aggiornata dalla Borland e facilmente scaricabile da Internet. Il Turbo C è un ambiente integrato che consente di scrivere facilmente applicazioni di tipo **console DOS** (solo testuali) e un buon banco di prova per sperimentare i rudimenti della programmazione e conoscere uno dei primi ambienti di sviluppo per poter poi apprezzare le enormi migliorie apportate dai moderni compilatori.

Il Turbo C è un ambiente integrato che consente di editare (scrivere) i sorgenti, di correggerli con l’ausilio di appositi strumenti di correzione (debugging), di compilarli e di eseguirli.

Una volta installato e “lanciato” (mandato in esecuzione) l’ambiente si mostra come nella Figura 1.6.

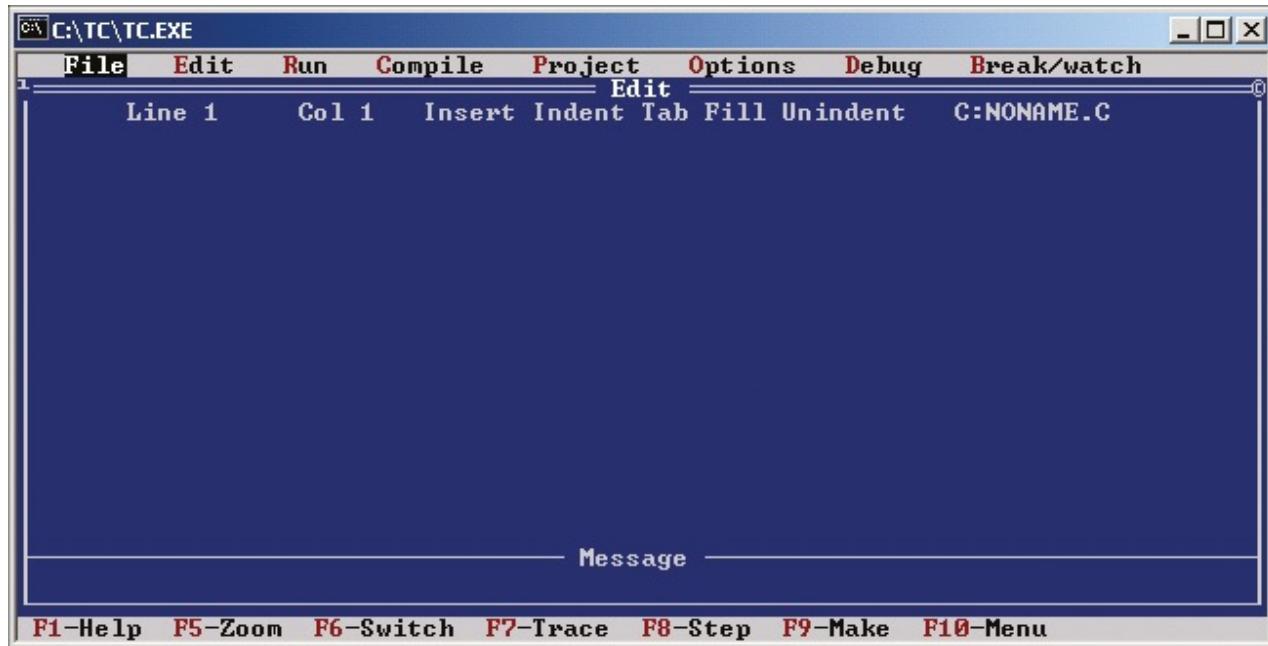


Figura 1.6 – L’ambiente “Turbo C”.

In esso è facile distinguere due zone principali: una prima riga di menu (**File**, **Edit**, **Run**) contenente tutta una serie di comandi per la gestione delle operazioni da compiere all’interno dell’ambiente, e una zona di “editing” in cui è possibile scrivere (editare) il codice sorgente. Tuttavia, mi sento di sottolineare come il Turbo C rivesta più che altro un **interesse “storico”**.

Oggi, infatti, sono disponibili ambienti più moderni ed evoluti, sicuramente preferibili all'ormai vetusto Turbo C. Di seguito ve ne presento una panoramica.

L'ambiente Bloodshed Dev-C++

Bloodshed **Dev-C++** è un ambiente di sviluppo per Windows gratuito e completo.

La Figura 1.7 mostra il cosiddetto IDE dell'ambiente in questione. IDE è, come abbiamo già detto, l'acronimo di **Integrated Development Environment** (ambiente di sviluppo integrato) che mette a disposizione in un unico contesto (appunto integrato) tutti gli strumenti necessari per editare, compilare ed eseguire il codice.

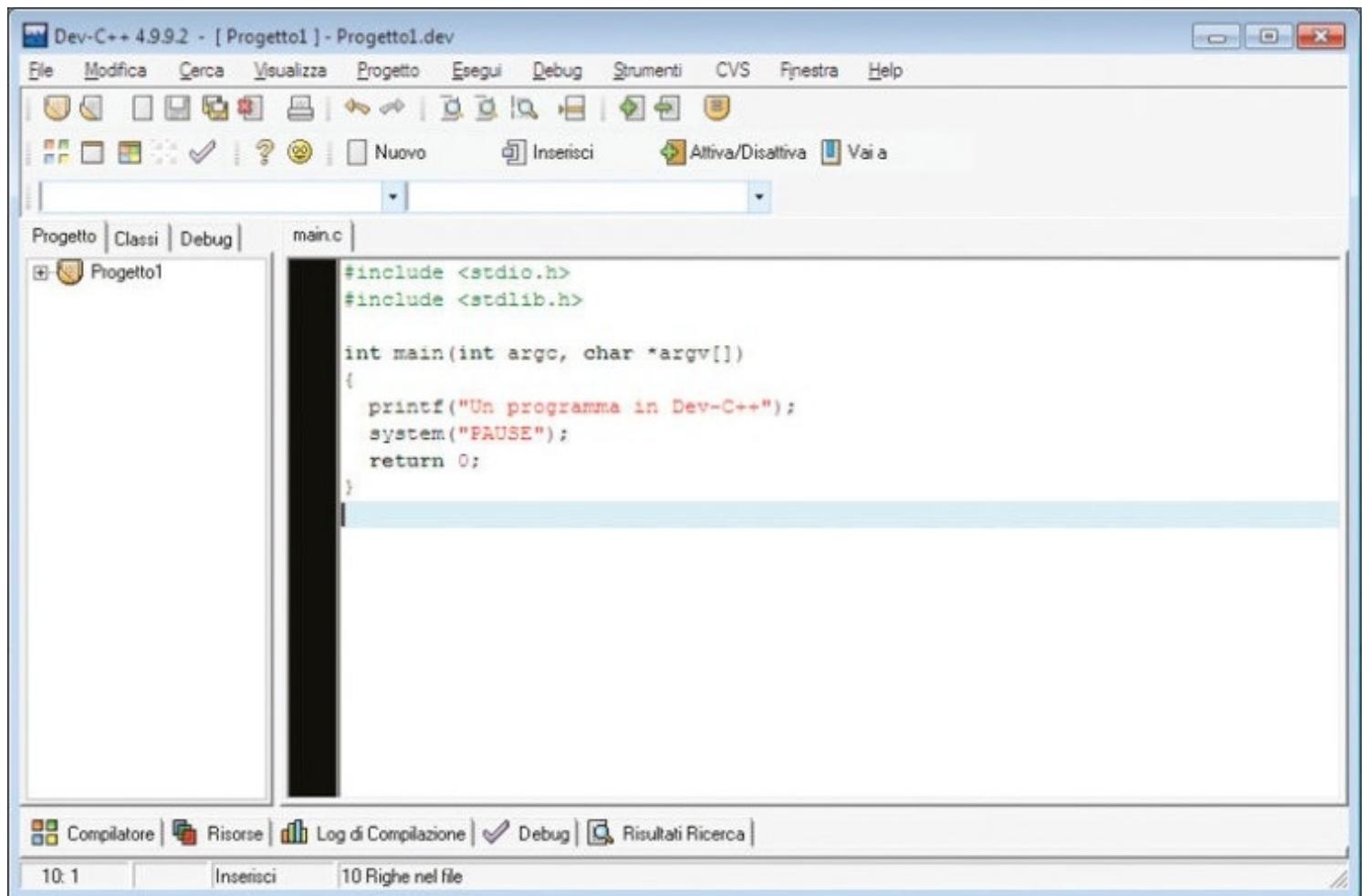


Figura 1.7 – L'IDE di Dev-C++ in esecuzione su Windows 7.

È importante notare come questi ambienti moderni diano la possibilità di costruire differenti tipi di programmi. È infatti possibile realizzare i classici **programmi di tipo “console”**, cioè i programmi che “girano” in una finestra DOS, così come programmi che posseggono una **GUI**. Come detto in precedenza, questo è il termine con il quale ci si riferisce a una interfaccia grafica, vale a dire la classica applicazione con finestre che siete abituati a vedere, ad esempio, all'interno del sistema operativo Windows. Non a caso, tale tipo di applicazione viene anche definito **Windows Application**. Ancora, è possibile creare file di tipo **dll**.

Per rendere possibile tale varietà di realizzazioni questi ambienti fanno uso del concetto di

progetto. Un **progetto**, realizzato e descritto tramite uno specifico file (noto appunto come **file di progetto**) definisce le caratteristiche della specifica applicazione e contiene l'elenco dei differenti file di codice sorgente che vanno a comporre l'intera struttura del programma. La Figura 1.8 mostra una finestra, propria dell'ambiente Dev-C++, all'interno della quale è possibile definire le caratteristiche generali del progetto stesso.

Da notare infine come sia possibile, attraverso lo stesso ambiente di sviluppo, creare sia progetti scritti in C che progetti in C++ (il linguaggio che rappresenta un'evoluzione del C originario).

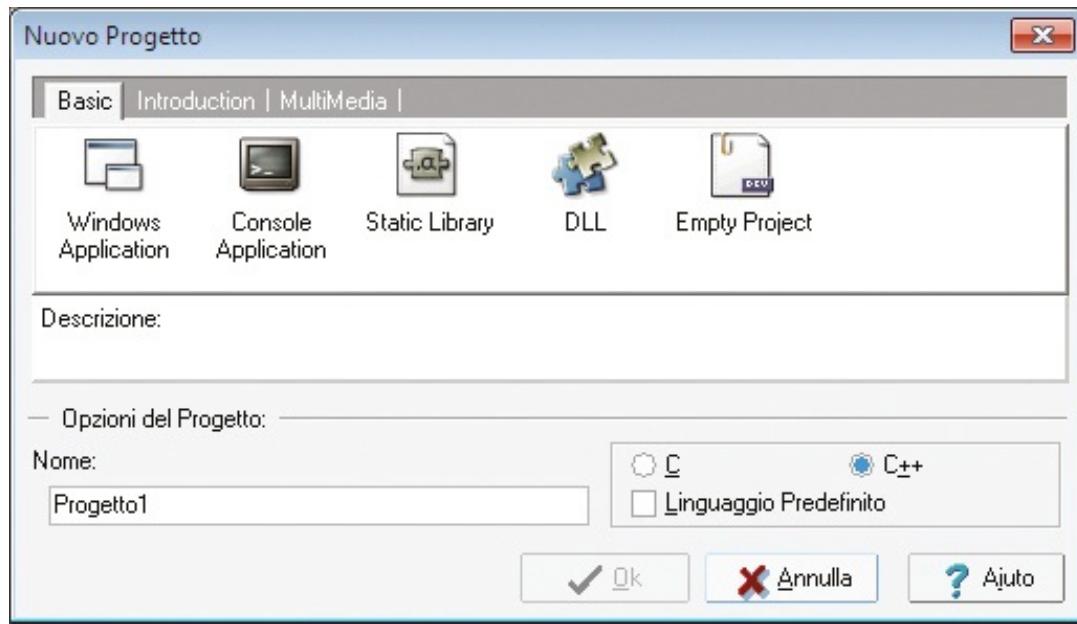


Figura 1.8 – La finestra di scelta delle caratteristiche del progetto.

Dev-C++ non viene più aggiornato dal lontano 2005 ma nonostante ciò, data la sua semplicità d'uso, risulta molto utilizzato soprattutto in ambito didattico.

Orwell Dev-C++

Come detto, Bloodshed Dev-C++ non è più aggiornato da ormai diversi anni. Uno dei problemi collegati a tale situazione è il fatto che esso non risulta del tutto compatibile con i nuovi sistemi operativi, come ad esempio Windows 8 e 10. Nel caso specifico di tali sistemi operativi, le versioni in questione presentano dei problemi di compatibilità relativi in particolare al compilatore integrato nell'ambiente. Per questo motivo vi suggerisco di scaricare e utilizzare una versione derivata da quella originale, un cosiddetto **fork**, manutenuta da un programmatore di nome Orwell. Tale versione è disponibile all'indirizzo **orwelldvcpp.blogspot.it** ed è nota come **Orwell Dev-C++**.

Uno dei vari aspetti interessanti di tale versione è che essa è disponibile sia in 32 che 64 bit. Sul sito, in lingua inglese, troverete tutte le informazioni di cui dovete necessitare. È inoltre disponibile una **versione portable**, ovvero portabile. Si scarica un file compresso e si decomprime l'intera struttura di cartelle in una posizione a piacere del proprio disco. Non è quindi necessaria l'installazione e per lanciare l'ambiente è sufficiente fare un doppio clic sull'eseguibile dell'ambiente.

Orwell Dev-C++ è uno degli ambienti di sviluppo che vi propongo in questo testo. Occorre notare come esso venga utilizzato come strumento ufficiale nelle Olimpiadi di Informatica. Nel sito di riferimento di tale importante competizione, www.olimpiadi-informatica.it, sono disponibili per il download varie versioni di Dev-C++, unitamente ad altro materiale di grande interesse.

L'ambiente Code::Blocks

Code::Blocks è un altro ambiente gratuito. Esso è reperibile all'indirizzo www.codeblocks.org. Si tratta di un ambiente più evoluto e leggermente più complicato nell'uso rispetto a Dev-C++. Code::Blocks può essere una valida scelta da utilizzarsi dopo aver familiarizzato con gli aspetti di base del C/C++ utilizzando il più semplice Dev-C++, oppure come prima scelta d'uso nel caso di coloro che non volessero utilizzare, per un qualsiasi motivo, ambienti Microsoft Windows. Infatti, Code::Blocks oltre che per Windows, è disponibile per Linux e per Mac.

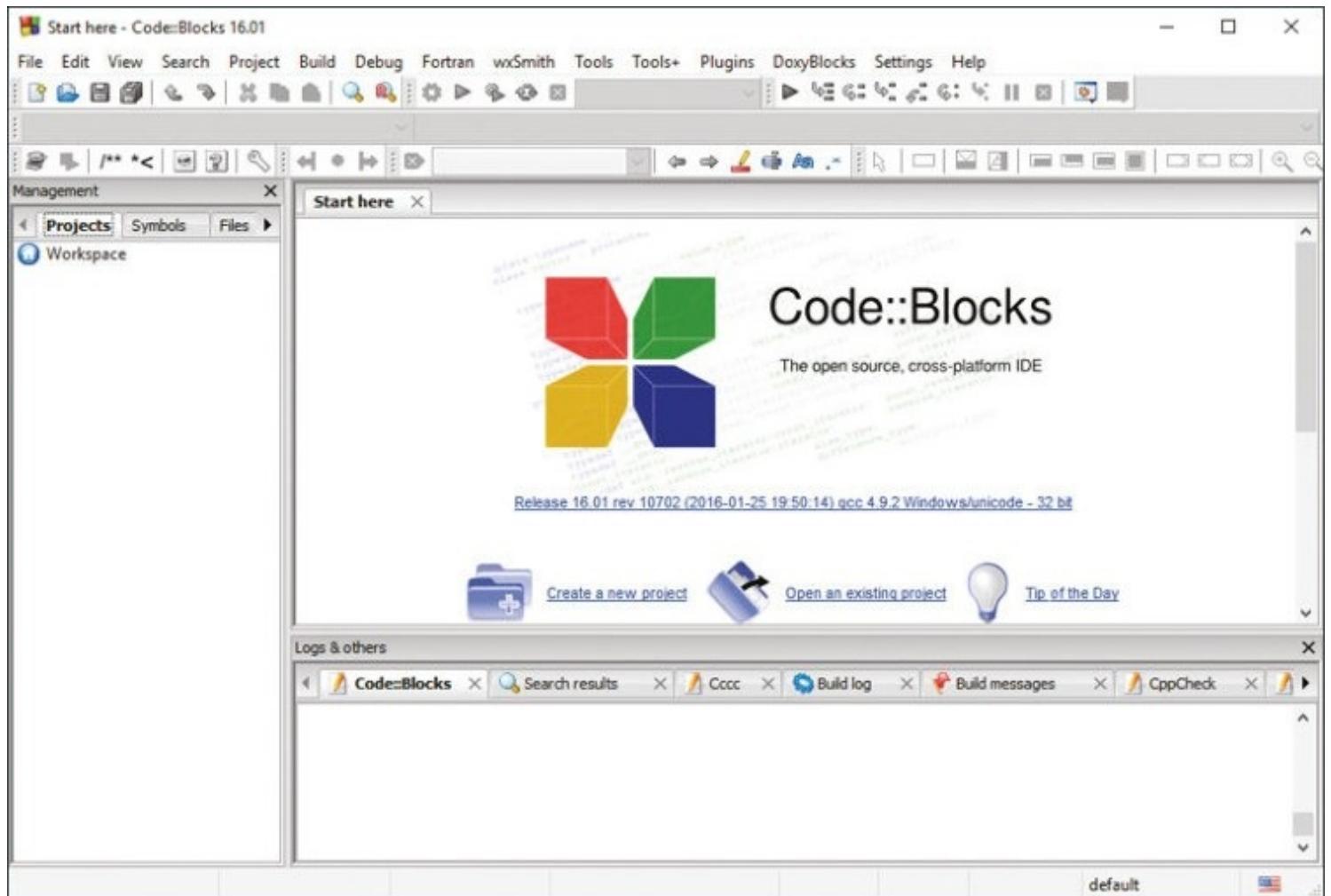


Figura 1.9 – L'IDE di Code::Blocks.

Microsoft Visual C++

Tra i più completi e potenti ambienti disponibili sul mercato, Visual C++ è l'ambiente di sviluppo per C e C++ di casa Microsoft.

Microsoft ha reso disponibile tale compilatore anche in una versione gratuita denominata **Express Edition** e la nuova **Visual Studio Community**. Si tratta di versioni con alcune limitazioni, che comunque non ne inibiscono le funzionalità principali, segnando d'altro canto come punto a favore il fatto che la licenza consente di creare anche software di tipo commerciale. Il sito di riferimento è ovviamente www.microsoft.com.

GCC: GNU Compiler Collection

GCC è un ambiente di compilazione nato inizialmente per supportare solo il C, tanto che il senso dell'acronimo era “GNU C Compiler”.

Successivamente esso fu esteso per supportare il C++ e ancora più tardi per consentire l'uso di altri linguaggi come il Fortran, il Pascal e altri ancora.

GCC nasce in ambiente Unix-Linux e il suo uso classico prevede l'interfaccia testuale. Il sito ufficiale è gcc.gnu.org.

Per poter utilizzare GCC sotto Windows è possibile fare riferimento al sistema **MinGW** ovvero “Minimalist GNU for Windows” disponibile all'indirizzo www.mingw.org.

Creare programmi con interfaccia grafica

Come già accennato, i programmi che vi aiuterò a sviluppare nei capitoli seguenti sono di tipo testuale e sono quindi privi di interfaccia grafica (finestre, bottoni, menu ecc.). Sarà solo nel Capitolo 27 che vi darò indicazioni dettagliate e puntuali per realizzare applicazioni di tipo Windows.

Il motivo è dato dal fatto che il C non prevede in maniera naturale la gestione di questi oggetti, come avviene al contrario in ambienti come Visual Basic. Per poter realizzare interfacce grafiche è necessario allora utilizzare delle apposite librerie: MFC, GTK, QT o altre ancora. Rimane comunque il fatto che la conoscenza di quanto affronteremo di seguito è indispensabile per poter gestire successivamente l'utilizzo di una qualsiasi di tali librerie.

Salve, mondo

Parlare è facile. Mostrami il codice.

Linus Torvalds

È abitudine consolidata, nel momento in cui si introducono i rudimenti di un qualsiasi linguaggio di programmazione, presentare immediatamente un primo esempio di programma il cui risultato deve essere semplicemente la stampa a video delle parole “Salve, mondo”.

Credo che il risultato di presentare da subito un esempio funzionante sia duplice. Da un lato si riesce a fornire immediatamente la filosofia e il carattere del nuovo linguaggio. Al contempo si riesce a coinvolgere, quasi emotivamente, il neofita che, messo alla prova, ottiene da subito i primi risultati superando nei fatti una naturale incertezza e diffidenza nei confronti della sua iniziale ignoranza.

Non vedo quindi ragione per cambiare la tradizione del “Salve, mondo” per cui pronti... si parte:

```
#include <stdio.h>
/* Il mio primo programma C */
main()
{
    printf("salve, mondo");
}
```

Anche se molto semplice (ma sappiamo che prima di correre dobbiamo almeno imparare a camminare) questo pezzo di codice racchiude in sé diversi elementi relativi al linguaggio che sono di notevole importanza.

Prima **importante premessa**: attenzione alla **differenza tra minuscole e maiuscole**. Il C è molto formale a tal proposito, per cui si aspetta che le istruzioni vengano scritte rispettando tale regola, detta in gergo di **case sensitive**. Per cui, scrivere `Main` anziché `main` comporterà la segnalazione di un errore da parte del compilatore.

Innanzitutto osserviamo che esso inizia con la dicitura:

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

Il C, contrariamente a quanto si potrebbe pensare data la sua potenza, è un linguaggio molto povero; la maggior parte delle sue funzionalità sono infatti incorporate in file esterni. È il caso

anche delle funzioni di input e output che nello specifico fanno riferimento al file “**stdio.h**”. Per input e output si intende ovviamente la possibilità riservata al nostro programma di acquisire dati, ad esempio dalla tastiera (input), e di fornire dati verso l'esterno (output) in generale attraverso il monitor.

La riga seguente:

```
/* Il mio primo programma C */
```

introduce l'uso dei commenti nel codice. Un **commento** è un testo descrittivo che viene ignorato dal compilatore ma che è comunque di fondamentale importanza. Esso serve a chi legge il codice sorgente per capire cosa faccia un determinato pezzo di codice. Anche se tale codice può sembrare scontato per chi lo sta scrivendo, potrebbe risultare oscuro per chi dovesse andare a modificarlo in un secondo tempo. Tale persona potrebbe essere anche l'autore stesso. Non sottovalutate, infatti, la capacità di dimenticare le cose che ognuno di noi ha innata.

Abituarsi sin dall'inizio a commentare con attenzione ciò che codifichiamo potrà farci risparmiare tempo in futuro ed evitarci pericolose maledizioni da parte di chi dovrà interpretare ciò che avevamo in testa.

Il funzionamento in C dei commenti è molto semplice: ogni commento deve iniziare con la simbologia `/*` e terminare con `*/`. Tutto ciò che si trova all'interno di questi marcatori, come detto, viene totalmente ignorato in fase di compilazione.

Proseguendo nell'analisi del nostro codice incontriamo un'istruzione `main()` che è di fondamentale importanza in quanto essa rappresenta il **punto di ingresso del programma**. Ciò riguarda il fatto che ogni programma scritto in C deve avere una istruzione `main` per consentire alla macchina di comprendere da dove deve iniziare a eseguire le istruzioni. A voler essere più precisi, l'istruzione `main` è più propriamente definibile come **funzione**, vale a dire un pezzo di codice che viene eseguito tutto di un fiato dalla prima riga fino all'ultima (a meno che non si chieda il contrario in maniera esplicita). Come tutte le sequenze di istruzioni che identificano un blocco a sé stante, essa deve essere delimitata dall'apertura e dalla chiusura di parentesi graffe `{}`.

NOTA

Se le parentesi graffe non sono presenti sulla tastiera è possibile inserirle digitando sul tastierino numerico il numero decimale corrispondente nel codice ASCII al simbolo della parentesi, avendo l'accortezza di tenere premuto il tasto ALT. Nello specifico, per inserire la parentesi graffa aperta è necessario digitare ALT+123 (tenere premuto il tasto ALT, digitare il numero 123 e poi rilasciare). Per la parentesi graffa chiusa, digitare ALT+125.

In alternativa le combinazioni CTRL + ALT + SHIFT + [e CTRL + ALT + SHIFT +] Sulle tastiere Mac di casa Apple è sufficiente utilizzare le combinazioni ALT + SHIFT + [e ALT + SHIFT +]

Veniamo ora al cuore del nostro programma: la fase di stampa della **stringa**, ovvero della sequenza di caratteri, "salve, mondo". L'istruzione che consente la stampa è `printf`. Essa deve includere tra parentesi tonde ciò che vogliamo stampare a video. Si deve avere l'accortezza di racchiudere il tutto tra doppi apici onde evitare spiacevoli messaggi di errore da parte del

compilatore.

Ok, ancora un paio di note e il nostro primo programma non avrà più segreti.

La prima nota riguarda il **punto e virgola** posto alla fine dell'istruzione. Ogni istruzione (tranne rari casi che vedremo in seguito) deve essere terminata con un punto e virgola. Ciò risulta indispensabile per far comprendere al compilatore dove un'istruzione inizia e dove essa finisce.

L'ultima nota riguarda gli spazi che sono stati posti all'inizio dell'istruzione `printf`. Tali spazi, noti come **indentazione del codice**, servono a rendere più leggibile il codice stesso separando in maniera visiva blocchi di codice omogeneo. Tali spazi sono, come per i commenti, ignorati dal compilatore ma estremamente importanti per il programmatore, al fine di dare leggibilità e facilità di interpretazione a ciò che scriviamo. Valgono qui un po' le stesse avvertenze che ho dato relativamente ai commenti: non sottovalutate le maledizioni che vi potrebbero mandare i programmatore chiamati a revisionare ed eventualmente modificare il vostro codice.

In realtà più che spazi è assolutamente consigliato usare il **tasto di tabulazione**, di norma etichettato con due frecce orizzontali che si contrappongono e situato sopra il tasto di "blocca maiuscole". Tale tasto, di norma chiamato **tab**, inserisce appunto un **carattere di tabulazione**, ovvero un singolo carattere che rappresenta di norma tre o più singoli spazi. L'uso di tale carattere consente indubbi vantaggi nella formattazione del codice.

Già che sto andando lungo con note e commenti aggiungo un'altra considerazione, forse scontata ma che vale la pena comunque di ribadire. Un programma è per certi aspetti una cosa viva; è difficile che un certo software, una volta realizzato, non necessiti di ulteriori interventi. Al contrario la norma è che esso richiederà, anche dopo il suo completamento, una serie di interventi successivi atti a correggere eventuali **errori di programmazione (bugs)** o l'implementazione di nuove funzionalità.

“Salve, mondo” con Dev-C++

Abbiamo già ampiamente descritto come sia importante l’aspetto pratico nell’attività di programmazione; non è sicuramente mia intenzione smentirmi proprio in questa fase iniziale, per cui: passiamo all’azione!

Per farlo vi propongo la realizzazione del nostro semplice “salve, mondo” utilizzando l’ambiente di sviluppo **Orwell Dev-C++** per il quale vi illustrerò una serie di operazioni da seguire passo-passo per compilare il vostro primo programma C.

NOTA

Come già indicato nel precedente capitolo, nel caso di utilizzo sul Sistema Operativo Windows 8 o superiore la versione originale di Dev-C++ presenta dei problemi di compatibilità relativi al compilatore integrato nell’ambiente. questo è il motivo principale per cui vi suggerisco di scaricare e utilizzare la versione derivata da quella originale denominata **Orwell Dev-C++**. Tale versione è disponibile all’indirizzo: orwelldevcpp.blogspot.it.

La procedura di installazione non presenta problemi particolari per cui presumo che nel giro di pochi minuti sarete pronti a seguirmi nel lancio dell’ambiente Dev-C++.

La prima operazione da realizzare è la creazione di uno specifico progetto; per farlo agite sulla voce “**Nuovo**” del menu “**File**” selezionando l’elemento di menu “**Progetto**” (Figura 2.1).

La successiva finestra di dialogo consente di impostare i principali parametri richiesti dalla nostra applicazione.

Come si evince dalla Figura 2.2 è necessario impostare innanzitutto il tipo di progetto su “**Console Application**”. Ciò consentirà la realizzazione di programmi di tipo testuale che girano all’interno di un a finestra di tipo DOS.

Nelle opzioni del progetto è molto importante scegliere un nome consistente attinente al progetto che stiamo realizzando; sarà infatti tale nome a rappresentare, oltre che il nome del progetto, il file eseguibile stesso. Nel nostro caso, avendo scelto come nome “SalveMondo”, l’applicazione avrà il nome di file **SalveMondo.exe**.

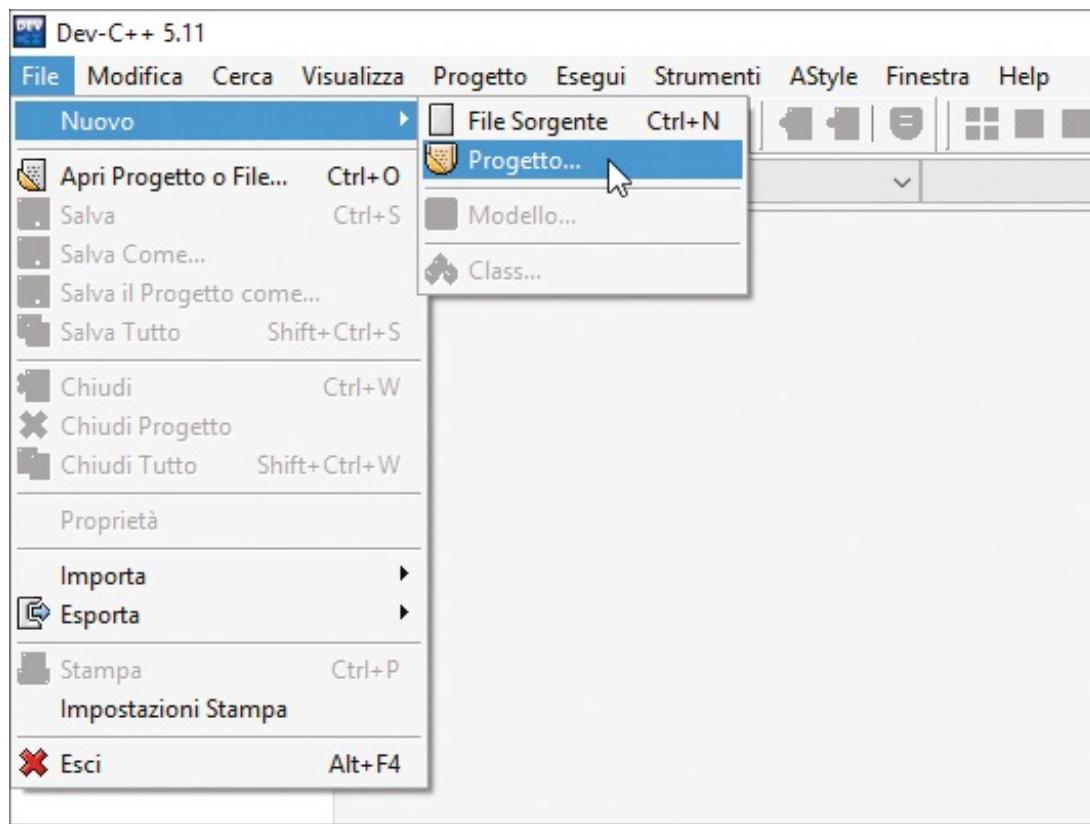


Figura 2.1 – Creazione di un nuovo progetto con Dev-C++.

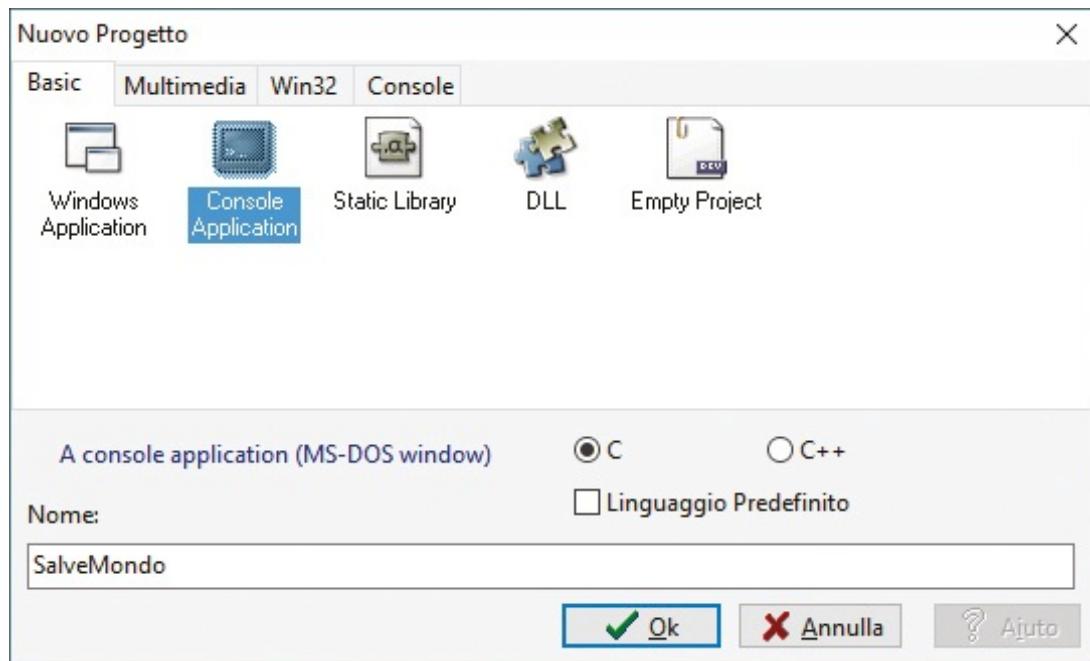


Figura 2.2 – La finestra per l'impostazione dei parametri del progetto.

Cliccando sul bottone “Ok” vi verrà chiesto di salvare il file di progetto con il nome “SalveMondo.dev”. Prima di confermare tale scelta è di assoluta importanza scegliere una cartella specifica per il progetto in fase di creazione. Vi consiglio quindi caldamente di crearne una con lo stesso nome del progetto. Sottolineo come sia di estrema necessità creare una cartella separata per ogni singolo progetto al fine di evitare che file di differenti progetti vadano a sovrascriversi gli uni con gli altri se presenti nella stessa cartella.

Dopo la conferma del salvataggio del file di progetto l'ambiente dovrebbe presentarsi come mostrato in Figura 2.3.

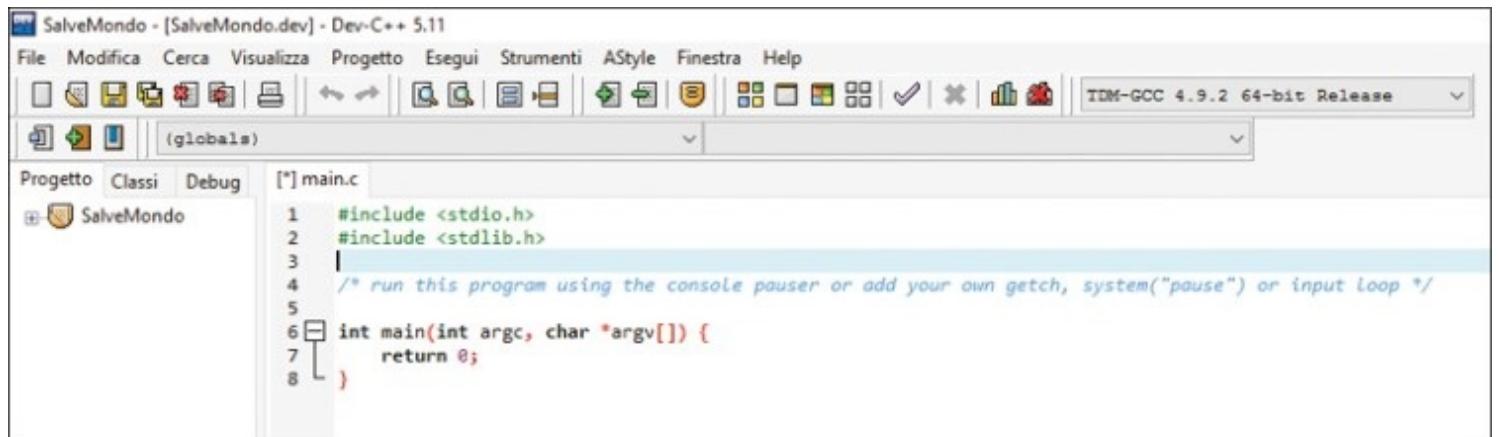


Figura 2.3 – L'ambiente di sviluppo dopo la conferma del nome del file di progetto.

Come è possibile notare osservando la Figura 2.3, è l'ambiente stesso a provvedere al nostro posto alla predisposizione dello scheletro del programma impostandoci un file di codice come quello che vi riporto di seguito.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/* run this program using the console pauser or add your own getch, system("pa
int main(int argc, char *argv[]) {
    return 0;
}
```

Come si può vedere, l'ambiente predispone direttamente gli “include” indispensabili e, in questo caso, suggerisce anche l’uso della **chiamata di sistema** “PAUSE”. L'intestazione della funzione `main`, con i due parametri `argc` e `argv` al momento può essere ignorata (chiarirò il loro scopo più avanti). È possibile lasciare il `main` inalterato così come proposto oppure scrivere più semplicemente solo:

```
main()
```

Ma attenzione: di `main` c’è né uno solo!

L’importanza di fare una pausa

I nostri programmi vengono eseguiti all’interno di una finestra (detta **console**). Normalmente questi programmi, una volta mandati in esecuzione, eseguiranno il loro compito e alla fine termineranno facendo chiudere la finestra all’interno della quale vengono eseguiti. Per evitare che il programma si chiuda senza darci il tempo di osservare l’output da esso prodotto dobbiamo costringerlo a effettuare una pausa. Per far ciò possiamo utilizzare un comando che pone il programma in pausa e attende la pressione di un tasto qualsiasi per continuare. In ambiente DOS tale comando è “**PAUSE**”. Ciò dovrebbe aver chiarito il senso dell’istruzione:

```
system("PAUSE");
```

di cui viene suggerito l'uso nel commento presente subito dopo la sezione degli include. dal nostro ambiente di sviluppo.

NOTA

In realtà, quando si effettuano delle prove del codice, tale istruzione è indispensabile solo nel caso di utilizzo della vecchia versione Bloodshed. Infatti, nel caso della versione Orwell, l'esecuzione all'interno di tale ambiente avviene sfruttando il console pauser, ovvero una shell che prevede automaticamente il blocco momentaneo del programma alla fine dell'esecuzione di tutte le istruzioni presenti.

Infine vi faccio notare l'istruzione `return 0`. Si tratta del modo con cui il programma, terminando, comunica il suo stato a chi lo ha chiamato (ad esempio un altro eseguibile o un particolare file di tipo batch).

Per convenzione, `return 0` significa qualcosa del tipo “tutto è andato bene”. Volendo segnalare specifici stati di errore con il quale si potrebbe chiudere il programma potremmo usare degli interi (1, 2 e così via). Il tutto è demandato al programmatore.

Ma ora, bando alle ciance; per completare il tutto non ci resta che aggiungere la nostra istruzione `printf` per la stampa della stringa “Salve, mondo” ottenendo quanto segue:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    printf("salve, mondo");
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Da notare come, nel codice appena presentato, ho eliminato il commento proposto in automatico da Orwell Dev-C++. Ho, inoltre, spostato l'apertura della parentesi graffa su di una linea separata proponendo così un differente stile di formattazione del codice.

Finalmente ci siamo: non ci resta che compilare il nostro primo applicativo. Per farlo agiamo sul menu **Eseguì** e quindi sulla voce **Compila** (Figura 2.4).

Una volta cliccato sulla voce di menu in questione l'ambiente ci chiederà di salvare, con nome **main.c**, il file corrente. Questa richiesta potrebbe lasciare perplessi i meno esperti i quali ricorderanno di aver già effettuato in precedenza un salvataggio di un file. Ma attenzione: il file salvato in precedenza era il file di progetto, ovvero il file che contiene le informazioni generali sul progetto stesso. Il file che l'ambiente ci chiede invece di salvare in questa fase è il vero e proprio file di codice sorgente; tale file ha estensione **.c**. Inoltre, per comodità di gestione, conviene confermarne il nome **main.c**, contenendo tale file proprio la funzione **main**.

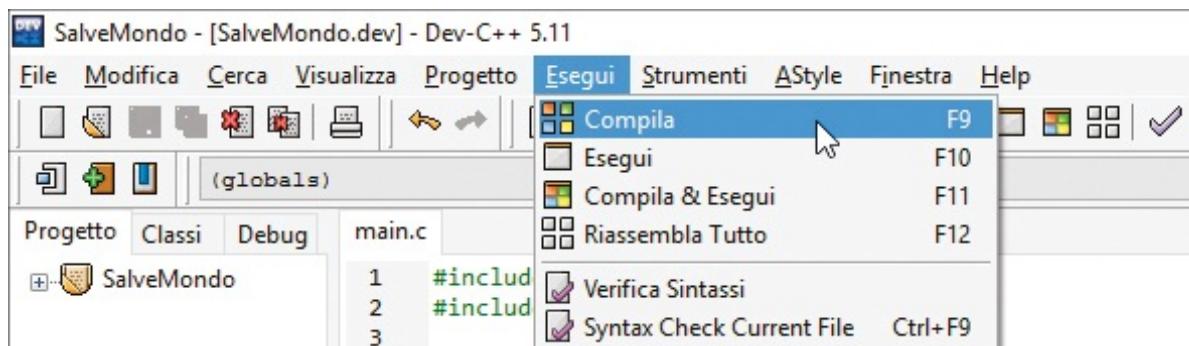


Figura 2.4 – La compilazione del progetto.

A questo punto dovrebbe essere ancora più chiaro il motivo per cui vi chiedevo di realizzare una specifica cartella per ogni specifico progetto: differenti file main.c potrebbero sovrascriversi gli uni con gli altri se differenti progetti dovessero utilizzare e condividere la stessa cartella.
 Se tutto sarà andato per il verso giusto l’ambiente mostrerà un log di compilazione in tutto simile a quella che vi presento nella Figura 2.5. Da tale messaggio si evince come lo status sia quello di completato, con numeri di errori e warnings pari a zero.

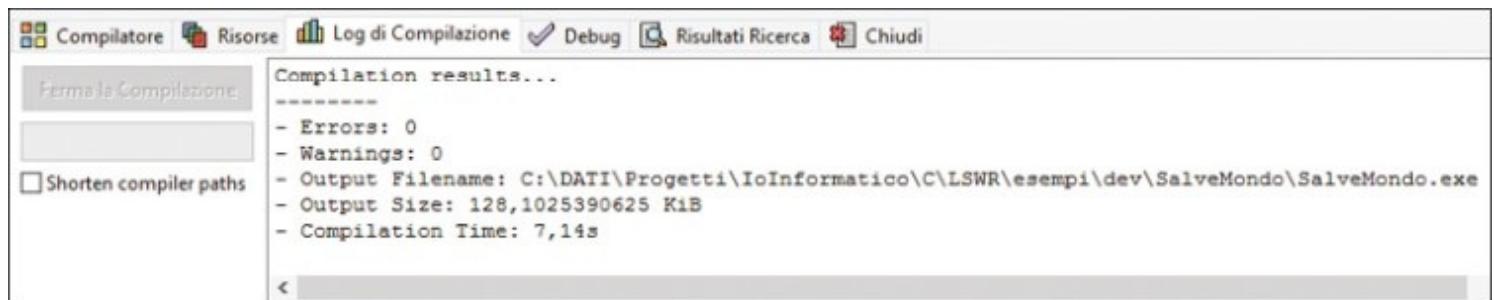


Figura 2.5 – La conferma dell’avvenuta compilazione.

È forse utile qualche parola su tali elementi. Per **errore** si intende una situazione talmente grave da impedire la compilazione del nostro programma. Il caso più classico è la mancanza del simbolo punto e virgola richiesto per terminare un’istruzione.

Un **warning**, invece, è “semplicemente” un avvertimento: il sistema ci segnala una situazione che teoricamente potrebbe causare qualche malfunzionamento o comportamento anomalo. Tuttavia ciò non impedisce la compilazione e la relativa creazione del file eseguibile.

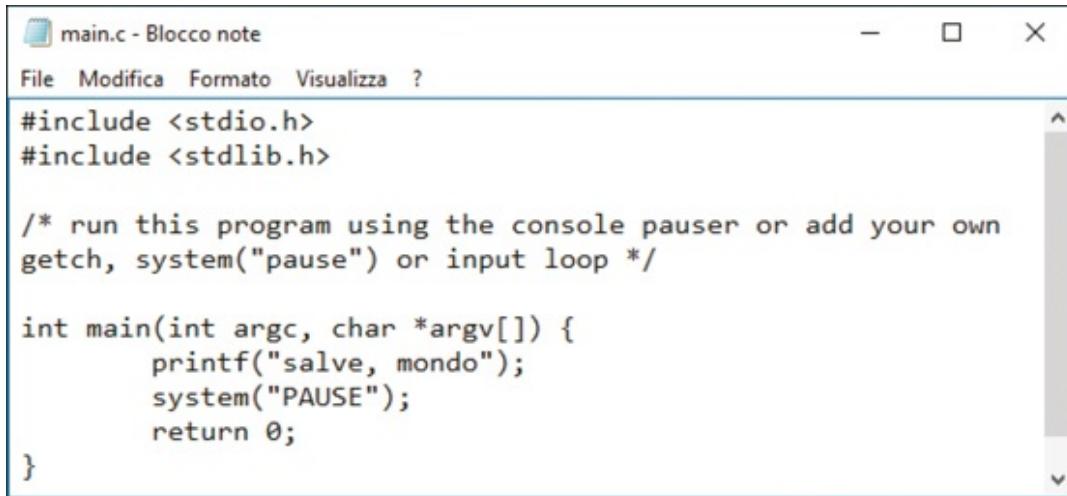
Ma se avete fatto le cose per bene dovreste avere sul vostro hard disk, nella cartella scelta per il progetto, il file eseguibile con il nostro primo programma. Per essere il più chiaro possibile vi mostro nella Figura 2.6 l’intero insieme di file prodotti durante questa prima breve sessione di lavoro.

Nome	Dimensione
main.c	1 KB
main.o	1 KB
Makefile.win	2 KB
SalveMondo.dev	1 KB
SalveMondo.exe	129 KB

Figura 2.6 – Il contenuto della cartella relativa al nostro primo programma.

All'interno della cartella riconoscerete innanzitutto il file main.c.

Tale file, come già detto, non è altro che un semplice file di testo contenente il nostro codice sorgente. Per averne la prova, se proprio non vi fidate, potete utilizzare il semplice **Blocco note** di Windows che mostrerà che non stavo mentendo. Ne avete prova nella Figura 2.7.



The screenshot shows a Windows Notepad window titled "main.c - Blocco note". The menu bar includes "File", "Modifica", "Formato", "Visualizza", and "?". The code in the main editor area is:

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

/* run this program using the console pauser or add your own
getch, system("pause") or input loop */

int main(int argc, char *argv[]) {
    printf("salve, mondo");
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Figura 2.7 – Il contenuto del file main.c mostrato nel Blocco note.

Sempre nella stessa cartella troviamo, ovviamente, il file di progetto **SalveMondo.dev**. Tale file è anch'esso di testo puro e contiene le informazioni di base del nostro progetto in una modalità classica usata dai file .ini di Windows (Figura 2.8).



The screenshot shows a Windows Notepad window titled "SalveMondo.dev - Blocco note". The menu bar includes "File", "Modifica", "Formato", "Visualizza", and "?". The code in the main editor area is:

```
[Project]
FileName=SalveMondo.dev
Name=SalveMondo
Type=1
Ver=2
ObjFiles=
Includes=
Libs=
PrivateResource=
ResourceIncludes=
MakeIncludes=
```

Figura 2.8 – Il contenuto del file di progetto mostrato nel Blocco note.

Ma sicuramente il file più importante è quello eseguibile, il nostro primo vero e proprio programma: **SalveMondo.exe**.

Per lanciare il nostro programma sarà allora sufficiente fare un doppio clic sul file in questione all'interno della nostra cartella ottenendo l'esecuzione del programma stesso, così come mostrato in Figura 2.9.

C:\Esempi\Dev-Cpp\SalveMondo\SalveMondo.exe
salve, mondoPremere un tasto per continuare . . .

Figura 2.9 – Il programma “SalveMondo” in esecuzione all’interno della console DOS.

Non è niente di eccezionale, ma è sempre preferibile partire dalle cose semplici. Una volta afferrati i meccanismi di base sarà possibile realizzare programmi man mano più complessi senza eccessive difficoltà.

Incidentalmente faccio ancora notare, se mai ce ne fosse ancora la necessità, che la dicitura “premere un tasto per continuare . . .” è il risultato dell’istruzione `system("PAUSE")`, che impedisce alla finestra DOS di chiudersi lasciandoci la possibilità di visualizzare l’output del nostro programma.

C’è da dire che, durante lo sviluppo del codice, lanciare l’applicazione dall’interno della cartella non è molto pratico. Infatti, di norma la codifica delle istruzioni procede per raffinamenti successivi che vanno verificati con una compilazione e la successiva esecuzione. Per agevolare tale fase di testing l’ambiente di sviluppo mette a disposizione il comando **Compila & Esegui** presente nel menu **Esegui** (Figura 2.10).

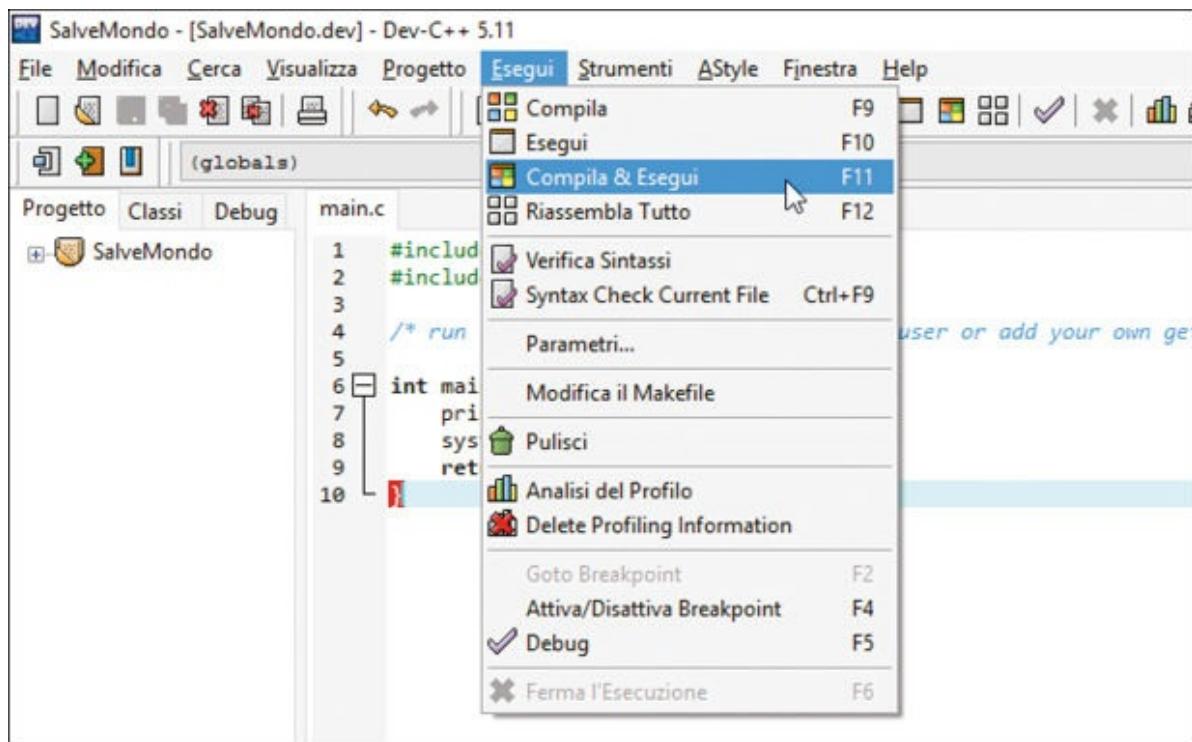


Figura 2.10 – La voce di menu Compila & Esegui.

Tale comando provvede a compilare il progetto e a lanciare in automatico l’esecuzione del file

appena compilato. Il tutto con un notevole risparmio di tempo.

Per completare la panoramica delle attività svolte dall’ambiente di sviluppo non ci rimane che analizzare gli altri due file presenti nella cartella del progetto: **Makefile.win** e **main.o**.

Il primo, Makefile.win, è il cosiddetto **makefile**, ovvero un file di testo, una parte del quale è visibile in Figura 2.11, che contiene le disposizioni e le opzioni che il compilatore, richiamato dall’ambiente di sviluppo, deve eseguire per convertire il nostro codice sorgente in codice macchina e quindi in un file eseguibile.



```
# Project: SalveMondo
# Makefile created by Dev-C++ 5.11

CPP      = g++.exe
CC       = gcc.exe
WINDRES  = windres.exe
OBJ     = main.o
LINKOBJ = main.o
LIBS    = -L"C:/Program Files (x86)/Dev-Cpp/MinGW64/lib" -L"C:/Program Files (x86)/Dev-Cpp/MinGW64/x86_64-w64-mingw32/lib" -static-libgcc
INCS   = -I"C:/Program Files (x86)/Dev-Cpp/MinGW64/include" -I"C:/Program Files (x86)/Dev-Cpp/MinGW64/x86_64-w64-mingw32/include" -I"C:/Program Files (x86)/Dev-Cpp/MinGW64/lib/gcc/x86_64-w64-mingw32/4.9.2/include"
CXXINCS = -I"C:/Program Files (x86)/Dev-Cpp/MinGW64/include" -I"C:/Program Files (x86)/Dev-Cpp/MinGW64/x86_64-w64-mingw32/include" -I"C:/Program Files (x86)/Dev-
```

Figura 2.11 – Il contenuto del file Makefile.win.

Qualche parola, infine, sul file main.o. Tale file risulta essere il prodotto intermedio tra il file sorgente e l’eseguibile finale. Esso prende di norma il nome di **file oggetto**. Si tratta di un **file binario** che per poter diventare file eseguibile a tutti gli effetti deve ancora passare attraverso una fase nota con il nome di **linking**. Tale fase, realizzata da un componente noto appunto come **linker**, consente di collegare al file oggetto eventuali funzioni di cui dovesse necessitare. Solo alla fine di tale fase verrà prodotto il file eseguibile finale.

Salutiamo il mondo da Code::Blocks

Nel precedente capitolo vi ho proposto una carrellata di ambienti di sviluppo. Credo sia importante poter scegliere gli strumenti software che più si adattano alle nostre esigenze e, perché no, ai nostri peculiari gusti personali. È in questa ottica che vi fornisco una veloce panoramica relativa all'uso dell'ambiente di sviluppo **Code::Blocks**, anch'esso gratuito.

L'ultima versione disponibile la trovate all'indirizzo: www.codeblocks.org. A tal proposito può far sorridere quanto riportato nelle FAQ (Frequently Asked Questions), ovvero le domande più frequenti relative allo specifico argomento sul sito in questione:

Domanda: Quando verrà rilasciata la prossima versione stabile di Code::Blocks?

Risposta: Quando essa sarà pronta.

Domanda: Ma quando sarà pronta?

Risposta: Quando essa verrà rilasciata.

Si capisce il tono informale e scherzoso degli autori. Più volte mi vedrete ribadire ed evidenziare questo senso di leggerezza e divertimento con il quale gli informatici trattano il mondo della programmazione e più in generale dell'informatica. Più saprete vivere con questo spirito il contesto dello sviluppo software e più semplice e soddisfacente sarà la vostra vita "digitale".

Uno degli aspetti interessanti di Code::Blocks è la sua disponibilità su più piattaforme: Windows, Mac e Linux. Per il download dovete ovviamente fare riferimento alla cosiddetta **binary release**. Si tratta della versione binaria da installare. Le altre versioni si riferiscono invece al "source code", ovvero al codice sorgente. Sempre in relazione alla versione binaria, ne esiste una di dimensioni più leggere che contiene il solo IDE senza il compilatore. Potrebbe invece convenire, per semplicità di installazione, scaricare quella comprensiva di compilatore. È sempre importante leggere con attenzione le varie note proposte sui vari siti sui quali ci troviamo a ricercare e scaricare materiale. Tali siti e i loro contenuti possono infatti variare con una certa frequenza. Nel caso doveste avere problemi di traduzione dall'inglese potrete sempre utilizzare i vari servizi di traduzione presenti su Internet.

Una volta scaricato, installato e lanciato l'ambiente, siete pronti per creare il vostro primo "Salve mondo" con questo nuovo strumento di sviluppo. Per creare un nuovo progetto selezionate la voce **New - Project** all'interno del menu **File** (Figura 2.12). In effetti, il supporto per le lingue diverse dall'inglese di Code::Blocks non è quello di Dev-C++. In ogni caso ci si deve abituare a usare ambienti in lingua inglese e anche a trovare documentazione in tale lingua. La percentuale di sviluppatori che usano l'italiano è ovviamente minima rispetto alla quasi totalità che usa l'inglese come lingua principale per lo scambio di informazioni. In buona sostanza vi sto esortando, nel caso ne aveste bisogno, ad affiancare alla lettura del manuale che avete dinanzi anche un corso di lingua inglese.

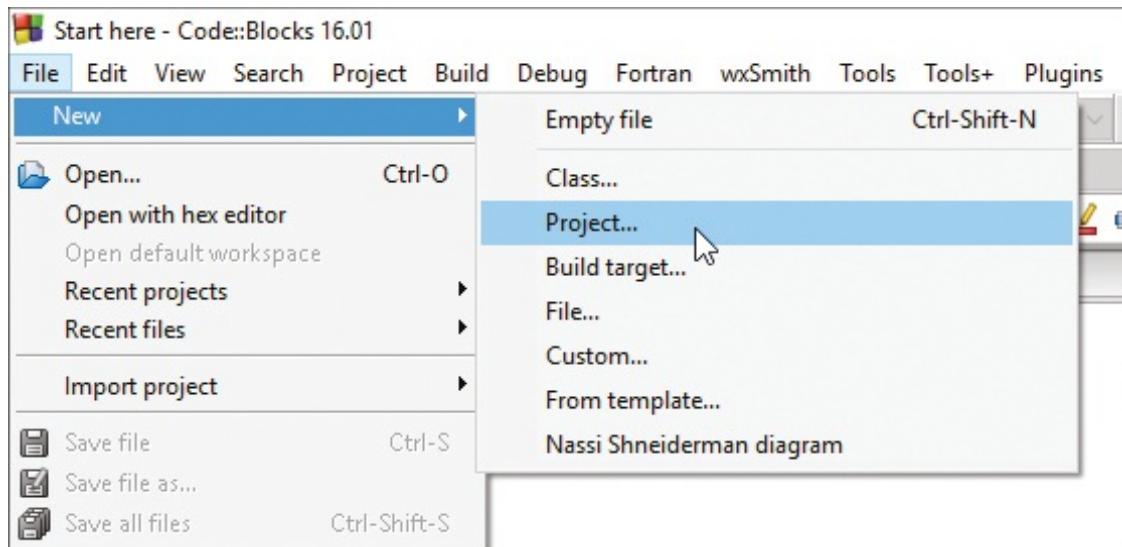


Figura 2.12 – La voce di menu per la creazione di un nuovo progetto con Code::Blocks.

A questo punto dovreste, come già visto nel caso di Dev-C++, selezionare come tipo di progetto “Console application” (Figura 2.13).

Procedendo con il **wizard**, ovvero la procedura guidata, potrete selezionare il linguaggio scelto, nel nostro caso il C piuttosto che il C++, che vedremo invece più avanti durante il nostro viaggio. La finestra di dialogo successiva (Figura 2.14) consente la scelta del nome del progetto e la relativa cartella nella quale saranno salvati i file della nostra applicazione.

Vi faccio notare come nel caso di Code::Blocks sarebbe possibile scegliere un nome di file differente per il titolo del progetto rispetto al nome del file usato per salvare le informazioni sul progetto stesso.

Infine, viene visualizzata la finestra nella quale potremmo selezionare uno specifico compilatore e dare specifiche indicazioni per le **versioni debug** e **versioni release** del progetto (Figura 2.15).

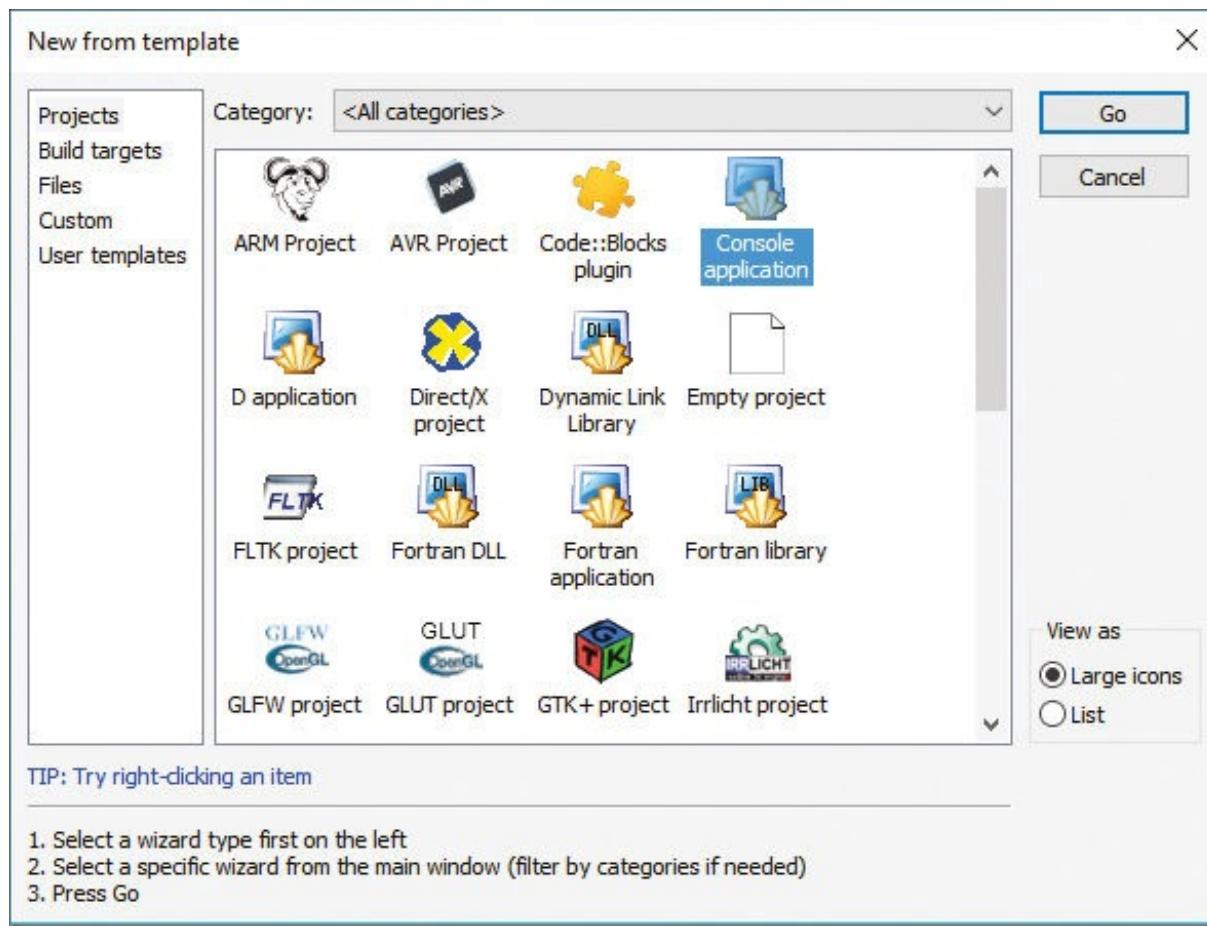


Figura 2.13 – La scelta del progetto di tipo console con Code::Blocks.

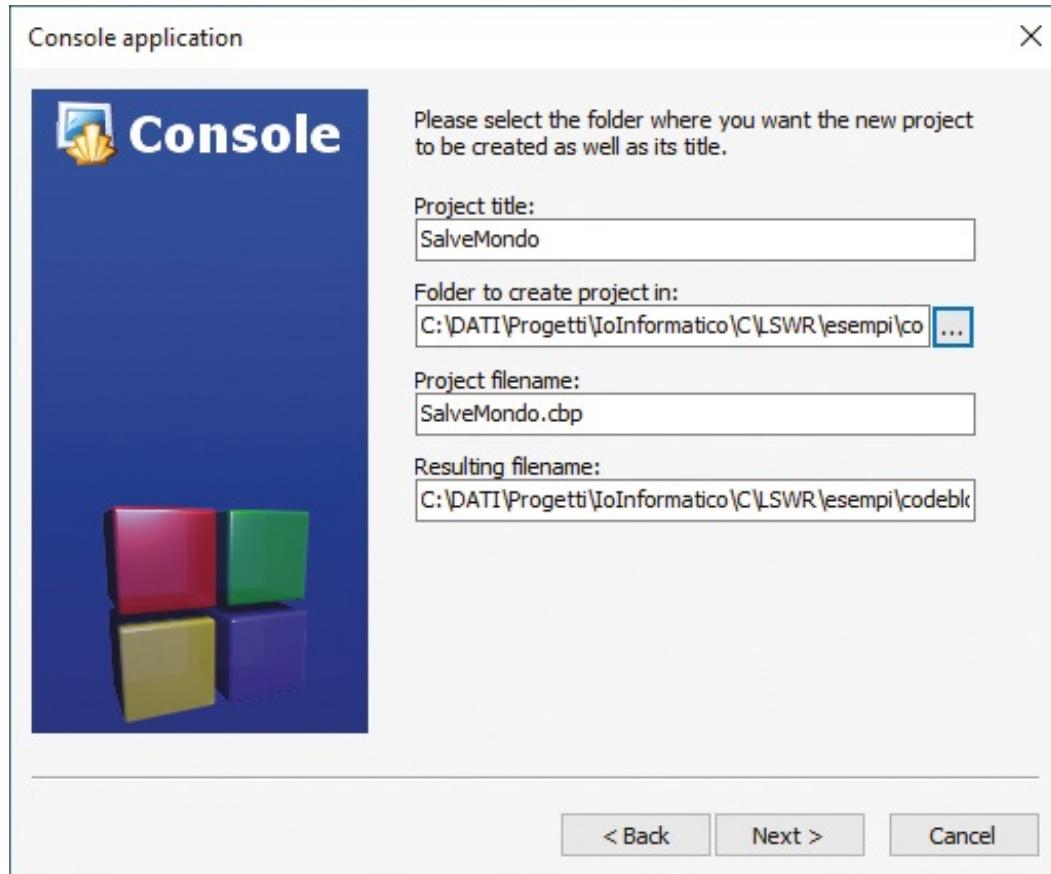


Figura 2.14 – La finestra di dialogo per l’indicazione del nome del progetto.

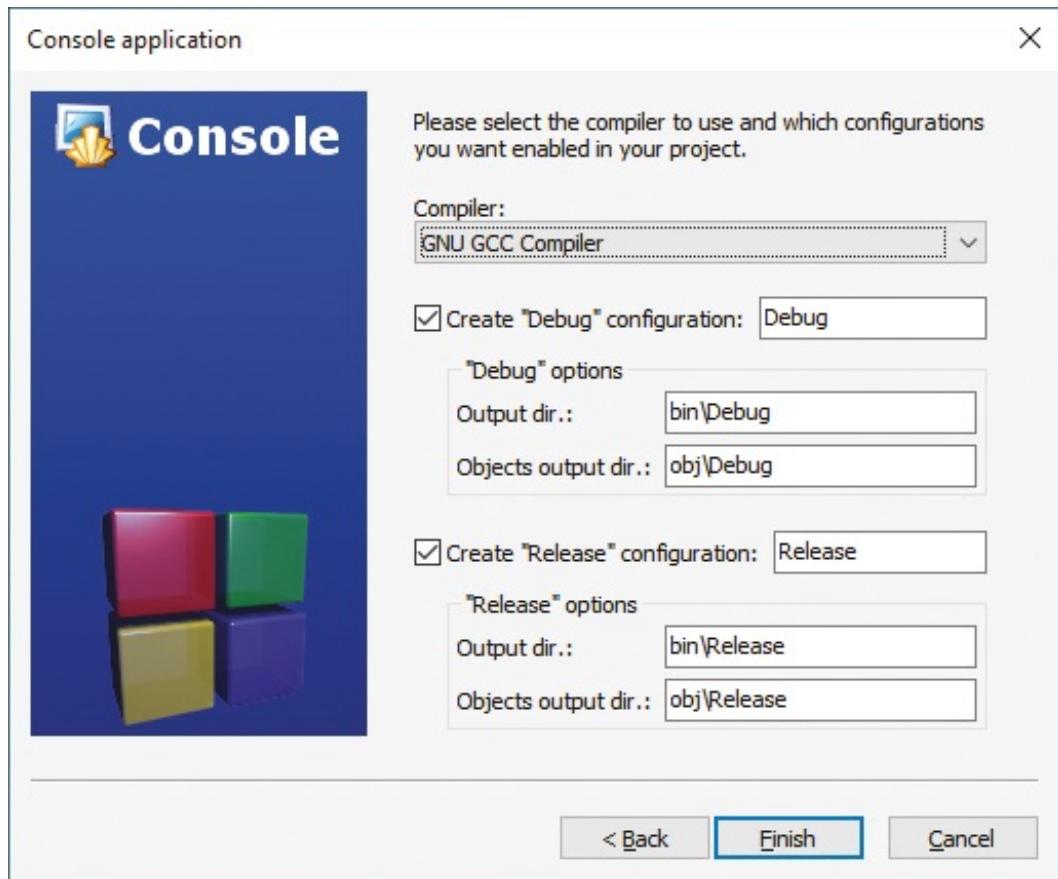


Figura 2.15 – La finestra di dialogo finale per la creazione del progetto con Code::Blocks.

Vale la pena di spendere qualche parola a proposito di tali versioni. Come vedremo in dettaglio più avanti, per poter **debuggare**, ovvero effettuare il debug e quindi eliminare errori dal nostro codice, è necessario che l'ambiente inserisca nel file eseguibile una serie di informazioni addizionali che ci consentano appunto tali operazioni. Tale file prende il nome di versione di debug.

Ovviamente si tratta di un file più grande del necessario rispetto a quello che dovrà essere l'eseguibile finale. Tale file, infatti, una volta testato e compilato non avrà alcuna necessità di contenere informazioni addizionali di debug. Anzi, oltre alla questione della dimensione la presenza di tali informazioni rappresenta un rischio per la sicurezza dell'eseguibile stesso che potrebbe essere più facilmente **decompilato**, ovvero potrebbe essere più facile capirne il funzionamento interno da parte di malintenzionati che potrebbero modificarlo per scopi diversi da quelli per i quali è stato creato. Per fare un esempio, una possibile protezione posta al suo interno potrebbe essere più facilmente rimossa in caso di presenza di informazioni di debug.

E dunque, una volta confermate tutte le scelte effettuate durante la procedura guidata, l'ambiente mostrerà a video un modello, noto come **template**, così come visto per Dev-C++ con le istruzioni minimali necessarie per poter compilare il progetto (Figura 2.16).

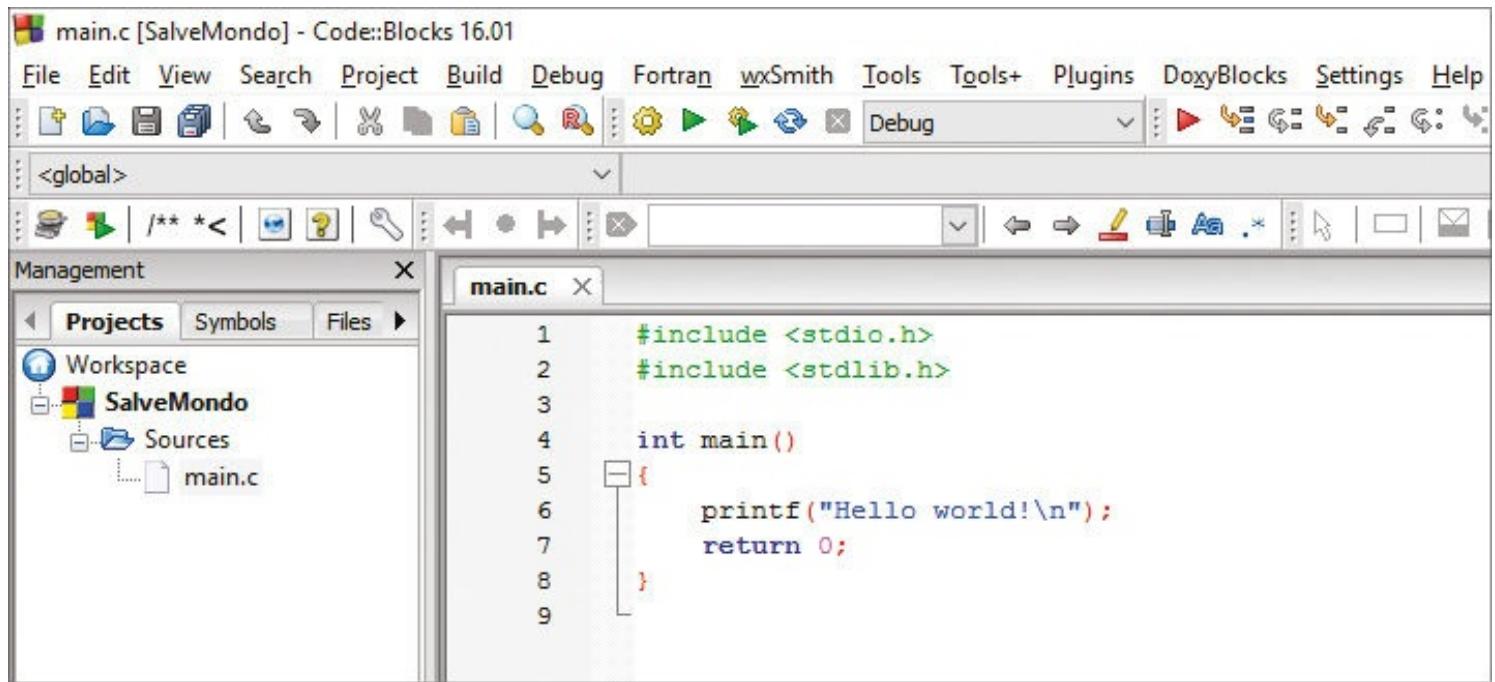


Figura 2.16 – Code::Blocks mostra il template predefinito per un nuovo progetto.

Le istruzioni, che riporto di seguito, sono in effetti del tutto simili a quanto già visto per Dev-C++ e quindi per esse non spenderò più di tanto altre parole.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main()
{
    printf("Hello world!\n");
    return 0;
}
```

Una cosa da notare è il fatto che, nel caso di Code::Blocks, è l'ambiente stesso a predisporre per noi l'istruzione che ci consente di salutare il mondo. Per quanto riguarda la compilazione del nostro eseguibile, troverete tale funzionalità con il nome di **Build**, all'interno dell'omonimo menu. Per quanto riguarda invece la funzionalità Compila & Esegui di Dev-C++ ne troverete una analoga sempre all'interno dello stesso menu con il nome **Build and run**.

Le variabili e il mondo esterno

Chiunque abbia perso la nozione del tempo mentre usava un computer conosce la propensione a sognare, il bisogno di realizzare i propri sogni e la tendenza a saltare i pasti.

Tim Berners-Lee

Uno degli aspetti basilari del software è la sua capacità di adattarsi a risolvere determinati problemi indipendentemente dai dati specifici a essi legati. Mi spiego: un programma che serve per ordinare un insieme di numeri interi deve poter funzionare su qualsiasi sequenza di numeri interi forniti in input e non solo su una sequenza specifica. Il concetto cardine alla base di questa considerazione è quello di variabile.

Una **variabile** può essere immaginata come una scatola che rechi un'etichetta con un nome che ne indichi il possibile contenuto. In tale scatola potremo andare a inserire tutti gli oggetti del tipo specifico per cui la scatola stessa è stata costruita. Immaginiamo, ad esempio, delle scatole con la scritta “luci di natale”; in tali scatole andremo a riporre tutte le lucine che utilizziamo per i nostri addobbi natalizi (ma sicuramente non i pastori del presepe, per i quali avremo una scatola separata con appropriata etichetta).



Figura 3.1 – Una rappresentazione per il concetto di variabile.

Nel caso di programmi per computer le tipologie di scatole servono a contenere dati come

numeri, singoli caratteri, insiemi di caratteri e altri oggetti similari.

Prima di poter utilizzare una variabile è buona norma dichiararne il nome e la relativa tipologia. In realtà, nel caso del linguaggio C, questa più che essere una prassi consigliata è un obbligo assoluto: ogni variabile deve essere esplicitamente e preventivamente dichiarata in una forma come la seguente:

```
int x;
```

dove `int` specifica il tipo della variabile (in questo caso un numero intero) e `x` il nome della variabile stessa. Tale fase e la relativa istruzione prendono il nome di **dichiarazione della variabile**.

Il seguente semplice esempio illustra come dichiarare una variabile all'interno di un programma.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int x;
    x = 3;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

La prima istruzione all'interno del `main` serve a dichiarare la variabile `x`, la seconda assegna alla variabile `x` il valore `3`.

Ovviamente un tale programma non ha nessun senso, in quanto non è previsto alcun tipo di output da parte del programma stesso. Vediamo allora come porre rimedio a questa situazione facendo sì che il nostro codice stampi il valore della variabile `x`.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int x;
    x = 3;
    printf("Il valore della variabile e': %d", x);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Nella Figura 3.2 vi mostro il risultato dell'esecuzione del codice appena visto.

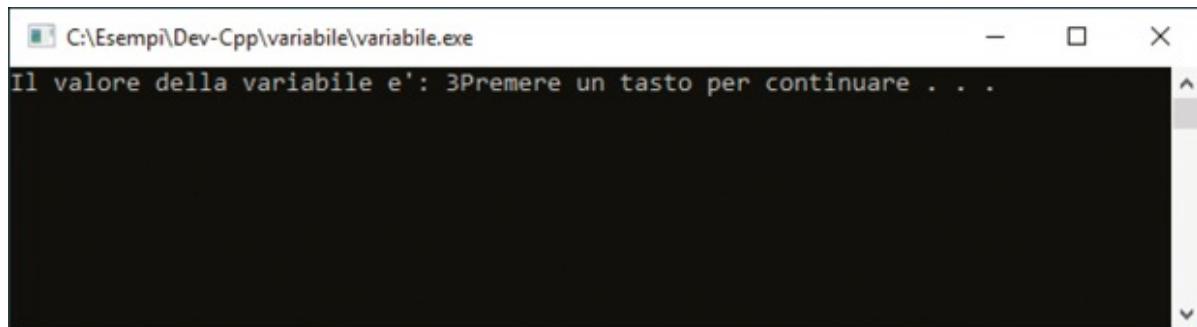


Figura 3.2 – La stampa del valore della variabile.

La novità sostanziale di questo pezzo di codice è il nuovo uso che facciamo della funzione `printf`. Nel capitolo precedente avevamo visto come utilizzare la funzione `printf` per stampare una stringa costante (il nostro “Salve, mondo”). In questo caso abbiamo la necessità di inserire nella stampa anche il valore della variabile.

L’errore più comune commesso da chi tenta di stampare una variabile per la prima volta è di utilizzare un’istruzione come la seguente:

```
printf("Il valore della variabile e': x"); /* ERRATO */
```

A scanso di equivoci ho posto un commento dopo l’istruzione per segnalare che si tratta di un uso scorretto della `printf`. Infatti, il risultato di una simile istruzione sarebbe quello di stampare il nome della variabile e NON il suo contenuto. Per farlo dobbiamo invece posizionare, all’interno della stringa che vogliamo stampare, una speciale combinazione di caratteri che faccia capire al sistema che quello che stiamo indicando non è un semplice carattere ma un sorta di segnaposto. Tale segnaposto rappresenta quindi la posizione nella quale il compilatore andrà a sostituire il valore della variabile indicata nella seconda parte della funzione `printf`. Come visto tale segnaposto è dato dai simboli `%d`.

```
printf("Il valore della variabile e': %d", x);
```

Figura 3.3 – L’uso del segnaposto `%d` per la stampa del valore di una variabile.

In realtà il vero carattere speciale del nostro segnaposto è il simbolo di percentuale `%`, mentre il simbolo ‘`d`’ che segue serve a indicare che ciò che vogliamo stampare è un intero. Più avanti vi mostrerò come cambia il segnaposto in caso di stampa di valori differenti dagli interi come, ad esempio, nel caso di numeri con la virgola oppure di caratteri generici.

Se fate bene attenzione al contenuto della `printf` scoprirete che nella frase “Il valore della variabile e’:” la voce verbale `e’` (terza persona singolare del verbo essere) non è un singolo carattere ma viene scritta combinando la lettera “`e`” seguita da un apostrofo. Il motivo è dato dal fatto che il simbolo “`è`” rappresenta un carattere speciale che darebbe un risultato non corretto in fase di stampa come potete osservare nella Figura 3.4.

NOTA

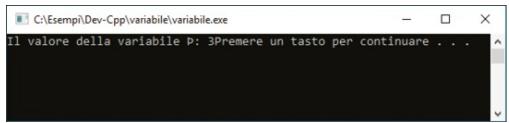


Figura 3.4 – L’errata visualizzazione del carattere “è” (ovvero la “e” accentata).

Andiamo a capo

Come potete notare dall'output della finestra console, la visualizzazione della stringa con la stampa del valore della nostra variabile di esempio si accoda all'output della funzione `system("PAUSE");` che visualizza il messaggio “Premere un tasto per continuare . . .”.

Il motivo è dato dal fatto che la funzione `printf` non inserisce automaticamente nel suo output il carattere di ritorno a capo; questo deve, invece, essere esplicitamente inserito con una specifica sequenza di caratteri speciali: `\n`. Tale sequenza è realizzata attraverso il simbolo noto come **backslash**, ovvero la barra rovesciata e la lettera `n`. Tale lettera ha appunto il significato di **newline**, ovvero “nuova linea”. Di seguito vi presento un esempio di come deve essere modificata l'istruzione `printf` e poi chiarisco i dettagli:

```
printf("Il valore della variabile e': %d\n", x);
```

Come potete osservare all'interno della stringa da stampare, e più precisamente nel punto in cui vogliamo forzare un ritorno a capo su di una nuova linea, inseriamo la sequenza “`\n`”.

L'effetto, mostrato nella Figura 3.5, sarebbe lo stesso se utilizzassimo la sequenza “`\n`” in una differente `printf`:

```
printf("Il valore della variabile e': %d", x);
printf("\n");
```

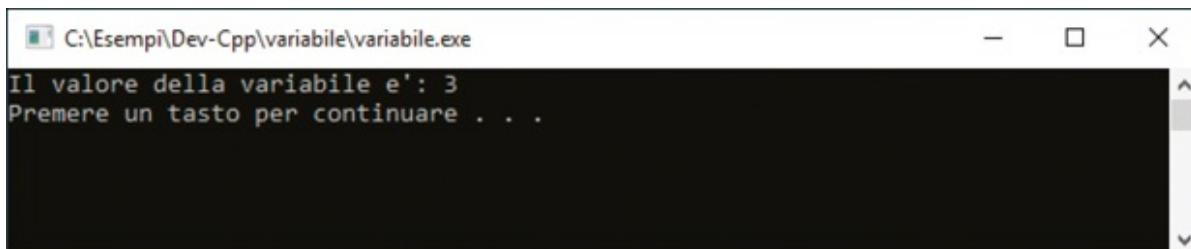


Figura 3.5 – L'effetto dell'uso della sequenza “\n” per forzare il ritorno a capo.

NOTA

Tale sequenza, che prende il nome di “sequenza di controllo” o più spesso di “**sequenza di escape**”, utilizzata per il cosiddetto newline, non è la sola possibile. Infatti, ad esempio, la sequenza “`\t`” serve per inserire un carattere di tabulazione oppure “`\a`” per forzare un piccolo effetto di avviso sonoro.

Input e output di base

Ok, qualche paletto fondamentale lo abbiamo posto. Tuttavia, non ci vuole un genio della programmazione per capire che il precedente programma non ha alcun senso o utilità pratica in quanto non prevede la gestione dell'input.

Vi propongo quindi, con il seguente programma, un uso un po' più realistico di una variabile presentandovi in questo modo la funzione `scanf`, che rappresenta uno dei modi predefiniti di gestire l'input con il linguaggio C. Richiediamo allora all'utente del nostro programma la digitazione di un numero, associamo il numero digitato ad una variabile di tipo intero, stampando successivamente la variabile stessa (o meglio, il suo contenuto).

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int x;

    scanf("%d", &x);
    printf("Il numero digitato e': %d \n", x);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Subito dopo il `main` dichiariamo la variabile di nome `x` specificando che è di tipo intero. L'istruzione `scanf` preleva da tastiera ciò che digitiamo e cerca di considerarlo come numero intero (attraverso la simbologia `%d`) e lo associa a `x` (utilizzando il simbolo `&`).

Infine, l'istruzione `printf` combina in una stringa finale il risultato voluto.

Come potete osservare non c'è niente di particolarmente complesso se non il fare attenzione alla giusta sintassi della funzione `scanf`. Tuttavia, colgo l'occasione per mostrarvi un aspetto cruciale di quello che va sotto il nome di **interfaccia user friendly** (letteralmente interfaccia amichevole con l'utente) invitandovi a osservare la Figura 3.6:



Figura 3.6 – L'interfaccia scarsamente “amichevole” di un programma.

Il nostro programma, quando parte, subito dopo la dichiarazione della variabile `x`, passa all'esecuzione dell'istruzione `scanf`. Tale istruzione visualizza a video un trattino lampeggiante che rimane in attesa del nostro input. Nel momento in cui inseriamo un numero qualsiasi, e lo confermiamo con il tasto “Invio”, la `scanf` si “completa” assegnando a `x` il valore inserito mentre la `printf` successiva provvede a stampare tale valore. Si intuisce come un ipotetico utente del nostro programma possa rimanere quantomeno perplesso all'avvio della nostra applicazione:

trovarsi di fronte una finestra con un trattino lampeggiante senza una minima indicazione di quanto richiesto può lasciare interdetti molti utenti. Se poi ci aggiungiamo il fatto che molti dei nostri utenti potrebbero essere, più che degli utenti, dei veri e propri “**utonti**”, ovvero “utenti tonti”, potete immaginare il risultato che potremmo ottenere.

Il senso di tutto ciò è che dobbiamo rendere i nostri programmi nella maniera più esplicita possibile rispetto a ciò che essi richiedono agli utenti, fornendo sempre un’interfaccia che sia la più chiara e comunicativa possibile. Nello specifico facciamo quindi una piccolissima modifica al nostro codice aggiungendo, prima della `scanf`, una istruzione `printf` con la quale richiediamo all’utente di inserire un certo valore numerico.

```
printf("Inserisci un numero: ");
scanf("%d", &x);
```

Il risultato finale sarà ciò che vi mostro nella Figura 3.7.



Figura 3.7 – L’interfaccia maggiormente user friendly del nostro programma.

Tipologie di variabili

Nel linguaggio C, oltre al semplice tipo `int`, esistono diversi tipi di variabili fondamentali:

- **char** un carattere;
- **short** intero piccolo;
- **int** intero standard;
- **long** intero grande;
- **float** numero in virgola mobile in singola precisione;
- **double** numero in virgola mobile in doppia precisione.

È possibile “qualificare” ulteriormente questi tipi di dati utilizzando l’attributo `unsigned` come ad esempio: `unsigned char`, `unsigned short`, `unsigned long`. In questo modo gli elementi gestiti verranno considerati senza segno con l’ovvia conseguenza di poter gestire numeri positivi più grandi.

Da notare come la grandezza dei numeri esprimibili con i vari tipi di variabili dipenda dalla specifica architettura hardware e software utilizzata.

Per conoscere con esattezza quanti byte vengono riservati per la rappresentazione della specifica variabile su di una specifica architettura hardware è possibile utilizzare la parola chiave del C definita come `sizeof`. Tale operatore è applicabile sia al tipo della variabile sia alla variabile specifica.



Figura 3.8 – L’uso dell’istruzione `sizeof` consente di determinare lo spazio occupato da uno specifico tipo di variabile.

A titolo di esempio vi mostro come sia possibile capire quanti byte vengano utilizzati per un intero:

```
int x;
printf("Dimensione intero: %d byte\n", sizeof(int));
printf("Dimensione variabile x: %d byte\n", sizeof(x));
```

Le due `printf` produrranno ovviamente, come mostrato in Figura 3.8, lo stesso risultato essendo la prima applicata al tipo di variabile `int` e la seconda alla specifica variabile `x` appunto di tipo intero.

Per ottenere una panoramica generale sull’occupazione di memoria da parte delle varie tipologie di variabili potete fare riferimento alle seguenti istruzioni:

```
printf("Dimensione char: %d byte\n", sizeof(char));
printf("Dimensione short: %d byte\n", sizeof(short));
printf("Dimensione int: %d byte\n", sizeof(int));
```

```
printf("Dimensione long: %d byte\n", sizeof(long));
printf("Dimensione float: %d byte\n", sizeof(float));
printf("Dimensione double: %d byte\n", sizeof(double));
```

che produrranno qualcosa di simile a quanto mostrato in Figura 3.9.



```
C:\Esempi\Dev-Cpp\dimensione_variabili\dimensione_variabili.exe
Dimensione char: 1 byte
Dimensione short: 2 byte
Dimensione int: 4 byte
Dimensione long: 4 byte
Dimensione float: 4 byte
Dimensione double: 8 byte
Premere un tasto per continuare . . .
```

Figura 3.9 – L’occupazione di spazio di memoria dei vari tipi di variabili.

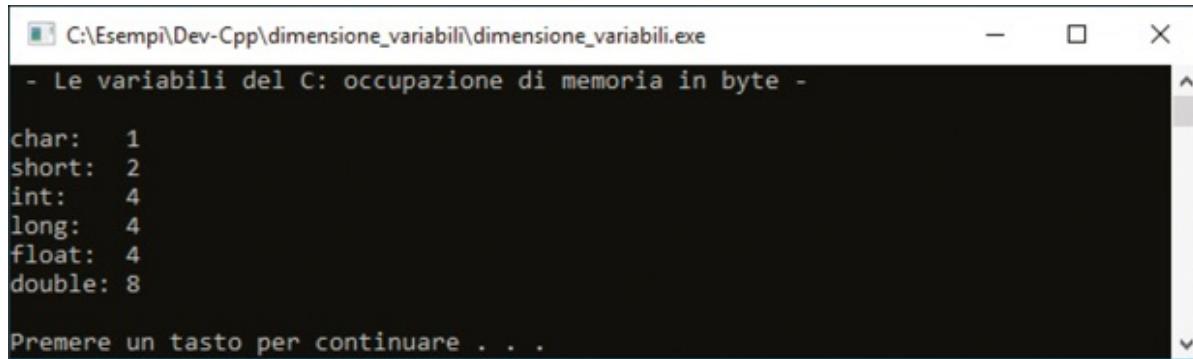
Anche l'occhio vuole la sua parte

Sicuramente il codice appena scritto raggiunge lo scopo di visualizzare l'occupazione di memoria dei vari tipi di variabili. Tuttavia, osservando con un mimino di attenzione la Figura 3.9 potrete notare come l'output appare disordinato e ripetitivo. La definizione di disordinato nasce dal fatto che i numeri che esprimono l'occupazione in byte dei vari tipi di variabili non sono incolonnati mentre la definizione di ripetitivo scaturisce dal fatto che la parola "Dimensione", così come la parola "byte", vengono inutilmente ripetute per ogni singola riga.

Una possibile soluzione per ottimizzare il risultato visivo in output può essere data dal seguente nuovo codice:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    printf(" - Le variabili del C: occupazione di memoria in byte - \n\n");
    printf("char:\t%d\n", sizeof(char));
    printf("short:\t%d\n", sizeof(short));
    printf("int:\t%d\n", sizeof(int));
    printf("long:\t%d\n", sizeof(long));
    printf("float:\t%d\n", sizeof(float));
    printf("double:\t%d\n", sizeof(double));
    printf("\n");
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Tale codice produrrà l'output mostrato nella Figura 3.10.



The screenshot shows a terminal window titled "C:\Esempi\Dev-Cpp\dimensione_variabili\dimensione_variabili.exe". The output is as follows:

```
- Le variabili del C: occupazione di memoria in byte -

char: 1
short: 2
int: 4
long: 4
float: 4
double: 8

Premere un tasto per continuare . . .
```

Figura 3.10 – Una versione migliorata del programma relativo all'occupazione di memoria delle variabili.

Come potrete facilmente osservare, la prima variazione rispetto alla versione precedente riguarda l'utilizzo di una sorta di titolo con tanto di doppio "\n" per lasciare un po' di spazio tra il titolo stesso e le colonne dei risultati. Inoltre, nell'output delle colonne ho utilizzato la sequenza di escape "\t" che inserisce, piuttosto che un semplice spazio, un carattere di tabulazione. Ciò consente un elegante allineamento dei valori numerici. Infine, un'ulteriore sequenza di escape "\n" consente di inserire una riga vuota prima del messaggio generato dal comando "PAUSE".

I nomi delle variabili

I nomi delle variabili devono sottostare ad alcune restrizioni, semplici ma assolutamente da rispettare. I nomi possono essere costituiti da lettere e numeri ma il primo carattere deve essere sempre una lettera.

Non è consentito utilizzare spazi all'interno di un nome di variabile ma è possibile, per maggiore chiarezza e leggibilità, utilizzare il simbolo di sottolineatura _ per unire più parole. Tale simbolo è più noto con il termine inglese di **underscore**.

Da notare che si fa differenza tra lettere minuscole e maiuscole, per cui x e X sono due variabili diverse. È consuetudine utilizzare le lettere minuscole per i nomi delle variabili mentre si utilizzano le maiuscole per le costanti di cui parliamo qui di seguito.

Le costanti

Non tutto nel mondo che ci circonda varia sistematicamente. Vi sono determinate situazioni fisse e invariabili all'interno di un dato contesto. Questi valori sono detti **costanti** e devono essere inseriti, quando richiesto, all'interno dei nostri programmi.

Tuttavia, un numero è normalmente qualcosa di abbastanza “freddo” e non sempre esplicativo. Noi umani siamo più abituati a gestire dei nomi, ai quali più facilmente riusciamo ad associare un concetto.

È possibile, in C, associare a un dato valore costante una sigla di nostra scelta nel modo seguente:

```
#define PI_GRECO 3.14
```

Con questa direttiva, da inserire prima del `main`, avremo la possibilità di utilizzare la sigla `PI_GRECO` al posto del numero `3.14` ovunque venga richiesto. Otteniamo in questo modo una maggiore leggibilità del programma, da parte nostra o di qualunque altro programmatore che si troverà alle prese con il nostro codice. Incidentalmente vi faccio notare come, in un numero, la virgola venga sostituita dal punto. Come detto, la prassi vuole che i nomi delle costanti siano scritti in maiuscolo.

Ritengo utile proporvi in questo contesto un semplice e classico esempio di uso di costanti relativo al calcolo dell'area di un cerchio, che utilizza appunto il numero pi greco. Il programma si limiterà a chiedere all'utente il valore del raggio e calcolerà la relativa area con la nota formula per la quale si moltiplica il raggio per se stesso e quindi per pi greco. Vi anticipo, rispetto a quanto vi proporrò più avanti, che la moltiplicazione si ottiene utilizzando il simbolo `*`, ovvero l'**asterisco**, più comunemente chiamato **star** come in lingua inglese.

```
#define PI_GRECO 3.14
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    float raggio;
    float area;
    printf("Inserisci il raggio del cerchio: ");
    scanf ("%f", &raggio);
    area=raggio*raggio*PI_GRECO;
    printf("L'area del cerchio e': %f\n", area);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Vale forse la pena spendere qualche parola sull'istruzione:

```
area=raggio*raggio*PI_GRECO;
```

Si tratta, come vedremo più in dettaglio nel prossimo capitolo, di una classica **istruzione di assegnazione** di valori a una variabile. La macchina esegue innanzitutto l'operazione di moltiplicazione posta sulla destra del segno di uguale e, solo successivamente a tale calcolo, assegna il risultato alla variabile `area` presente sulla sinistra.

Un altro aspetto utile relativo all'uso delle costanti può in alcuni casi essere quello di avere una maggiore possibilità di intervenire per una eventuale modifica del valore della costante. Infatti, non saremo costretti a cercare tutte le occorrenze all'interno del programma; sarà sufficiente una modifica nella direttiva `#define` una volta per tutte.

Un'altra possibilità nella gestione delle costanti è l'uso del modificatore `const`:

```
const int x = 3;
```

La parola chiave `const` istruisce il compilatore a rendere la variabile in questione non modificabile durante l'esecuzione del programma, mettendoci al riparo da eventuali possibili errori di programmazione costringendola di fatto a essere una costante.

Quando le costanti sono tante: le enumerazioni

È abbastanza comune che all'interno di un certo problema da gestire si presentino al nostro esame diversi elementi che risultano essere di tipo costante e organizzati in gruppi. Qualche classico esempio che potrà risultare chiarificatore può essere l'elenco dei giorni della settimana (lunedì, martedì ecc.), l'elenco dei mesi dell'anno (gennaio, febbraio ecc.) o i semi di un mazzo di carte (cuori, quadri, fiori, picche), solo per citarne alcuni.

Per poter gestire tali gruppi di elementi in maniera agevole potremmo pensare di creare una costante per ogni singolo elemento. Tuttavia, tale scelta presenta diversi aspetti critici. Forse il primo e più banale è dato dalla scelta del nome e dall'attenzione che dobbiamo porre su come tale nome viene scritto e quindi successivamente utilizzato nelle varie operazioni svolte dal nostro programma. Nel caso dei giorni della settimana, lunedì potremmo scriverlo come `Lunedì` oppure `lunedì`, solo per fare un esempio.

La scelta più complessa potrebbe però riguardare il tipo di dati. Un non esperto potrebbe pensare di trattare tale elemento come un nome. Scopriremo più avanti quanto è complesso gestire i nomi intesi come sequenze di caratteri. Tali elementi vengono definiti **stringhe** e comportano diversi tipi di problemi. Un'alternativa può essere associare all'elemento costante un numero intero (1, 2, 3 e così via). Potremmo ad esempio pensare di associare, nel caso dei giorni della settimana, il valore 1 al lunedì, il valore 2 al martedì e via dicendo. Tuttavia in questo caso dovremo sempre ricordarci che lunedì corrisponde a 1. Se per noi, infatti, il primo giorno della settimana è appunto il lunedì, cosa diversa avviene nel mondo anglosassone nel quale si parte dalla domenica; ricorderete l'elenco dei giorni in inglese: Sunday, Monday ecc. (da notare come in inglese i giorni della settimana si scrivano con l'iniziale maiuscola, contrariamente a quanto facciamo noi italiani).

Si capisce quindi che organizzare “manualmente” questa struttura è comunque abbastanza artificioso. Fortunatamente il C consente di manipolare queste situazioni con una specifica parola chiave **enum**. Il nome è giustificato dal fatto che tali situazioni prendono il nome di **enumerazioni**. Tale termine è un semplice sinonimo di elencazione. Con le enumerazioni possiamo associare un nome costante a un numero intero in maniera semplice e diretta.

Supponiamo di voler gestire l'elenco dei mesi dell'anno. La dichiarazione dell'enumerazione potrebbe essere la seguente:

```
enum mesi {gennaio = 1, febbraio, marzo, aprile, maggio, giugno, luglio, agosto,  
oppure, analogamente, ma in maniera decisamente più chiara:
```

```
enum mesi  
{  
    gennaio = 1,  
    febbraio,  
    marzo,  
    aprile,  
    maggio,  
    giugno,  
    luglio,  
    agosto,  
    settembre,
```

```
ottobre,  
novembre,  
dicembre  
};
```

Vediamo di chiarirne il significato. L'enumerazione assegnerà al nome `gennaio` il valore `1`. In automatico il nome seguente `febbraio` assumerà il valore `2`, `marzo` il `3` e così via fino a `dicembre` che prenderà il valore `12`.

Il valore `1` al primo elemento è stato forzato da noi con una specifica assegnazione. Nel caso in cui non avessi proceduto all'assegnazione, il valore predefinito sarebbe stato zero con la conseguenza che `dicembre` si sarebbe visto assegnare il valore `11`.

In ogni caso, possiamo assegnare ai vari singoli elementi specifici valori di nostro interesse. Gli elementi non valorizzati prendono come valore quello dell'elemento precedente incrementato di una unità.

A dimostrazione del fatto che abbiamo comunque a che fare con valori di tipo intero, considerate il seguente pezzo di codice relativo all'enumerazione prima proposta:

```
printf("L'ultimo mese dell'anno e': %d\n", dicembre);
```

L'invito che vi rivolgo, convinto e pressante, è sempre quello di sperimentare personalmente i pezzi di codice proposti, modificandoli per soddisfare i vari dubbi di utilizzo che inevitabilmente si presentano utilizzando un dato costrutto.

Operiamo sui dati

Un buon programmatore è in grado di superare un linguaggio scarso o un sistema operativo confuso, ma anche un grande ambiente di programmazione non salverà un cattivo programmatore.

Brian Wilson Kernighan

Aiuto: quanti problemi!

Anche il più sprovveduto e distratto dei lettori potrà capire che un programma che legge un numero e lo restituisce così come lo abbiamo inserito vuole rappresentare un esempio introduttivo e non sicuramente un qualcosa di minimamente utile sul piano pratico. Un pappagallo in carne e penne sarebbe certamente più simpatico.

Preparare una torta, individuare il numero massimo tra un insieme di numeri dati, aprire una porta. I problemi che si possono immaginare sono innumerevoli. In generale, un **problema** è una situazione da risolvere per ottenere un certo risultato. Una gustosa torta, la soluzione a un quesito matematico, uscire da un ambiente chiuso.

In realtà, anche se in un primo momento può risultare strano, solo una piccola parte dell'universo dei problemi risulta essere risolvibile.

In ogni caso la risoluzione di un problema prevede innanzitutto la comprensione dei dati iniziali a disposizione (**input**) e ciò che si vuole ottenere (**output**). Tale fase va sotto il nome di **analisi**. A questo punto, sfruttando l'analisi, è necessario individuare i passi, vale a dire le operazioni che bisogna compiere (**procedura**) per ottenere il **risultato** atteso (Figura 4.1).

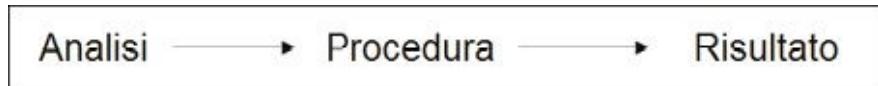


Figura 4.1 – I passi necessari per la risoluzione di un problema.

La procedura da seguire per risolvere un dato problema è in informatica universalmente nota con il termine di **algoritmo**.

Algoritmo, la parola magica

Il termine algoritmo deriva dal soprannome di un matematico arabo del nono secolo, **Al-Khuwarizmi**. Tuttavia tale termine ha cominciato a interessare matematici e filosofi solo quando, grazie al progresso tecnologico, si iniziava ad intravedere la possibilità che delle macchine reali potessero risolvere in modo automatico determinati tipi di problemi.

Un'eccellente definizione di algoritmo la ritroviamo in **“The Art of Computer Programming”** di **Donald E. Knuth**.



Figura 4.2 – Donald E. Knuth.

Knuth è un matematico e il suo lavoro “The Art of Computer Programming” è sicuramente uno dei testi più completi relativi alle metodologie di soluzione dei problemi tramite calcolatore. Per Knuth, e noi siamo d'accordo con lui, un algoritmo è un **insieme di regole** (ovvero istruzioni) aventi le seguenti cinque caratteristiche:

- deve essere finito e concludersi dopo un numero finito di operazioni;
- deve essere definito e preciso (le istruzioni non devono essere ambigue);
- se ci sono dati in ingresso (input), il campo di applicazione deve essere precisato;
- deve fornire almeno un risultato (dato in uscita – output);
- deve essere eseguibile: tutte le operazioni devono poter essere eseguite correttamente, e in tempo finito, da un essere umano che utilizza mezzi manuali.

Come scoprirete nel prosieguo del nostro viaggio nel mondo della programmazione, individuare un algoritmo adatto a risolvere un dato problema non è, in generale, cosa semplice. La questione non riguarda solo l'**efficacia**, cioè il fatto che l'algoritmo risolva il problema in esame. Un altro elemento critico è infatti l'**efficienza**, ovvero quanto costa, in termini di risorse, l'esecuzione del

nostro algoritmo.

Vi faccio un esempio banale ed estremo: immaginate un programma per le previsioni meteo per il giorno successivo che impiega due giorni per “tirar fuori” i risultati. Banalmente si tratta di un algoritmo inefficiente anche se potenzialmente efficace.

Oltre al tempo, un aspetto critico è anche quello relativo alle risorse hardware della macchina come, ad esempio, una possibile eccessiva occupazione di memoria.

Per rendere palese la complessità, ma se volete anche la bizzarria, del mondo che ci accingiamo ad affrontare, può essere utile proporvi uno dei più “strani” algoritmi presenti nel mondo della programmazione: l'**algoritmo dello struzzo**.

Come l’animale citato nel nome di tale algoritmo, il programmatore nasconde la testa sotto la sabbia nel momento critico in cui si presenta un grosso problema. In realtà ciò che si fa è di ritenere eccessivamente costoso realizzare una soluzione al possibile problema, presupponendo che questo si possa verificare con una frequenza così rara da non giustificare i costi per scrivere e gestire una procedura che risolva il problema in questione.

I diagrammi di flusso

Una volta definito il problema e individuato un possibile algoritmo di risoluzione si dovrebbe procedere con la scrittura, nota come **codifica**, delle istruzioni dell'algoritmo in un certo linguaggio di programmazione.

Vi faccio notare che parlo di un “possibile” algoritmo in quanto è ovvio che, in generale, possono esistere modi differenti e quindi differenti algoritmi per risolvere un dato problema.

In ogni caso tra queste due fasi potrebbe esserne inserita un’altra di una certa importanza. Tale fase consiste nell’utilizzare una **rappresentazione simbolica** per rendere schematico e semplice da interpretare l’algoritmo stesso: il **diagramma di flusso**, in inglese **flow-chart** (noto anche come **diagramma a blocchi**).

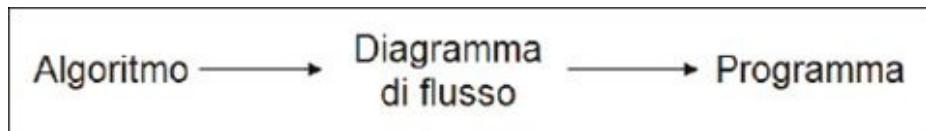


Figura 4.3 – Il diagramma di flusso come metodo per schematizzare un algoritmo.

Come detto, un diagramma di flusso è una rappresentazione simbolica dei passi da eseguire. I principali simboli utilizzati sono:

- un rettangolo per le istruzioni;
- una freccia che indica l’ordine delle istruzioni da eseguire;
- un rombo per una condizione di test.

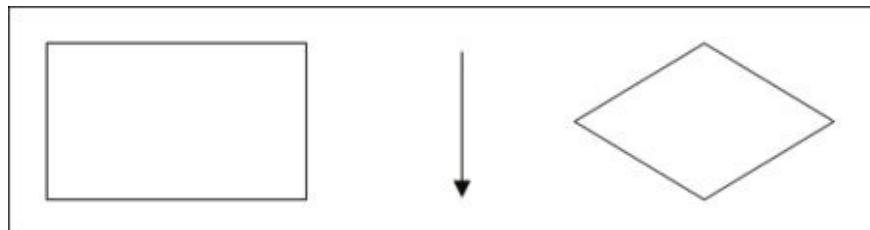


Figura 4.4 – I principali simboli di un diagramma di flusso

Il modo migliore per imparare a usare nuovi contesti è come sempre quello di verificarli attraverso degli esempi. Quello che vi propongo, relativamente ai simboli appena presentati, è tanto banale e quotidiano da poter sembrare estraneo al mondo dell’informatica. Si tratta di un diagramma di flusso per il problema dell’apertura di una porta. Al contrario, ritengo questo esempio tanto semplice quanto efficace.

Come si può notare dalla Figura 4.5, le varie azioni che devono essere realizzate vengono poste in sequenza all’interno del simbolo del rettangolo.

Nel momento in cui bisogna verificare una condizione (nel caso in questione se la porta si apre o meno) si inserisce il simbolo del rombo, riportando al suo interno la condizione posta. Da notare come il rombo sottintenda esso stesso una domanda: ciò spiega il motivo per cui la condizione viene scritta senza il punto interrogativo.

In generale, un diagramma di flusso viene letto dall’alto verso il basso seguendo il senso delle

frecce. Per aiutare la leggibilità del diagramma a volte si fa uso di due ulteriori simboli: una **ellissi** per indicare l'inizio e la fine del diagramma e un **parallelogramma** per denotare un momento di ingresso o di uscita di dati (Figura 4.6).

Vi propongo ora un esempio più attinente al contesto informatico per dare maggiore concretezza a quanto sto esponendo:

- **Problema:** dati due numeri in input, individuarne il maggiore.

- **Algoritmo:**

- leggiamo il primo numero;
- leggiamo il secondo numero;
- confrontiamo i due numeri letti e stampiamo il maggiore.

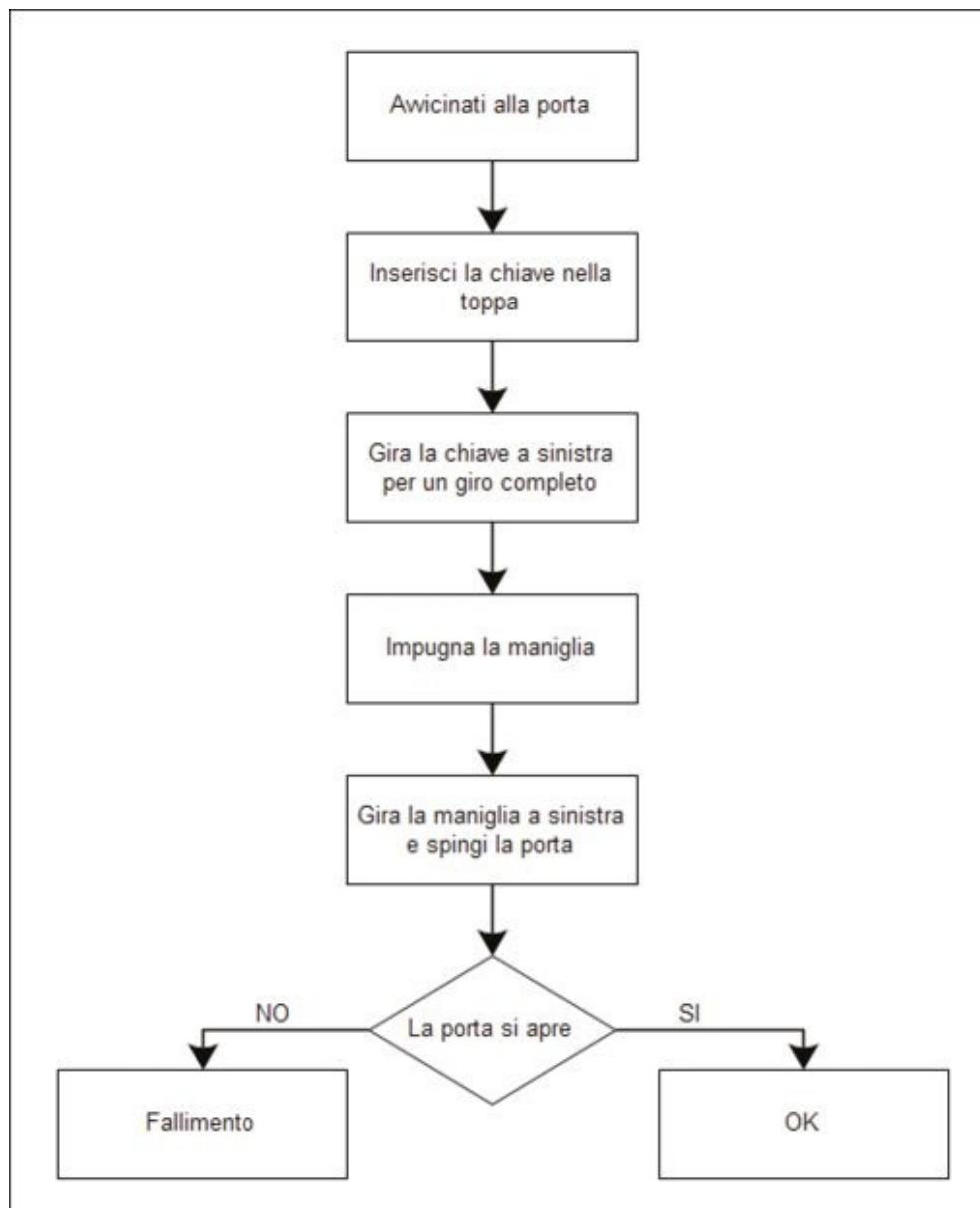


Figura 4.5 – Diagramma di flusso relativo all'algoritmo per il problema dell'apertura di una porta.

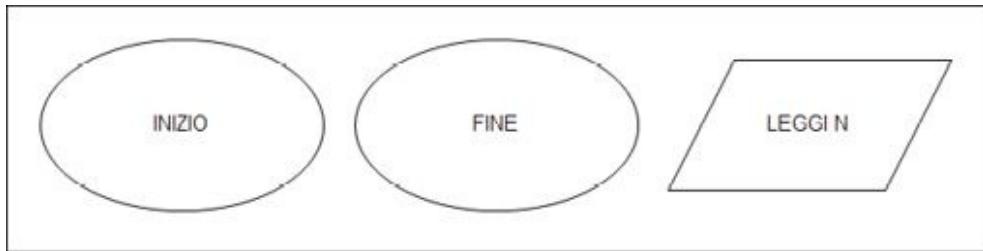


Figura 4.6 – Le ellissi con l’etichetta “inizio” e “fine” e il simbolo per le operazioni di I/O.

Come si evince dal diagramma della Figura 4.7, quando si passa dall’algoritmo al diagramma stesso si cerca di essere il più formali possibile. Infatti, mentre nell’algoritmo ci riferiamo alla lettura generica di due numeri, nel diagramma di flusso utilizziamo al loro posto delle lettere (nell’esempio, la lettera ‘A’ per il primo numero e la lettera ‘B’ per il secondo). Questo, ovviamente, semplifica enormemente la definizione della procedura.

Per il resto lo schema dovrebbe risultare autoesplicativo. Le lettere utilizzate all’interno delle procedure sono le **variabili**: esse rappresentano, infatti, dei contenitori per delle quantità (in questo caso dei dati numerici) non note a priori (appunto variabili).

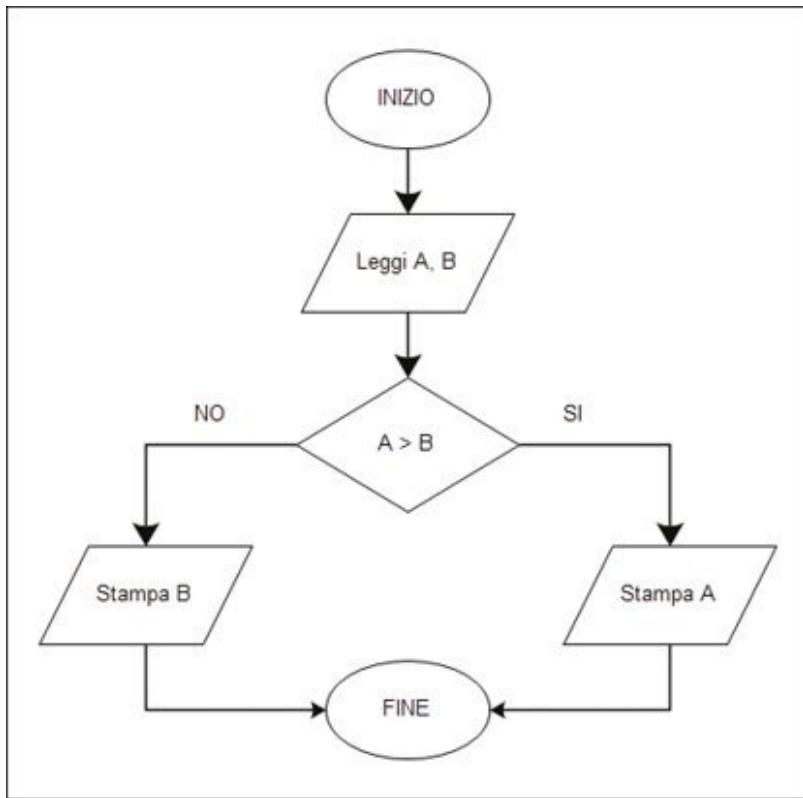


Figura 4.7 – Diagramma di flusso per l’individuazione del maggiore tra due numeri.

Aggiungo come dettaglio che in relazione al parallelogramma che indica in un solo passo la lettura di A e di B, “LEGGI A, B”, avremmo potuto indicare due simboli separati, uno per la lettura di A, “LEGGI A”, e un altro per la lettura di B, “LEGGI B”. Tuttavia, almeno in questo caso si sarebbe trattato di un’operazione del tutto superflua.

Dovrebbe essere chiaro che ai vari simboli presenti nel diagramma di flusso corrisponderanno delle specifiche istruzioni reali nello specifico linguaggio di programmazione scelto. A puro

titolo di esempio vi mostro l'equivalenza tra il paralleogramma relativo alla lettura dei due numeri del precedente esempio e le corrispondenti istruzioni reali che dovrebbero essere comunicate alla macchina per implementare la funzionalità di input richiesta.

Le istruzioni `scanf` della Figura 4.8 dovrebbero risultarvi già familiari per quanto vi ho presentato nel precedente capitolo. La cosa che mi preme qui sottolineare è che, in linea generale, un diagramma di flusso è indipendente dal linguaggio reale che verrà adoperato per l'effettiva implementazione del programma. Al posto delle istruzioni in "C" (ovvero in linguaggio C) potremmo pensare a un linguaggio diverso (ad esempio il Pascal), ma in ogni caso il diagramma, che è di tipo generico, sarebbe rimasto sostanzialmente immutato.

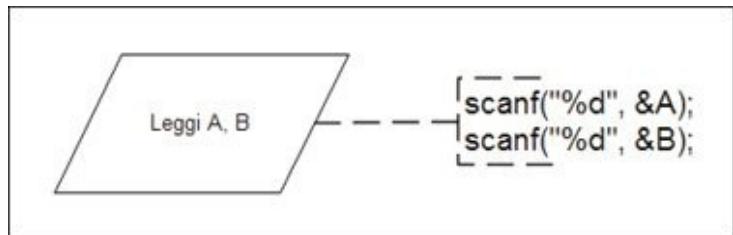


Figura 4.8 – Corrispondenza tra diagrammi di flusso e istruzioni reali.

Operatori aritmetici

Come appena visto, un'applicazione informatica deve normalmente effettuare delle elaborazioni sui dati di un certo problema. Sarà capitato a molti di vedere in abitazioni in costruzione dei calcoli fatti a mano dai muratori sui controtelai delle porte o sugli intonaci ancora da imbiancare: somme e moltiplicazioni relative a quantità di cemento o numero di mattonelle da impiegare nei lavori. Ebbene, quel tipo di operazioni fatte a mano devono essere tradotte in linguaggio informatico per far sì che si possa realizzare un programma capace di essere utilizzato più volte, evitando di imbrattare interi edifici con schizzi a matita. In buona sostanza stiamo parlando di **operatori sui dati**.

Tra i tipi di operatori, i più semplici e intuitivi sono sicuramente gli **operatori aritmetici**.

```
+    somma
-    sottrazione
*    moltiplicazione
/    divisione
%  modulo (resto intero di una divisione)
```

Vale a dire le classiche operazioni alle quali siamo abituati sin dalle elementari. Per utilizzarli è sufficiente inserirli all'interno delle nostre espressioni potendo combinare insieme variabili e costanti.

Un esempio chiarirà di cosa sto parlando. Supponiamo di voler scrivere un programma che calcoli e stampi il numero precedente e il numero successivo di un intero letto da tastiera. Di seguito vi presento una possibile soluzione.

```
/* calcola il precedente e successivo di un numero inserito da tastiera */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int x, prec, succ;
    printf("Dammi un numero: ");
    scanf("%d", &x);

    prec=x-1;
    printf("Il numero precedente e': %d\n", prec);
    succ=x+1;
    printf("Il numero successivo e': %d\n", succ);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il tutto dovrebbe essere abbastanza intuitivo. Dichiariamo innanzitutto tre variabili; la `x` per il numero input, `prec` e `succ` rispettivamente per il precedente e il successivo.

Dopo aver preso in input con una `scanf` il numero letto da tastiera, assegnandolo alla variabile `x`, calcoliamo il precedente di `x`. Da notare il fatto che espressioni del tipo:

```
prec = i-1;
```

sono delle istruzioni a tutti gli effetti e richiedono quindi il classico punto e virgola finale. Un'operazione del tutto analoga viene realizzata per il calcolo del successivo.

Sebbene il tutto funzioni senza problemi, ci tengo a sottolineare come il pezzo di codice proposto possa essere migliorato in relazione alla sua “eleganza”. A ben guardare un occhio attento noterà che c’è un po’ di confusione riguardo alle operazioni di calcolo vero e proprio e a quelle di output. È invece buona norma cercare di tenere sempre separate le sezioni di input, di calcolo e di output dei dati. Nel contesto specifico sarà sufficiente riorganizzare il codice come vi mostro di seguito. Mi sono aiutato con dei commenti per chiarire meglio l’organizzazione del sorgente stesso.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    //sezione dichiarativa
    int x, prec, succ;

    //sezione input
    printf("Dammi un numero: ");
    scanf("%d", &x);
    //elaborazione
    prec=x-1;
    succ=x+1;
    //sezione output
    printf("Il numero precedente e': %d\n", prec);
    printf("Il numero successivo e': %d\n", succ);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

printf, la stampa e le specifiche di formattazione

Voglio farvi notare incidentalmente una particolarità sulla **formattazione dei dati**, ovvero lo stile di presentazione con il quale sono organizzati in stampa i dati stessi. Oltre al qualificatore `%d` per la stampa dei numeri interi, con la `printf` esistono qualificatori per la stampa di caratteri, così come di altri tipi numerici.

Ve li presento brevemente di seguito in quanto ci serviranno nel prosieguo:

```
%d - intero decimale  
%i - intero decimale  
%ld - decimale di tipo long  
%f - numero reale  
%c - carattere singolo  
%s - stringa di caratteri  
%o - numero ottale  
%x - numero esadecimale  
%u - numero senza segno  
%e - formato scientifico  
%% - per visualizzare il carattere % stesso
```

Oltre alla lettera che indica la tipologia del dato da stampare, è possibile utilizzare, prima di quest'ultima, altre opzioni di formato al fine di predisporre l'output in maniera più formale e professionale (allineamento, numero di cifre decimali ecc.).

- Il simbolo – (meno) indica che si richiede un allineamento a sinistra.
- Il simbolo + indica che il numero dovrà essere stampato sempre con il segno.
- 0 (zero) indica, per rappresentazioni numeriche, che dovranno essere inseriti tanti zeri quanti ne serviranno per raggiungere l'ampiezza del campo richiesta.
- Un numero specifica l'ampiezza minima del campo (per le stringhe il massimo numero di caratteri da scrivere).
- Un punto per separare l'ampiezza del campo dal grado di precisione.

Vi propongo allora il seguente esempio minimale:

```
#include <stdio.h>  
#include <stdlib.h>  
int main(int argc, char *argv[])  
{  
    const float pi = 3.14159;  
    printf("%10.2f\n", pi);  
    printf("%010.2f\n", pi);  
    printf("%+10.2f\n", pi);  
  
    system("PAUSE");  
    return 0;  
}
```

Il codice stamperà, così come mostrato in Figura 4.9, un numero con la virgola con due cifre decimali occupando dieci posizioni. Per la prima stampa gli spazi iniziali vengono lasciati vuoti.

Per la seconda stampa vengono invece visualizzati degli zeri a causa dell'utilizzo nelle direttive di formattazione che vedono uno zero prima del numero 10 che indica quante posizioni si dovranno utilizzare in fase di stampa. La terza visualizzazione forza la presenza del segno del numero stampato, in questo caso il + (più).



The screenshot shows a terminal window with the title bar "C:\Esempi\Dev-Cpp\printf_format\printf_format.exe". The window contains the following text:
3.14
0000003.14
+3.14
Premere un tasto per continuare . . .

Figura 4.9 – Il risultato dell'utilizzo di alcuni parametri di formattazione.

In ogni caso provare le varie combinazioni è il miglior modo per capire il funzionamento delle varie opzioni e per farmi risparmiare spazio per argomenti più importanti.

Il casting delle variabili

Il nome del paragrafo potrebbe suggerire un qualcosa di collegato al mondo dello spettacolo: niente di più lontano dalla verità. Il **casting**, nel contesto informatico, non ha assolutamente a che fare con la selezione di un certo sviluppatore come attore in un qualche film ma piuttosto con l'attribuzione del tipo di dati più adatto a una data variabile per una determinata circostanza implementativa. Il motivo per cui ve lo presento subito dopo gli operatori aritmetici è dato dal fatto che talvolta l'esecuzione di certe operazioni tra tipi di dati può dare risultati del tutto inaspettati.

Ma andiamo con ordine ponendoci questa domanda: cosa accade quando assegno a una variabile il valore di un'altra variabile appartenente a un tipo di dati diverso? Mi spiego meglio; quando scrivo qualcosa come:

```
x = y;
```

se `x` e `y` sono dello stesso tipo, semplicemente il valore di `y` viene copiato in `x`. Tuttavia, se `x` è, ad esempio, di tipo intero e `y` di tipo `float`, inevitabilmente la parte frazionaria di `y` verrà persa nell'assegnazione del valore a `x`, al limite con un avvertimento (un **warning**) da parte del compilatore.

Ad esempio, il seguente codice:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int x;
    float y = 5.5;
    x = y;
    printf("Il valore di x e': %d\n", x );
    printf("Il valore di y e': %.2f\n", y );
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

produrrà come output:

```
Il valore di x e': 5
Il valore di y e': 5.50
```

In generale, infatti, le uniche conversioni che non generano problemi sono quelle che consentono di ampliare la dimensione di una variabile. Ad esempio, nessun problema, ovviamente, nel caso contrario a quello appena visto in cui assegniamo un intero a una variabile `float`, ottenendo come risultato che la variabile `float` avrà come parte intera il valore intero del numero assegnato e come parte frazionaria il valore zero.

```
Il valore di x e': 6
Il valore di y e': 6.00
```

Questi tipi di conversione vengono detti **conversioni implicite** in quanto realizzate automaticamente dal compilatore. In altri casi, però, è necessario "forzare" un tipo di variabile a essere diversa da quella che risulterebbe in maniera naturale: si parla allora di conversione esplicita. Tali conversioni vengono definite in modo gergale cast oppure casting, e usando a volte

espressioni come “**castare** una variabile”.

Vi propongo allora una situazione tipica:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int x=7, y=2;
    float d;
    d = x/y;
    printf("Il valore di d e': %.2f\n", d);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

poiché `d` è stata dichiarata come `float` ci si aspetterebbe che essa assumesse come risultato della divisione tra `x` e `y` il valore 3,5. Sbagliato! L’operazione di divisione tra due interi viene appunto intesa come un fatto “privato” tra interi che dà come risultato un valore intero (nel nostro caso il valore 3) che solo successivamente viene assegnato alla variabile con la virgola `d`. Tale problema è comuniSSIMO e si verifica, ad esempio, nel caso in cui si deve calcolare la media di un dato numero di elementi interi per i quali, nonostante si prevede una variabile di tipo `float`, si otterrà comunque un numero intero.

Per risolvere la situazione si usa allora il casting di cui vi dicevo con la seguente sintassi:

`(tipo_dati) espressione`

Ad esempio, nel nostro caso sarà sufficiente scrivere:

`d = (float)x/y;`

dove `x` vale 7 e `y` vale 2, per ottenere in stampa il valore desiderato e atteso di 3,5. In altre parole si antepone all’operazione da svolgersi il tipo di dati, racchiuso tra parentesi tonde, verso il quale si vuole che avvenga il casting. Si parla in questo caso di **conversione esplicita**.

Operatori di incremento e decremento

Spesso si verifica la necessità di operare degli incrementi o decrementi su determinate variabili. Ovviamente, il modo più intuitivo per incrementare una variabile è scrivere qualcosa del tipo seguente:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int x;
    x = 3;
    x = x + 1;
    printf("Il valore di x e': %d\n", x);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

dove abbiamo banalmente incrementato di una unità la variabile `x` scrivendo `x = x + 1`. Il codice ovviamente stamperà 4 come valore per la `x`. Infatti, così come ci aspettiamo, viene prima eseguito il lato destro dell'espressione e successivamente il risultato ottenuto viene assegnato alla variabile posta sulla sinistra.

Tuttavia il C mette a disposizione per tali necessità degli appositi operatori:

```
++ incrementa di uno
-- decrementa di uno
```

In pratica `++x`; corrisponde in sostanza a `x = x + 1`; mentre `--x`; corrisponde a `x = x - 1`; dove, trattandosi di istruzioni singole, ho posto il punto e virgola in coda a esse.

Tali operatori prendono il nome rispettivamente di **operatori di incremento** e **operatori di decremento**.

La particolarità di questi operatori consiste nel fatto che essi possono essere utilizzati in due modalità differenti: come **suffissi** (dopo la variabile, ad esempio `++x`) e come **prefissi** (prima della variabile, ad esempio `++x`).

Entrambe le modalità hanno l'effetto di incrementare (o decrementare nel caso di `--`) la variabile. Tuttavia l'uso prefisso incrementa la variabile prima di utilizzarla in eventuali assegnazioni mentre l'uso suffisso effettua l'incremento dopo l'utilizzo.

Data la bizzarria del comportamento descritto vi conviene dare un'occhiata all'esempio che vi propongo di seguito.

Uso suffisso	Uso prefisso
<pre>int x, n; x = 9; n = 9; x = n++; printf("Il valore di n e': %d\n", n); printf("Il valore di x e': %d\n", x); Il risultato sarà che:</pre>	<pre>int x, n; x = 9; n = 9; x = ++n; printf("Il valore di n e': %d\n", n); printf("Il valore di x e': %d\n", x); Il risultato sarà che:</pre>

```
n vale 10  
x vale 9
```

```
n vale 10  
x vale 10
```

Vi faccio notare che in ogni caso, prefisso o suffisso, l'incremento o decremento sarà sempre lo stesso. Ciò che cambia è relativo ai contesti in cui vi sia un utilizzo, vale a dire un'assegnazione di tali incrementi a determinate variabili.

Ancora più esemplificativo può risultare il seguente pezzo di codice:

```
...  
int x = 0;  
printf("Il valore di x e': %d", x++);  
...
```

Forse con un po' di stupore si potrà notare che il valore di `x` in output sarà zero. Infatti, nell'esecuzione della `printf` si avrà innanzitutto la sostituzione, nella posizione del qualificatore `%d`, del valore di `x` e solo successivamente la variabile `x` subirà l'incremento di una unità a opera dell'operatore `++`.

Operatori relazionali

Un secondo gruppo di operatori è rappresentato dagli **operatori relazionali**. Si tratta di operatori in grado di mettere a confronto determinati elementi.

Dobbiamo stabilire se un numero è più grande di un altro? Se due quantità sono uguali tra loro oppure differenti? Se il mio conto in banca è andato in rosso oppure posso permettermi una vacanza in un'isola tropicale?

Ebbene, in tutte queste situazioni avrò bisogno dei seguenti operatori:

>	maggiore
>=	maggiore o uguale
<	minore
<=	minore o uguale
==	uguaglianza
!=	diverso da

Vi ho già presentato, anche se abbastanza sommariamente, il possibile campo di utilizzo di questi operatori in relazione all'uso del rombo nei diagrammi di flusso per gestire una condizione all'interno del nostro algoritmo.

Nel caso del diagramma di flusso possiamo essere non formali, e anche semplicemente indicativi, scrivendo ad esempio qualcosa del tipo “ $A \neq B$ ” oppure addirittura “ A diverso da B ” per testare la condizione, per verificare se A e B sono effettivamente diversi. Al contrario, durante la stesura di un programma C dobbiamo essere molto precisi e formali usando nel giusto modo gli operatori presentati nel precedente elenco.

Nello specifico, per indicare la condizione “diverso da” dobbiamo usare la particolare simbologia che prevede l'uso del punto esclamativo seguito dal simbolo di uguale. Inoltre, se non ci sono dubbi sugli operatori “ $<$ ” e “ $>$ ” (rispettivamente minore e maggiore) bisogna porre attenzione al fatto che gli operatori per “minore o uguale” e “maggior o uguale” sono scritti utilizzando due differenti specifici simboli: il simbolo “ $<$ ” oppure “ $>$ ” seguito dal simbolo di uguale “ $=$ ”.

Un cenno lo merita la particolarità della simbologia per testare l'uguaglianza di due elementi. Infatti, è da notare come vengano utilizzati due simboli di uguale uno dopo l'altro. Ciò viene realizzato per differenziare il test di uguaglianza dalla semplice associazione di un elemento a un altro realizzato con l'utilizzo di un solo simbolo di uguaglianza.

A scanso di equivoci, per meglio chiarire tale situazione, vado a precisare che un'istruzione del tipo $x = y$ serve per dare alla variabile x il valore contenuto in y mentre scrivere $x==y$ serve per verificare se x e y sono uguali.

Ok, so che scalpitate per un po' di esempi pratici e reali ma dovete pazientare fino al successivo Capitolo 6 dove, presentando i costrutti messi a disposizione dal C per gestire la selezione, potremo verificare i dettagli di funzionamento degli operatori relazionali.

Operatori logici

Nei ragionamenti fatti a proposito degli operatori relazionali c'è una considerazione implicita che forse vale la pena di esaminare in maggior dettaglio: quando usiamo un operatore di tale tipo ci chiediamo se una certa condizione sia vera oppure sia falsa. Ci chiediamo, ad esempio, se $x > y$ e tale situazione può essere solo vera oppure falsa.

Questo tipo di considerazioni prendono le mosse dagli studi del matematico inglese **George Boole**, che sviluppò un nuovo tipo di logica associando dei simboli a determinate parti del discorso inteso come vero e proprio ragionamento.



Figura 4.10 – George Boole (1815-1864).

Tali parti di un ragionamento sono delle **proposizioni** che devono risultare, come detto, delle affermazioni. Queste affermazioni prendono il nome di **enunciati**.

Ho già sottolineato come un enunciato sia un'affermazione che può risultare vera oppure falsa ma non può essere contemporaneamente sia vera che falsa. Ad esempio, una proposizione del tipo: “imparate l’informatica!” non è un enunciato (ma piuttosto un saggio invito). La richiesta che un enunciato possa essere o vero o falso rientra in quello che è definito come **principio del terzo escluso** (ovvero esistono due sole possibilità).

“piove”, “quella matita è di colore rosso”, “la macchina è in moto”, “10 è un numero pari”, “Benevento è una città” ecc. sono tutti esempi di enunciati.

Boole introdusse inoltre degli operatori per mettere in relazione due affermazioni che si combinano insieme. Egli costruì quindi una vera e propria algebra, denominata in suo onore **algebra booleana** (o **algebra di Boole**).

In questa algebra si definiscono tre **operatori booleani** (detti anche **operatori logici**) fondamentali:

NOT	Negazione Logica
AND	Prodotto Logico
OR	Somma Logica (detto anche "or inclusivo")

Il **NOT**, noto anche **complemento**, corrisponde alla negazione di un enunciato.

Il **prodotto logico** AND corrisponde nel linguaggio “umano” alla congiunzione “e”. Consideriamo a titolo di esempio la situazione per la quale associamo agli enunciati **a** e **b** i

seguenti significati:

A = "il tempo è bello"

B = "ho tempo libero"

Ebbene, applicando l'AND possiamo immaginare una situazione per cui uniamo con la congiunzione "e" i due enunciati in qualcosa del tipo:

A AND B = "il tempo è bello" e "ho tempo libero".

L'AND crea una nuova proposizione, detta **proposizione composta**, realizzata unendo le due **proposizioni semplici**. Per rendere sensata questa operazione dovremmo associare un significato alla proposizione risultante. Ad esempio potremmo dire che la congiunzione corrisponde all'azione di uscire di casa. In questo contesto l'AND farà sì che usciremo di casa (risultato vero) se e solo se entrambe le proposizioni risulteranno vere (il tempo è bello e ho anche tempo libero). Per cui, cercando di formalizzare l'espressione, essa sarebbe qualcosa del tipo:

se (tempo_bello AND tempo_libero) allora esco_di_casa

Un altro esempio tra i più classici e intuitivi può essere il seguente:

se (piove AND ho_paura_di_bagnarmi) allora uso_ombrelllo

Già che ci sono, a proposito di formalismo, vi illustro un modo per rendere più chiaro il meccanismo dell'AND logico. Il comportamento di tale operatore viene definito attraverso l'uso della seguente tabella, nota come **tavola di verità**:

A	B	AND
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Nella tabella, così come vuole la consuetudine, utilizzo lo zero per indicare la condizione di falso e il valore 1 per la condizione di verità. In altri contesti potreste trovare la lettera 'F' e la lettera 'V' ad indicare, rispettivamente, lo stesso significato. Da una veloce analisi della tabella potete osservare come solo l'ultima riga, che prevede due numeri uno per A e B, genera un 1 per l'AND; ovvero se e solo se entrambe le condizioni, A e B, sono vere il risultato sarà vero.

L'OR logico prevede invece il verificarsi di almeno una delle situazioni coinvolte per dare come risultato il valore vero. La sua tavola di verità è dunque la seguente:

A	B	OR
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Rifacendoci all'esempio della possibilità di uscire di casa, applichiamo in questo caso

l'operatore logico OR. Nel linguaggio standard questa situazione può essere espressa come:

A OR B = "il tempo è bello" oppure "ho tempo libero"

In questo contesto posso uscire di casa (valore vero della proposizione composta) nel momento in cui una qualsiasi delle condizioni risulta vera. Per la serie: anche se non ho tempo libero (B=0) ma il tempo è bello (A=1) esco comunque di casa.

Un ulteriore, semplice e intuitivo esempio di una situazione in cui si può applicare l'OR logico è il seguente:

```
se (semaforo_verde OR semaforo_giallo) allora attraversa_incrocio
```

con l'ovvio suggerimento, non espresso, di fare comunque attenzione.

In questa breve carrellata vi ho mostrato il funzionamento generale dei principali operatori logici; di seguito vi presento come tali operatori vengono definiti nello specifico contesto del linguaggio C:

```
!      NOT logico  
&&     AND logico  
||      OR logico
```

Per un loro utilizzo pratico ci diamo appuntamento al Capitolo 6 dove introduco i costrutti di programmazione del C per realizzare la selezione dell'esecuzione di un blocco di istruzioni piuttosto che un altro.

Il debugging di un'applicazione

Attenti ai bachi nel codice precedente; ho solo provato che è corretto, non l'ho collaudato.

Donald Knuth

Nei precedenti capitoli vi ho mostrato come gestire i dati del nostro problema utilizzando le variabili. Si è visto come i valori associati alle variabili stesse varino durante l'esecuzione del programma. Fin quando il risultato ottenuto è quello che ci aspettavamo, è chiaro che non ci sono problemi o discussioni di sorta. C'è tuttavia una cattiva notizia: è abbastanza comune che l'output di un certo pezzo di codice, almeno nei primi momenti di sviluppo, sia differente rispetto alle nostre aspettative. In buona sostanza il codice presenta uno o più **bug**.

Di norma un bug, anche noto come **errore di programmazione**, è dato da una o più istruzioni che producono un risultato diverso da quello atteso.

L'uso del termine bug per identificare problemi nel comportamento di dispositivi meccanici o elettronici è molto antico e sembra risalire addirittura a Thomas Edison. Probabilmente, tuttavia, la situazione più nota rispetto al termine bug è quella che si riferisce a un malfunzionamento di un enorme computer della seconda metà degli Anni 40 (il Mark II), messo KO da un insetto (una falena) rimasto bloccato nella circuiteria del calcolatore. Non a caso bug, in inglese, significa insetto.



Figura 5.1 – Una tipica rappresentazione grafica per un bug.

Non sempre è semplice individuare un bug, ovvero fare **debugging** o **debug**, in un'applicazione e a volte può risultare un'operazione abbastanza frustrante.

Il modo più “brutale” per fare il debug di un programma può essere quello di aggiungere, a mano,

delle istruzioni di stampa del valore di determinate variabili in modo da individuare la causa di un certo comportamento non corretto.

Ovviamente un tale approccio non è il massimo della vita in quanto può dare una visione parziale delle attività svolte dal programma e, quindi, risultare non del tutto efficace. Tuttavia, in talune circostanze può essere un metodo accettabile. Di norma, comunque, gli ambienti di sviluppo mettono a nostra disposizione dei veri e propri **debugger**: moduli aggiuntivi che ci consentono di eseguire, in ambiente controllato, istruzione dopo istruzione l'intero programma mostrando il valore assunto dalle specifiche variabili man mano che le istruzioni vengono eseguite.

Di seguito vi mostro come utilizzare il debugger di Dev-C++.

Fare debug con Dev-C++

Supponiamo di voler “debuggare” un programma che faccia una banale somma tra i valori di due variabili. Di seguito vi riporto il codice che utilizzeremo in questa sessione di prova:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int x;
    int y;
    int s;

    x = 3;
    y = 4;

    s = x + y;

    printf ("La somma e': %d\n", s);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il codice prevede l’uso di tre differenti variabili. Le prime due, `x` e `y`, vengono inizializzate con due interi qualsiasi (nell’esempio, rispettivamente, i valori 3 e 4) e rappresentano gli addendi della somma. La terza variabile, che chiamiamo `s`, conterrà il valore di tale somma.

Per eseguire il debug dobbiamo come prima cosa inserire un cosiddetto **breakpoint**, ovvero un **punto di interruzione** nel programma. Il motivo è dato dal fatto che dobbiamo bloccare il programma su di una specifica istruzione per poi eseguire lentamente, passo dopo passo, le singole istruzioni per verificare come vari il valore delle variabili coinvolte. Per farlo possiamo posizionare il cursore sull’istruzione dalla quale partire con la nostra analisi e agire sul menu **Eseguì**, scegliendo la voce **Attiva/Disattiva Breakpoint** come mostrato in Figura 5.2.

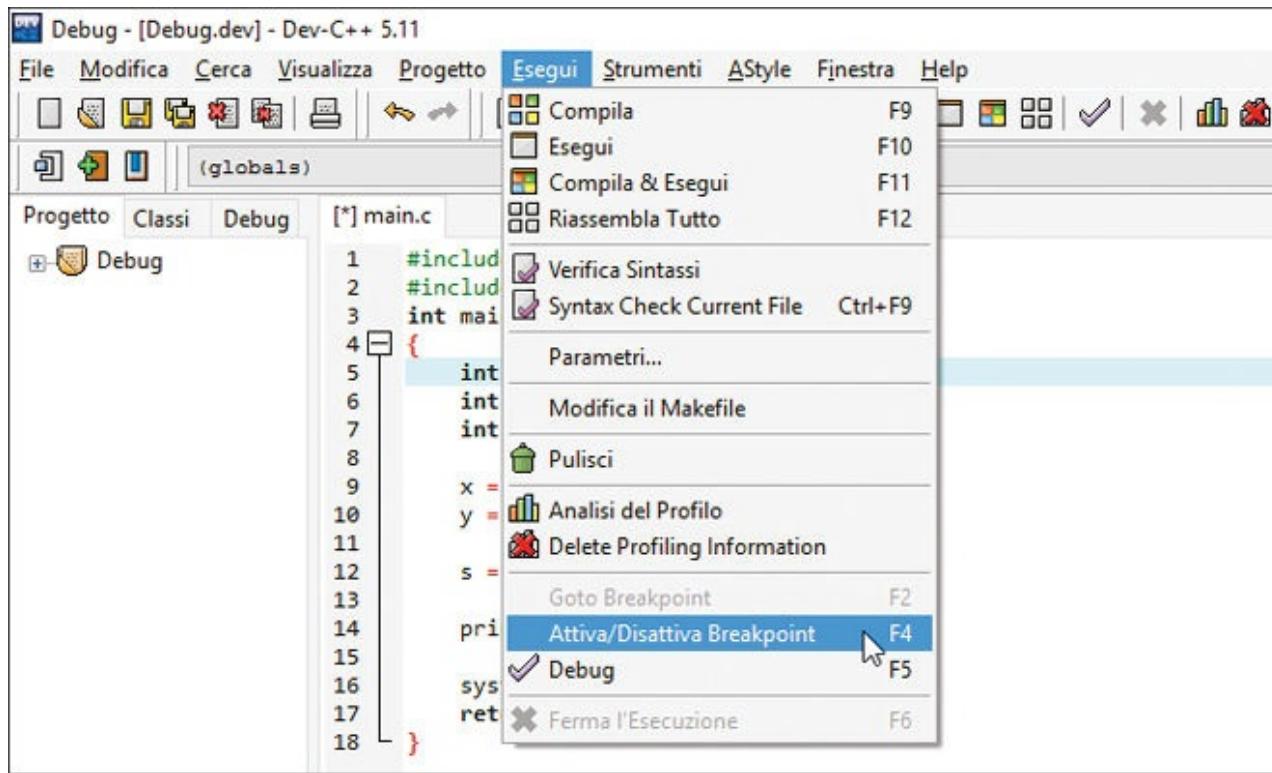


Figura 5.2 – La voce di menu per impostare un breakpoint.

La riga in questione verrà immediatamente colorata in rosso per segnalarne la specificità. In alternativa, per velocizzare l'impostazione di un breakpoint, è possibile cliccare immediatamente a sinistra della riga di nostro interesse, nello spazio immediatamente esterno all'editor.

The screenshot shows the Dev-C++ editor with the file "main.c" open. The code defines a main function with three integer variables: x, y, and s. The line "int x;" is highlighted with a red background, indicating it is a breakpoint. The rest of the code is in standard black font.

```

[*] main.c
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 int main(int argc, char *argv[])
4 {
5     int x;
6     int y;
7     int s;
8
9     x = 3;
10    y = 4;
11
12    s = x + y;
13
14    printf ("La somma e': %d\n", s);
15
16    system("PAUSE");
17    return 0;
18 }
```

Figura 5.3 – Un breakpoint evidenziato nell'editor.

A questo punto è possibile lanciare il debug cliccando nel menu **Esegui** sulla voce **Debug**.

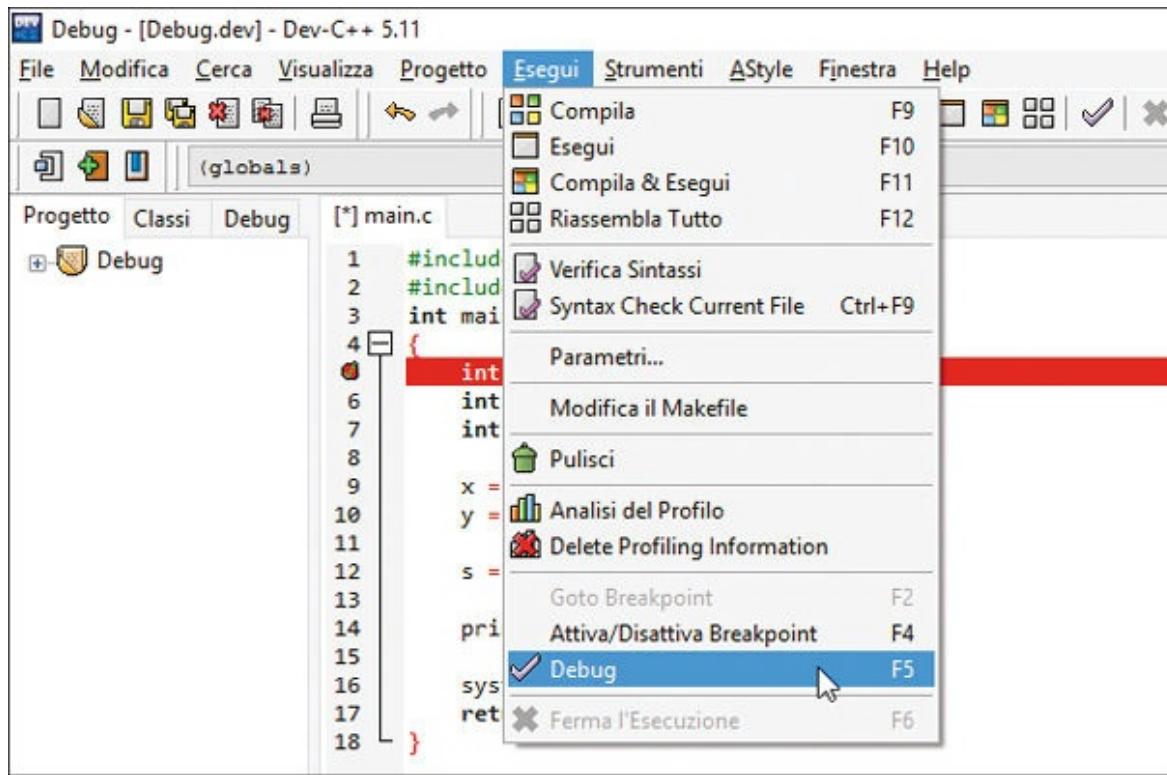


Figura 5.4 – La voce di menu per avviare il debug.

L’ambiente ci informerà del fatto che l’eseguibile in questione non contiene le informazioni di debug. Tali informazioni sono dei dati addizionali inseriti all’interno dell’eseguibile che consentono all’ambiente di effettuare le operazioni richieste dal debugger.

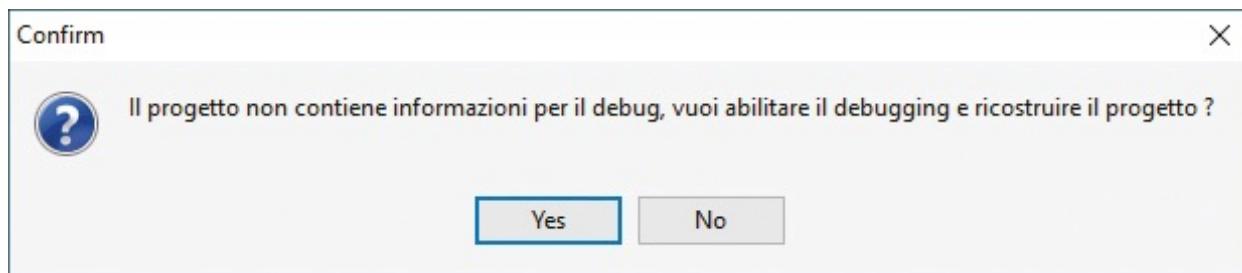


Figura 5.5 – La finestra di dialogo con la richiesta di generazione delle versione dell’eseguibile per il debug.

Confermiamo quindi l’operazione richiesta.

Su alcune vecchie versioni Bloodshed potrebbe succedere che, nonostante la nostra conferma, il sistema ci segnali semplicemente che la compilazione è stata completata ma alla fine dell’operazione non venga iniziata la fase di debug. Provando a rilanciare il debug ci verrebbe nuovamente mostrata la finestra di dialogo della Figura 5.5 e saremmo di nuovo al punto di partenza. Per risolvere il problema possiamo agire cliccando sulla voce **Opzioni di compilazione** del menu strumenti, che visualizzerà la finestra di dialogo mostrata in Figura 5.6.

ATTENZIONE



Figura 5.6 – La finestra di dialogo per la gestione delle opzioni di compilazione.

In tale finestra, nella scheda **Compilatore** bisognerà aggiungere l’opzione **-g** in entrambe le aree di testo in relazione all’aggiunta dei comandi per il compilatore e per il linker.

A questo punto, dovrebbe inizializzarsi l’ambiente come mostrato in Figura 5.7.

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 int main(int argc, char *argv[])
4 {
5     int x;
6     int y;
7     int s;
8
9     x = 3;
10    y = 4;
11
12    s = x + y;
13
14    printf ("La somma e': %d\n", s);
15
16    system("PAUSE");
17
18 }
```

Figura 5.7 – L’editor pronto per il debug dell’applicazione.

Una volta avviato il debug è possibile seguire il flusso di esecuzione delle singole istruzioni. Il controllo delle operazioni di debug è gestibile sia dal già visto menu **Eseguì** sia dal **pannello di Debug** presente nella parte bassa dell’ambiente e che vi riporto per maggiore chiarezza di esposizione nella Figura 5.8.

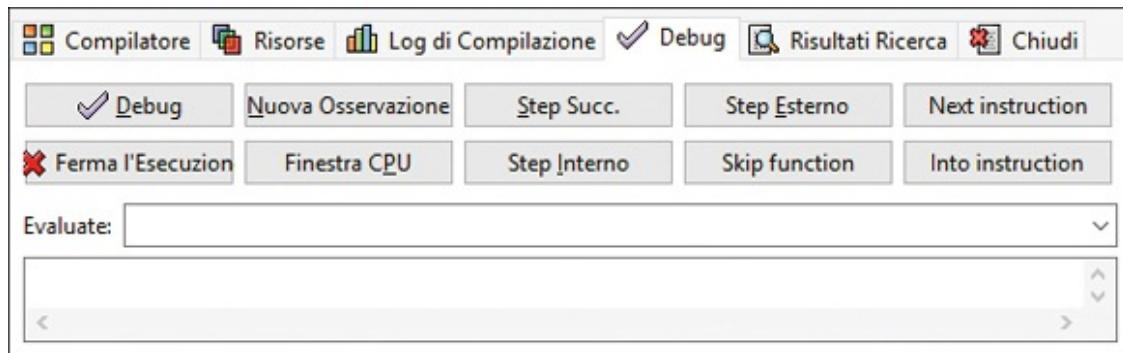


Figura 5.8 – Il pannello di Debug.

Una delle voci maggiormente utilizzate è **Step Succ.**. Tale comando, richiamabile anche con la scorciatoia da tastiera “F7”, consente di passare di volta in volta alla successiva istruzione. L’istruzione in un dato momento “sotto analisi” viene evidenziata in blu. Seguire il flusso di esecuzione delle istruzioni è fondamentale per capire cosa succede al programma una volta lanciato e per cercare di correggere eventuali comportamenti indesiderati.

Tuttavia, uno degli aspetti fondamentali da tenere sotto controllo durante il debug è, in genere, il valore assunto dalle variabili coinvolte nel programma.

Per seguire tali cambiamenti è necessario indicare all’ambiente di sviluppo quali variabili vogliamo osservare. Appunto di **osservazioni** si parla per indicare le variabili che vogliamo seguire durante l’esecuzione del programma. Per creare una “nuova osservazione” di una variabile è sufficiente, una volta avviato il debug, cliccare sul bottone **Nuova Osservazione**, visibile nel pannello di Figura 5.8, e indicare il nome della variabile che vogliamo osservare. Tale variabile, con il relativo valore assunto in quello specifico momento, verrà visualizzata nella scheda Debug. Nella Figura 5.9, sul lato sinistro, potete notare le variabili *x*, *y* e *s* sotto osservazione nella scheda Debug.

```

main.c
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  int main(int argc, char *argv[])
4  {
5      int x;
6      int y;
7      int s;
8
9
10     x = 3;
11     y = 4;

```

Figura 5.9 – La scheda Debug con alcune variabili sotto osservazione.

Vi faccio notare, incidentalmente, che è possibile porre sotto osservazione una variabile anche agendo con il tasto destro del mouse nella scheda appena presentata, e che vi mostro in Figura 5.10, così come agendo nel menu **Debug**, nel pannello di Debug in basso, o ancora usando il tasto “F4”.

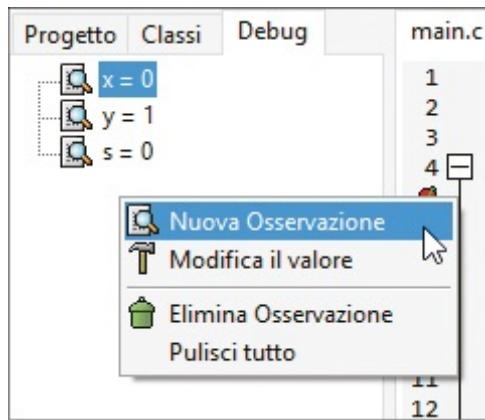


Figura 5.10 – Il menu contestuale nella scheda Debug per creare una nuova osservazione.

Dallo stesso menu è possibile rimuovere un'osservazione alla quale non siamo più interessati.

NOTA

In inglese il termine osservazione è **watch**. Potrebbe capitare che in alcuni ambienti di sviluppo tale termine non sia tradotto essendo ormai diventato un elemento comune del contesto dello sviluppo software.

Facciamo ora qualche considerazione più tecnica. Osservando la Figura 5.9 potete notare che, a inizio debug, le variabili *x*, *y* e *s* già presentano dei valori anche se l'esecuzione del programma è ancora bloccata sull'istruzione

```
x = 3;
```

non ancora eseguita. Tutto ciò conferma il fatto che la semplice dichiarazione di una variabile non assegna a essa alcun valore specifico ma dei valori del tutto casuali. Procediamo allora a eseguire proprio l'istruzione in cui assegneremo alla variabile *x* il valore 3. Per farlo sarà sufficiente cliccare sulla voce **Step Succ..**. Il risultato è mostrato nella Figura 5.11.

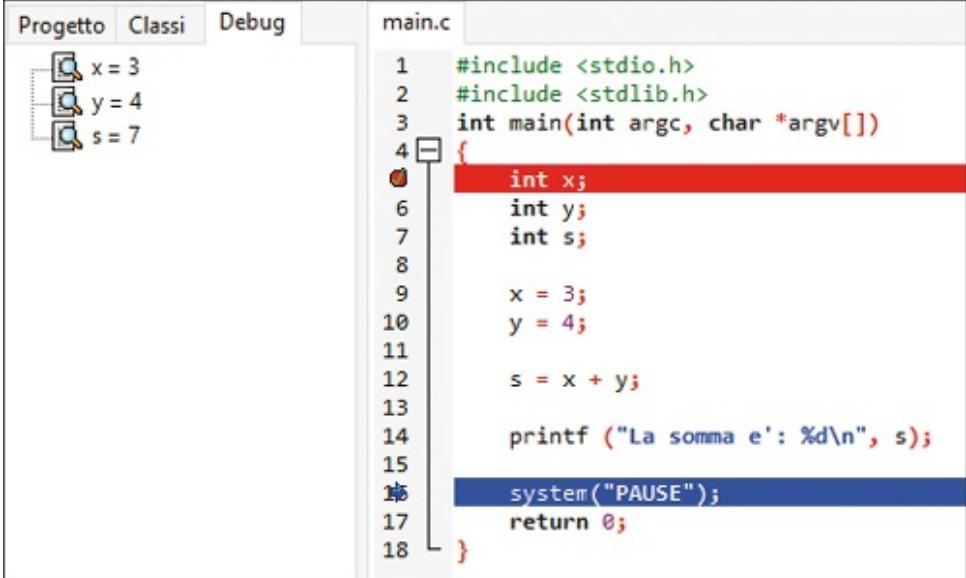
```

main.c
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 int main(int argc, char *argv[])
4 {
5     int x;
6     int y;
7     int s;
8
9     x = 3;
10    y = 4;
11
12    s = x + y;
13
14    printf ("La somma e': %d\n", s);
15
16    system("PAUSE");
17
18 }
```

Figura 5.11 – I valori delle variabili dopo l'esecuzione dell'istruzione *x=3*.

Ormai il procedimento dovrebbe essere chiaro. Continuando a richiamare il comando **Step Succ.** è possibile eseguire e controllare ogni singola operazione fino ad arrivare alla fine del programma. Tale situazione finale è mostrata nella Figura 5.12, in cui è possibile osservare come le variabili *x* e *y* abbiano assunto i valori assegnati durante il programma e come la somma, con la variabile *s*, sia assegnata nella maniera che ci aspettavamo.

Ovviamente, il programma durante il debug viene eseguito nella finestra console, nella quale è possibile vedere l'evolversi degli output e inserire eventuali input che vengono richiesti dal programma. Nella Figura 5.13 vi mostro tale finestra alla fine delle operazioni di stampa del risultato finale.

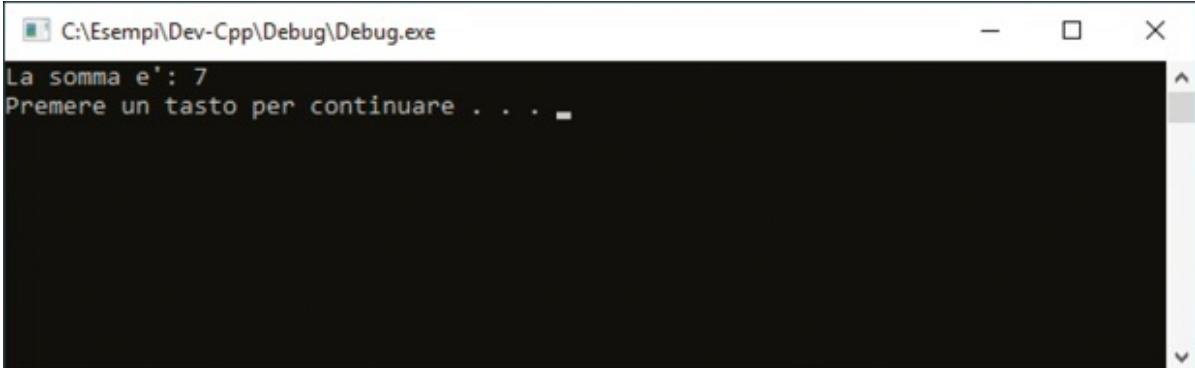


The screenshot shows a debugger interface with a menu bar (Progetto, Classi, Debug) and a toolbar. On the left is a project tree with files x = 3, y = 4, and s = 7. The main window displays the code for main.c:

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 int main(int argc, char *argv[])
4 {
5     int x;
6     int y;
7     int s;
8
9     x = 3;
10    y = 4;
11
12    s = x + y;
13
14    printf ("La somma e': %d\n", s);
15
16    system("PAUSE");
17    return 0;
18 }
```

Variables x, y, and s are highlighted in the code editor, indicating they are being monitored.

Figura 5.12 – Le variabili sotto osservazione al termine dell'ultima istruzione del programma.



The screenshot shows a terminal window with the title bar "C:\Esempi\Dev-Cpp\Debug\Debug.exe". The window contains the following text:

```
La somma e': 7
Premere un tasto per continuare . . .
```

Figura 5.13 – La console con l'output del programma sotto debug.

Il debug con Code::Blocks

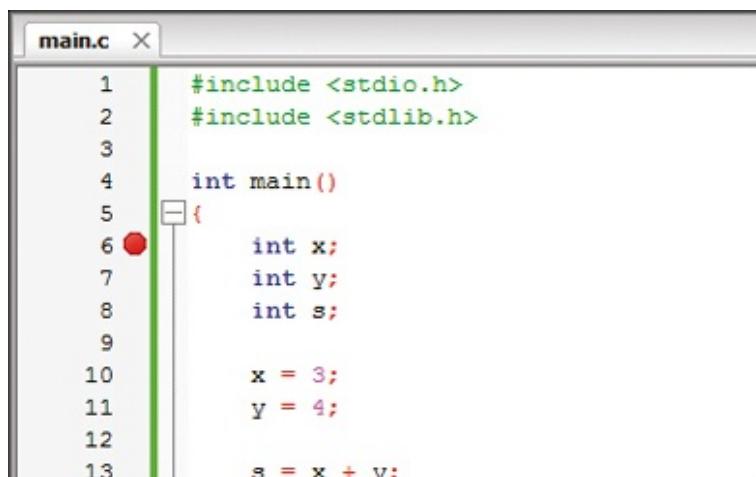
In questo paragrafo vi presento le operazioni principali da svolgersi nel caso di debug di codice sorgente all'interno dell'ambiente Code::Blocks. Credo sia comunque il caso di ribadire la scelta di presentare due possibili ambienti di sviluppo come Dev-C++ e Code::Blocks. Il primo è consigliabile per gli approcci iniziali alla programmazione data la sua estrema semplicità d'uso. Il secondo è già sufficientemente complesso da rendersi utile in contesti maggiormente articolati e professionali. Quest'ultimo, infatti, è l'ambiente che sicuramente vi consiglio di utilizzare più avanti in questo viaggio, quando affronteremo problematiche inerenti il linguaggio C++.

In ogni caso mi sento di ribadire l'indipendenza del linguaggio C così come del C++ rispetto all'ambiente di sviluppo. Il linguaggio resta sostanzialmente lo stesso indipendentemente dall'ambiente che sceglierete di utilizzare. Tanto più che con lo stesso ambiente avete comunque la possibilità di utilizzare compilatori differenti. Solo un uso e un relativo intensivo studio pratico dei vari ambienti vi darà la giusta visione d'insieme relativa alle problematiche di sviluppo e di manutenzione del vostro codice.

Tornando alla questione debug, supponiamo per semplicità di riferirci allo stesso esempio di codice utilizzato per il debug con Dev-C++.

Se avete necessità di verificare le impostazioni del contesto di debug di Code::Blocks potete riferirvi alla voce di menu **Settings - Debugger**.

Come prima operazione è ovviamente sempre necessario impostare un breakpoint. Per farlo all'interno di Code::Blocks potete procedere in vari modi. Il primo e più immediato è quello di posizionarvi con il cursore sulla riga di codice di vostro interesse e usare il tasto F5. In alternativa potete usare il menu contestuale visualizzato agendo con il tasto destro del mouse e selezionare la voce **Toggle breakpoint**. Ovviamente il click deve avvenire sulla riga che vogliamo diventare breakpoint. Ancora, è possibile selezionare tale voce **Toggle breakpoint** dal menu **Debug**. Infine è possibile cliccare con il tasto sinistro del mouse sulla colonna sinistra dell'editor subito alla destra dei numeri di riga. Comparirà, in ogni caso, indipendentemente dal metodo utilizzato, un piccolo cerchietto rosso a indicare l'impostazione del breakpoint sulla riga specifica. Per rimuoverlo è sufficiente ripetere, su tale riga, la medesima operazione utilizzata per impostare il breakpoint stesso con uno qualsiasi dei metodi proposti. In Figura 5.14 vi mostro un'istantanea con il breakpoint visualizzato nell'editor.



```
main.c ×
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3
4 int main()
5 {
6     int x;
7     int y;
8     int s;
9
10    x = 3;
11    y = 4;
12
13    s = x + y;
```

Figura 5.14 – Il breakpoint visualizzato nella finestra di editing di Code::Blocks.

È ora necessario visualizzare la finestra per osservare il valore delle variabili. Per farlo selezionate la voce di menu **Debug - Debugging windows - Watches** come mostrato nella Figura 5.15.

Potete lasciare la finestra fottante, ovvero libera sullo schermo, oppure bloccarla all'interno dell'ambiente (si parla di docking della finestra) come mostrato nella Figura 5.16. In tale figura potete vedere presenti tra i watches le tre principali variabili del nostro piccolo programma di esempio: x, y e s.

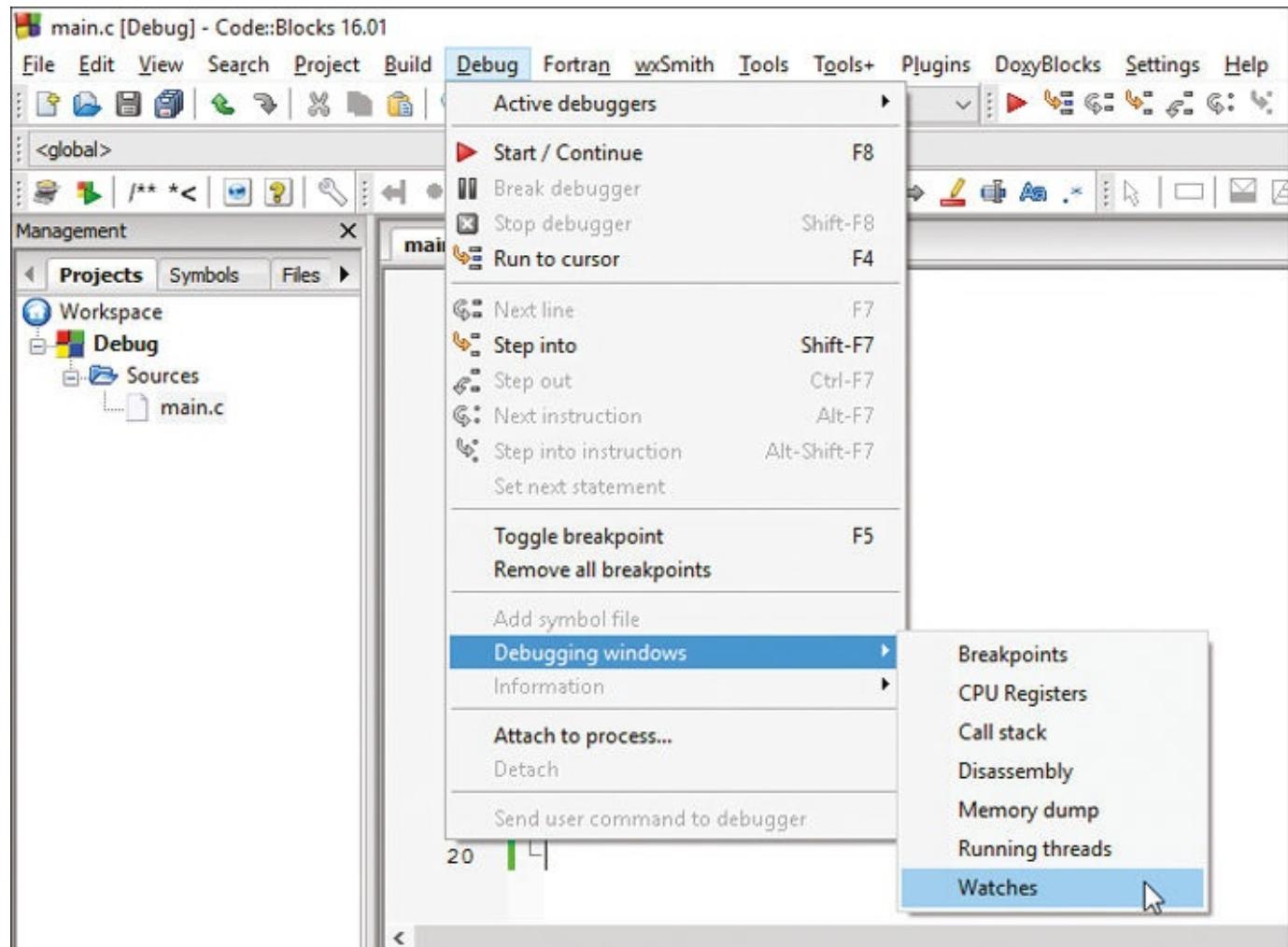


Figura 5.15 – Il menu per la visualizzazione della finestra dei watches di Code::Blocks.

The screenshot shows the Code::Blocks IDE interface. On the left, the 'Management' panel displays the 'Projects' tab, with 'Workspace' and 'Debug' selected. Under 'Sources', there is a folder named 'main.c'. Below this is the 'Watches (new)' window, which contains a table with three rows: 'x' with value '83', 'y' with value '8', and 's' with value '91'. The main workspace shows the code for 'main.c' with line numbers from 1 to 20. A red dot is placed at line 6, and a yellow arrow points to line 10, indicating the current execution point.

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3
4 int main()
5 {
6     int x;
7     int y;
8     int s;
9
10    x = 3;
11    y = 4;
12
13    s = x + y;
14
15    printf ("La somma e': %d\n", s);
16
17    system("PAUSE");
18
19 }
20

```

Figura 5.16 – La finestra dei Watches bloccata all'interno dell'ambiente Code::Blocks.

Per inserire una variabile in tale elenco è sufficiente posizionarsi con il mouse su di essa e, agendo con il tasto destro, selezionare la voce **Watch ‘x’** dove x è il nome della variabile di interesse in un dato momento.

Per rendere operativa tale possibilità è tuttavia necessario avviare le operazioni di debug. Per farlo è possibile agire sulla voce di menu **Debug - Start / Continue** oppure premere il tasto F8.

Nella stessa Figura 5.16 potete notare come il valore delle tre variabili sia del tutto casuale. Ciò è dovuto al fatto che l'esecuzione del debug non è ancora arrivata alle istruzioni di valorizzazione. Infatti, dalla figura si evince, osservando il triangolino presente sulla riga indicata con il numero 10, che l'istruzione `x = 3;` ancora non viene eseguita. Il triangolino rappresenta infatti la posizione della riga di codice che sta per essere eseguita. Per procedere con l'esecuzione è sufficiente selezionare la voce di menu **Debug - Next line** o più semplicemente digitare il tasto F7.

Man mano che si procede con l'esecuzione, sarà possibile visualizzare il valore delle variabili sotto osservazione.

Istruzioni condizionali: operiamo delle scelte

Eppure le **decisioni** vanno prese e anche non prendere decisioni, in fondo, è una **decisione**.

Johann Wolfgang Göethe

Nel precedente quarto capitolo ho introdotto, in maniera fondamentalmente teorica, i principali tipi di operatori; è giunto allora il momento di utilizzare questi operatori nel contesto reale del linguaggio C. Sia nel caso degli operatori relazionali che nel caso di quelli logici, ciò che in generale vogliamo definire è come comportarci se si verifica una data situazione piuttosto che un'altra. Per far ciò ci serviamo di apposite istruzioni, dette **istruzioni condizionali**.

Il costrutto if-else

Il primo e più semplice costrutto per consentire alla macchina di effettuare una scelta tra l'esecuzione di una sezione di codice sorgente piuttosto che un'altra è **if-else**. Tale costrutto è traducibile in italiano con l'espressione “se-altrimenti”. Esso viene utilizzato per prendere decisioni diverse in base al verificarsi di una data condizione. La sua struttura generale è la seguente:

```
if (condizione) {  
    istruzioni_X;  
}  
else {  
    istruzioni_Y;  
}
```

Se l'elemento `condizione`, posto tra parentesi tonde dopo la parola chiave `if`, risulta vero allora il sistema esegue le istruzioni poste immediatamente dopo l'`if` (quelle che ho etichettato come `istruzioni_X`) altrimenti, se la condizione NON è verificata, verranno eseguite le istruzioni successive all'`else` (`istruzioni_Y`). L'apertura e la chiusura delle parentesi graffe servono per indicare il blocco di istruzioni da eseguire.

Faccio subito qualche considerazione di merito. Nel caso in cui l'istruzione da eseguire fosse una sola sarebbe possibile omettere l'uso delle parentesi graffe. Queste, infatti, hanno lo scopo di raggruppare le istruzioni da eseguire nei due casi possibili. A rigore, se l'istruzione è una sola non si rende necessario usare le parentesi come fossero un contenitore. Tuttavia il mio consiglio è di usarle sempre, anche in caso di una singola istruzione. Ciò rende più leggibile il codice ed evita inutili possibili errori.

La seconda questione che mi piace qui sottolineare è la **posizione delle parentesi graffe** all'interno del costrutto. Fondamentalmente esistono due modi standard per posizionare tali parentesi.

Il primo modo prevede, come appena visto, la presenza delle parentesi graffe aperte subito dopo la condizione e subito dopo l'`else`. In buona sostanza sulla stessa riga di codice.

Una seconda possibilità consiste nel porre tali aperture di parentesi graffe su di una riga separata, come vi mostro di seguito:

```
if (condizione)  
{  
    istruzioni_X;  
}  
else  
{  
    istruzioni_Y;  
}
```

Ovviamente l'una o l'altra scelta non modificano nella maniera più assoluta la funzionalità del costrutto ma sono solo due possibili e differenti stili. Io personalmente, tra i due, preferisco e uso sistematicamente il secondo. A voi lascio libero arbitrio. Una cosa però la raccomando fortemente: l'uso dell'indentazione; le istruzioni all'interno dei blocchi vanno assolutamente

indentate di una tabulazione in modo da rendere pulito e leggibile il codice.

Una terza e ultima osservazione è relativa al fatto che il blocco `else` è facoltativo e quindi, nel caso in cui non fosse necessario eseguire alcuna operazione al non verificarsi della condizione, potremmo scrivere tranquillamente qualcosa del tipo:

```
if (condizione)
{
    istruzioni_X;
}
```

A questo punto un esempio è d'obbligo. Supponiamo di voler individuare quale tra due numeri dati in input dall'utente sia il maggiore. Il codice potrebbe essere il seguente:

```
/* Determina il maggiore tra due interi, input utente */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int a, b;
    printf("Inserisci il primo numero: ");
    scanf("%d", &a);
    printf("Inserisci il secondo numero: ");
    scanf("%d", &b);
    if (a > b)
    {
        printf("Il primo numero e' maggiore del secondo");
    }
    else
    {
        printf("Il secondo numero e' maggiore del primo");
    }

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il codice mi sembra abbastanza chiaro da risultare autoesplicativo. Ovviamente si suppone che i due numeri in input siano differenti tra loro, assumendo, quindi, che non ci sia possibilità che siano uguali. Infatti, la condizione `a > b` all'interno dell'`if` è un'espressione logica che può assumere valore vero oppure falso e dunque la presenza in input di due numeri uguali porterebbe a un malfunzionamento del programma.

Infatti, supponiamo che l'utente inserisca in input uno stesso numero due volte, ad esempio il numero 3. Sia la variabile '`a`' che la variabile '`b`' contenerebbero dunque il numero intero 3. Il test `a > b` ovviamente darebbe risultato falso in quanto `a` non è maggiore di `b` (`a` e `b` sono invece uguali). Tale situazione comporterebbe l'esecuzione del codice dopo la clausola `else` con la relativa stampa a video ad affermare il fatto che "Il secondo numero è maggiore del primo". Cosa ovviamente non vera nel caso che stiamo immaginando.

Per trovare una soluzione dovete per forza di cose leggere il paragrafo seguente.

Il costrutto else if

Come al circo, procediamo man mano ad aumentare la difficoltà dei nostri “esercizi”. Quando una condizione può dare un numero di risultati di nostro interesse superiori a due, dobbiamo utilizzare una variante del costrutto che prevede un’ulteriore clausola “`else if`” come vi mostro di seguito:

```
if (espressione_1)
{
    istruzioni_X;
}
else if (espressione_2)
{
    istruzioni_Y;
}
else if (espressione_3)
{
    istruzione_Z;
}
else
{
    altre_istruzioni;
}
```

Come detto, il costrutto precedente serve quindi nei casi in cui le condizioni da testare (vale a dire per le quali effettuare un test) sono più di due. A seconda di quale espressione dia il valore vero verrà eseguito il relativo blocco di istruzioni. Nel caso nessuna delle espressioni dovesse risultare vera verrebbe eseguito il blocco successivo all’`else` in coda al costrutto.

Un buon modo per verificare sul campo l’uso di questa variante del costrutto è quella di risolvere il problema della individuazione del maggiore tra due numeri, visto nel precedente paragrafo, gestendo ora la possibilità che i due numeri possano essere uguali. Vi propongo di seguito una possibile stesura del codice:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int a, b;
    printf("Inserisci il primo numero: ");
    scanf("%d", &a);
    printf("Inserisci il secondo numero: ");
    scanf("%d", &b);
    if (a > b)
    {
        printf("Il primo numero e' maggiore del secondo");
    }
    else if (a < b)
    {
        printf("Il secondo numero e' maggiore del primo");
    }
    else
```

```
{  
    printf("I due numeri sono uguali");  
}  
  
system("PAUSE");  
return 0;  
}
```

Strutture nidificate

Il costrutto `if - else`, come visto, serve per eseguire un blocco di istruzioni in base al verificarsi o meno di una data condizione. La cosa interessante, e a volte di grande utilità pratica, è che il blocco di istruzioni da eseguirsi dopo un `if` oppure dopo un `else` può a sua volta essere un ulteriore costrutto `if - else`. Si parla in questo caso di **strutture nidificate**.

Vi propongo un esempio relativo a un ipotetico programma che determina un giudizio sintetico rispetto a un voto scolastico.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int voto;
    printf ("Inserisci il tuo voto: ");
    scanf("%d", &voto);
    if (voto < 1 || voto > 10)
    {
        printf("Devi inserire un voto compreso tra 1 e 10");
    }
    else
    {
        if (voto < 6)
        {
            printf("Insufficiente");
        }
        if (voto == 6)
        {
            printf("Sufficiente");
        }
        if (voto == 7)
        {
            printf("Discreto");
        }
        if (voto == 8)
        {
            printf("Buono");
        }
        if (voto == 9)
        {
            printf("Ottimo");
        }
        if (voto == 10)
        {
            printf("Eccellente");
        }
    }
    printf("\n");
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Osservando con po' di attenzione il codice potete scorgere il primo ramo dell'`if` nel quale verifichiamo la validità del voto. Supponiamo che esso debba essere compreso tra 1 e 10. Per testarne la validità usiamo l'operatore relazionale OR logico che vi ho presentato nel Capitolo 4. Il senso è: "SE il voto è minore di 1 OPPURE il voto è maggiore di 10 ALLORA il voto non è valido". L'OR logico viene espresso con un doppio simbolo '||' noto come **pipe**.

Osservando il ramo relativo all'`else` potrete notare come esso sia "nidificato" utilizzando ulteriori costrutti di tipo `if`. È intuitivo che avremmo potuto esprimere le varie condizioni di selezione utilizzando il costrutto con l'aggiunta della clausola `else if`. Di seguito vi mostro come:

```
...
if (voto < 1 || voto > 10)
{
    printf("Devi inserire un voto compreso tra 1 e 10");
}
else
{
    if (voto < 6)
    {
        printf("Insufficiente");
    }
    else if (voto == 7)
    {
        printf("Discreto");
    }
    else if (voto == 8)
    {
        printf("Buono");
    }
    else if (voto == 9)
    {
        printf("Ottimo");
    }
    else if (voto == 10)
    {
        printf("Eccellente");
    }
}
...
}
```

Con questa seconda versione si evidenzia in maniera più forte come la variabile `voto` determini in maniera diretta e univoca il relativo giudizio. In realtà, ovviamente, le due versioni sortiscono esattamente lo stesso risultato. Questo semplice esempio dovrebbe farvi nuovamente riflettere su come sia importante lo stile proprio di ciascun singolo programmatore.

Il costrutto switch

Il costrutto `if - else` mostra i propri limiti nel momento in cui il numero di condizioni da verificare si avvicina o addirittura supera quello delle dita della mia mano (ma anche della vostra, a meno che non siate extraterrestri e stiate leggendo questo testo solo per impadronirvi della tecnologia informatica della razza umana). Ne potete avere prova anche semplicemente osservando l'esempio appena proposto relativo alla valutazione. Il C mette tuttavia a nostra disposizione uno specifico costrutto che rende tali situazioni più agevoli da gestire: lo **switch**.

Il **costrutto switch** esamina un certo numero di possibilità ed esegue le istruzioni corrispondenti. La sua forma generale è la seguente:

```
switch (espressione)
{
    case espressione-costante:
        istruzioni;
    case espressione-costante:
        istruzioni;
    default:
        istruzioni;
}
```

Per forzare l'uscita dal costrutto `switch` è necessario utilizzare un'appropriata istruzione denominata `break`.

Vi propongo subito come esempio la situazione appena vista relativa alla valutazione in una nuova formulazione.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int voto;
    printf ("Inserisci il tuo voto: ");
    scanf("%d", &voto);
    switch(voto)
    {
        case 1:
        case 2:
        case 3:
        case 4:
        case 5:
            printf("Insufficiente");
            break;
        case 6:
            printf("Sufficiente");
            break;
        case 7:
            printf("Discreto");
            break;
        case 8:
            printf("Buono");
            break;
    }
}
```

```

    case 9:
        printf("Ottimo");
        break;
    case 10:
        printf("Eccellente");
        break;
    default:
        printf("Devi inserire un voto compreso tra 1 e 10");
        break;
}

system("PAUSE");
return 0;
}

```

Il nostro `switch` esaminerà ovviamente il voto inserito. I primi `case` sono relativi ai valori 1, 2, 3, 4, e 5. Solo dopo tale ultimo valore troviamo la prima istruzione `printf` che stamperà, per uno qualsiasi di tali valori, la dicitura “Insufficiente”.

Infatti, una volta che la macchina “entra” all’interno dello `switch` rispetto a un valore specifico inizia a eseguire tutte le istruzioni che seguono all’interno dei vari ulteriori `case`. All’interno di questi primi `case` non sono presenti istruzioni in quanto vogliamo stampare un solo giudizio per un qualsiasi voto inferiore a 6. Subito dopo la stampa relativa all’insufficienza dobbiamo però inserire una clausola `break`. Ciò serve, come detto, per forzare l’uscita dal nostro costrutto. In caso contrario, provare per credere, verrebbero eseguite tutte le altre istruzioni di stampa compromettendo l’efficacia del nostro codice. Infine, le istruzioni relative alla clausola `default`, che è facoltativa, verranno eseguite nel caso in cui nessun caso venga soddisfatto.

A proposito della clausola `default` vi faccio osservare che la successiva istruzione `break` non sarebbe di norma necessaria, in quanto essa è presente alla fine dello `switch` che comunque non comporterebbe l’esecuzione di altre istruzioni. Kernighan e Ritchie, nel loro testo, consigliano comunque di porre tale istruzione `break` nella sezione `default`, sia per un fatto puramente stilistico sia per evitare problemi nel caso si dovessero aggiungere ulteriori sezioni `case` in coda al costrutto.

Cicli, ovvero noi la mente e la macchina il braccio

I computer sono incredibilmente veloci, accurati e stupidi.
Gli uomini sono incredibilmente lenti, inaccurati e intelligenti. L'insieme dei due costituisce una forza incalcolabile.

Albert Einstein

Se proviamo per un attimo a guardare a quanto vi ho proposto finora, possiamo individuare un ben preciso disegno: stiamo istruendo la macchina a eseguire al nostro posto tutta una serie di attività.

Siamo partiti con una serie di semplici istruzioni poste in **sequenza** una dopo l'altra. Abbiamo successivamente dotato la macchina della facoltà di decidere se prendere una certa strada o piuttosto seguirne un'altra in dipendenza di una data condizione (**alternativa**). Rimane ancora una delle situazioni forse più frustranti per un essere umano: ripetere, ripetere e ancora ripetere una serie di azioni tutte uguali tra di esse (**ripetizione** anche detta iterazione). Le ultime tre parole che ho scritto in grassetto: sequenza, alternativa e ripetizione rappresentano tre elementi classici, e per certi aspetti imprescindibili, della programmazione. Prendono il nome di **strutture di controllo** e con il loro uso è possibile realizzare pressoché qualsiasi algoritmo. In realtà, in maniera estremamente più precisa rispetto a quanto ho appena accennato io, questa affermazione fu realizzata da **Corrado Böhm** e **Giuseppe Jacopini** i quali formalizzarono il seguente importante risultato teorico a proposito di tali costrutti, proponendo il seguente teorema:

Un qualunque algoritmo può essere descritto unicamente attraverso le tre strutture: Sequenza, Selezione, Iterazione.

Tale teorema, noto come **teorema di Böhm-Jacopini**, dai nomi dei due informatici italiani che lo formularono, ha in effetti un'importanza più che altro teorica. Esso fu formulato nel 1966, forse non a caso il mio anno di nascita.

I costrutti di sequenza, selezione e iterazione, a causa della loro importanza, vengono spesso anche definiti come i **tre costrutti fondamentali della programmazione**.

Spaghetti e programmazione strutturata

I primi linguaggi di programmazione più o meno evoluti (stiamo parlando degli anni 60 dello scorso secolo) avevano un approccio diverso rispetto a quelli che conosciamo oggi. L'esecuzione del programma partiva dall'inizio del codice e proseguiva in modo sequenziale fino alla fine, a meno che non si incontravano delle istruzioni di salto, note come GOTO (ovvero "vai a"). Tale approccio portava alla realizzazione di programmi difficili da gestire e talmente ingarbugliati da meritarsi l'appellativo di "**spaghetti code**" e la relativa modalità di realizzazione nota come **spaghetti programming** (programmazione a spaghetti). Mi sembra superfluo far notare come tale nome sia usato in un contesto dispregiativo e che il paragone con gli spaghetti è motivato dal fatto che tale tipo di pasta si dispone nel piatto in maniera assolutamente confusa, intrecciata e ingarbugliata.

Furono i contributi di Böhm, Jacopini e anche di **Edsger Dijkstra** a consentire il superamento di tale approccio e dei limiti a esso connessi. Nasceva così la **programmazione di tipo strutturato** o **programmazione strutturata**, in cui l'utilizzo di una specifica struttura di controllo per la ripetizione delle istruzioni superava il vecchio GOTO.

Veniamo allora finalmente ai dettagli della struttura di controllo ripetizione. Essa può assumere varie forme, ognuna più o meno adatta a specifiche circostanze. Tutte con il medesimo scopo: ripetere una stessa sequenza di istruzioni per un certo numero di volte.

Il ciclo for: ripetiamo contando

Nel contesto informatico, il costrutto iterazione prende il nome generico di **ciclo** e il realizzare cicli viene spesso definito, in slang, **ciclare**.

NOTA

Lo slang è un modo di parlare proprio di un certo contesto culturale o sociale. Un sinonimo di slang è gergo.

Il **costrutto for** serve quindi per ripetere una o più istruzioni per un numero di volte specificato. Tale numero di volte viene controllato attraverso una variabile che prende il nome di **contatore**. “Formalmente” il **for** ha la seguente struttura:

```
for (da_dove_partiamo; quando_ci_fermiamo; teniamo_il Conto)
{
    istruzione_1;
    istruzione_2;
    ...
    istruzione_n;
}
```

Le istruzioni presenti tra parentesi graffe verranno eseguite il numero di volte specificato dalle espressioni contenute dopo il **for** tra parentesi tonde e separate dai simboli di “;” (punto e virgola).

Nel caso in cui l’istruzione da eseguire sia soltanto una, è possibile omettere le parentesi graffe (ma è comunque buona norma utilizzarle in ogni caso).

Facciamo subito un esempio per evitare di fare troppe premesse e supponiamo di voler stampare a video cento volte il mio nome e cognome (e ancora una volta dimostro il mio istinto di egocentrismo).

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    for (i=1; i<=100; i++)
    {
        printf("Carlo Mazzone\n");
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il **for** farà in modo di eseguire per cento volte l’istruzione **printf**. L’assegnazione **i=1**, nella prima posizione all’interno delle parentesi tonde del **for**, indica il valore iniziale della variabile **i** che usiamo come contatore. Nella seconda posizione, con **i <= 100** andiamo a indicare fino a quando proseguiremo con l’esecuzione del nostro ciclo. Nella terza posizione, con **i++** andiamo a incrementare a ogni esecuzione il valore del contatore.

Tutto ciò è possibile in quanto l’esecuzione del ciclo rispetta delle regole molto precise.

Innanzitutto viene valutata la prima espressione all'interno del `for`, nel nostro caso `i=1`. Tale valutazione avviene **una sola volta all'inizio della prima iterazione** del ciclo e non verrà più presa in considerazione durante tutta l'esecuzione del ciclo stesso.

Successivamente, **all'inizio di ogni nuova iterazione**, viene valutata la seconda espressione, nel nostro caso `i<=100`. Se essa risulta essere vera (soddisfatta) vengono eseguite le istruzioni all'interno del blocco di parentesi graffe. In caso contrario, se essa risulta essere falsa, l'esecuzione del ciclo si interrompe passando all'esecuzione delle istruzioni successive al blocco `for`.

Alla fine di ogni iterazione viene eseguita la terza espressione presente tra parentesi tonde, nel nostro caso `i++`, ovvero l'incremento di un'unità della nostra variabile contatore.

In definitiva, l'esecuzione del ciclo del nostro esempio proseguirà fin quando la variabile `i` non assumerà il valore 101 (centouno) rendendo falso il risultato dell'espressione `i <= 100`.

Pari o dispari?

Una cosa che credo sia importante farvi notare è che spesso il contatore, ovvero la variabile che usiamo per contare il numero di iterazioni, viene utilizzato anche per scopi diversi dal semplice conteggio.

Un esempio è d'obbligo: supponiamo di voler stampare i primi numeri pari fino a 50. Per farlo sfruttiamo l'**operatore modulo** '%' applicato al numero 2. Vi ricordo che l'operatore modulo restituisce il **resto intero di una divisione**. Nel momento in cui effettuiamo una divisione per 2 il resto intero di tale divisione sarà ovviamente 0 oppure 1. Nel caso in cui tale divisione dà resto 0 significa banalmente che il numero che abbiamo diviso è pari altrimenti, nel caso di resto 1, il numero dovrà essere per forza di cose dispari. Di seguito vi mostro una possibile implementazione del codice:

```
/* Stampa numeri pari fino a 50 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    for (i=1; i<=50; i++)
    {
        if (i%2 == 0)
        {
            printf("%2d\n", i);
        }
    }

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il programma, seppur abbastanza semplice, fornisce spunti interessanti di riflessione. Per prima cosa osserviamo la nidificazione tra le due strutture di controllo `for` e `if`. Il contatore scandisce i numeri da 1 a 50 ed “esce” quando la variabile `i` vale 51 grazie all'uso dell'operatore relazionale

`<=` (minore uguale). A ogni iterazione testiamo la variabile `i` per verificare se la divisione per 2 dà resto zero. Solo in questo caso stampiamo la variabile stessa. Da notare come ho utilizzato il qualificatore `%2d` per stampare i numeri su due colonne in modo da rendere l'output più ordinato.

```
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
46
48
50
Premere un tasto per continuare . . .
```

Figura 7.1 – I primi numeri pari minori o uguali a 50.

Una delle cose che ritengo più affascinanti della programmazione è la possibilità di implementare la risoluzione di uno stesso problema con differenti modalità e approcci. Ciò consente al singolo sviluppatore di trasferire nel proprio codice sorgente la sua peculiare fantasia ed essenza creativa. Un cedere al codice che si scrive un po' del proprio DNA. Sarà questo uno dei motivi per cui noi sviluppatori siamo così attaccati ai nostri programmi: sono nostre creature, nostri figli. La motivazione di questa mia riflessione dovrebbe essere un po' più chiara osservando che il problema appena visto, relativo alla stampa dei numeri pari minori di 50, può essere risolto in maniera completamente diversa. Di seguito, il codice, senza ulteriori filosofismi:

```
/* Stampa numeri pari fino a 50 - versione senza if */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    for (i=2; i<=50; i=i+2)
    {
        printf("%2d\n", i);
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

In questo caso il codice risulta più compatto. Nel `for` partiamo con `i` uguale a 2 e arriviamo a ciclare, ancora come prima, fino al valore 50. Tuttavia, questa volta, nella terza parte del `for`

usiamo un'istruzione che incrementa la variabile contatore `i` di due unità per volta. Questo per fare in modo che a ogni iterazione, partendo da 2, andiamo a costruire direttamente tutti i numeri pari fino al limite che ci siamo imposti.

Per certi aspetti si tratta di due approcci completamente diversi; nel primo caso generiamo tutti i numeri ma scegliamo solo quelli pari, nel secondo, invece, generiamo direttamente ed esclusivamente i soli numeri pari.

Chi è il maggiore?

Di seguito vi riporto un nuovo esempio d'uso del ciclo `for` con un minimo di utilità pratica: l'individuazione del numero maggiore tra una serie di numeri forniti in input dall'utente:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define TOT_NUM 10
int main(int argc, char *argv[])
{
    int max, i, x;

    for (i=1; i<= TOT_NUM; i++)
    {
        printf("Dammi il numero: ");
        scanf("%d", &x);
        if (i==1) max = x; /* impostiamo il primo numero letto come max temporaneo */
        if (x>max)
        {
            max=x;
        }
    }

    printf("Il massimo e': %d\n", max);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

La prima cosa da notare è l'uso della direttiva:

```
#define TOT_NUM 5
```

In tal modo impostiamo la costante `TOT_NUM`, nello specifico al valore 10, considerandola come la quantità di numeri che vogliamo esaminare. Si tratta di un modo semplice ed efficace per poter modificare, durante la fase di scrittura del codice, la dimensione del nostro problema, andando a impostare tale costante a un valore molto più basso, tipo 3 oppure 5, per poter con più sveltezza provare la validità del nostro codice.

Mi spiego meglio: se il nostro problema prevede la gestione di 10 o addirittura 100 numeri, non ha senso buttar via minuti preziosi della nostra esistenza per inserire in input tali valori per poi scoprire che il codice ha un bug che impedisce la corretta determinazione dell'output. Molto meglio provare prima con una piccola quantità di numeri, in modo da arrivare velocemente al nucleo dell'esecuzione per testarne la validità.

La prima parte del codice dell'esempio è banale: prendiamo in input, all'interno del ciclo `for i` vari valori richiesti all'utente e li poniamo, di volta in volta, nella variabile `x`.

Di interesse è l'uso del costrutto `if` all'interno del `for`:

```
if (i==1) max = x;
```

con tale istruzione ci preoccupiamo di inizializzare un massimo temporaneo iniziale. Per farlo verifichiamo che il numero letto sia il primo. In questo caso impostiamo la variabile `max` uguale, appunto, a tale numero. Contravvenendo alle mie consuetudini, ho posto l'intero costrutto su di una sola riga e non ho usato le parentesi graffe per includere il corpo di esecuzione dell'`if` stesso. Vi ricordo che ciò è possibile in quanto l'istruzione relativa all'`if` è soltanto una. Questo tipo di impostazione compatta del codice può risultare accettabile quando si tratta di situazioni particolari, come ad esempio questa in cui tale `if` sarà soddisfatto per un solo valore dell'input: nel nostro caso, come detto, per il primo valore.

Il secondo `if` è a dir poco banale; se il numero letto in input, `x`, è maggiore del massimo temporaneo, lo imposto come nuovo elemento maggiore. All'uscita del ciclo `for` stamperò l'ultimo massimo temporaneo acquisito.

Il ciclo while

Un altro metodo classico per ripetere per un dato numero di volte una certa sequenza di istruzioni è quello di usare il ciclo **while**, la cui forma generale è la seguente:

```
while (espressione)
{
    istruzioni;
}
```

Viene innanzitutto valutata l'espressione tra parentesi: fin quando questa risulta vera viene eseguito il blocco di istruzioni.

Per mettere alla prova questo nuovo costrutto realizziamo un semplice programma che stampa dieci righe numerate, appunto, da 1 a 10:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    i=1;
    while (i<=10)
    {
        printf("Io sono la riga numero %d\n", i);
        i++;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Da una veloce disamina del codice proposto, vi renderete conto della forte analogia con il costrutto **for**. La differenza sostanziale la possiamo vedere nel fatto che il **while** non prevede la gestione diretta della variabile contatore né per quanto riguarda la sua inizializzazione né in relazione al suo incremento. Infatti, nel codice ho dovuto porre l'inizializzazione della variabile contatore a **i=1** immediatamente prima del ciclo e l'incremento con **i++**, al suo interno, prima dell'uscita dal ciclo stesso.

È la somma che fa il totale

Sfruttando una celebre frase del grande Totò nel titolo di questo piccolo paragrafo, vi presento un ulteriore esempio d'uso del **while**. Scriviamo un programma che calcola e stampa la somma di cinque numeri dati in input dall'utente:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i, x, s;
    i=1;
    s=0;
```

```

while(i <= 5)
{
    printf("Inserisci un numero: ");
    scanf("%d", &x);
    s = s + x;

    i++;
}
printf("La somma e': %d\n", s);
system("PAUSE");
return 0;
}

```

Usiamo la variabile `s` per contenere le somma. È da considerare l'assoluta importanza di **inizializzare a zero il suo valore**. Infatti, tale variabile conterrà a ogni iterazione la somma parziale di volta in volta calcolata con l'espressione:

```
s = s + x;
```

Se tale variabile `s` non venisse posta inizialmente a zero il suo valore iniziale sarebbe, come abbiamo già verificato in altre situazioni, del tutto casuale. Ciò comporterebbe inevitabilmente un valore non corretto quando a `s` andiamo a sommare la variabile `x` valorizzata con l'input utente. Per verificare come il valore di `s` si modifichi a ogni iterazione vi consiglio di andare in debug come vi ho mostrato nel Capitolo 4.

Per il resto, il codice dell'esempio non dovrebbe presentare problemi di comprensione; usiamo la `i` come contatore che, inizializzato a uno, incrementiamo con `i++` a ogni iterazione.

For e while a confronto

Potete facilmente riflettere sull'estrema intercambiabilità dei due costrutti `for` e `while` osservando come il problema di calcolare la somma appena visto può essere implementato in maniera molto simile con il costrutto `for`:

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i, x, s;
    s=0;
    for (i=1; i <= 5; i++)
    {
        printf("Inserisci un numero: ");
        scanf("%d", &x);
        s = s + x;
    }

    printf("La somma e': %d\n", s);
    system("PAUSE");
    return 0;
}

```

La scelta tra l'uno o l'altro dei due costrutti può spesso essere guidata da una questione di preferenze e gusto personali. Tuttavia un'indicazione di massima esiste comunque; il `for` di norma è maggiormente indicato quando il numero di iterazioni da realizzarsi è ben definito a priori. Nei casi appena visti la **dimensione del problema** era nota: 5, 10 oppure 100 iterazioni ben definite a monte dell'esecuzione.

In altri casi, invece, il numero di volte per cui dobbiamo effettuare una data serie di operazioni non è definito nel problema ma è esso stesso variabile. Supponiamo, ad esempio, che il numero di elementi da sommare non sia predeterminato ma sia l'utente stesso a decidere, durante la fase di input, quando terminare l'inserimento dei dati stessi. Una tale intenzione potrebbe, per esempio, essere espressa utilizzando un valore speciale, diciamo zero supponendo che l'input debba essere per forza di cose di tipo positivo. È in questi casi che l'uso del `while` risulta sicuramente più naturale.

Un esempio mi sembra indispensabile.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int x, s;
    s = 0;
    printf("Inserisci un numero positivo oppure 0 per terminare: ");
    scanf("%d", &x);
    while (x != 0)
    {
        s = s + x;
        printf("Inserisci un numero positivo oppure 0 per terminare: ");
        scanf("%d", &x);
    }

    printf("La somma e': %d\n", s);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Le variabili in gioco sono sostanzialmente le stesse della situazione precedente, senza tuttavia la necessità di utilizzare la variabile contatore `i`. Prima di entrare nel ciclo `while` chiediamo all'utente di inserire un valore da sommare oppure di digitare zero per terminare l'inserimento dei dati. Nel caso in cui l'utente dovesse digitare già alla prima richiesta il valore zero, il `while` non sarebbe soddisfatto rispetto alla condizione `x` diverso da zero e quindi l'esecuzione salterebbe all'esterno del ciclo, andando a stampare zero come valore per la somma. Infatti, la variabile `s` inizializzata a zero non verrebbe minimamente intaccata da ulteriori modifiche.

Al contrario, nel caso di inserimento di un valore diverso da zero l'esecuzione si sposterebbe all'interno del corpo del ciclo `while` dove il valore di `x` verrebbe sommato a quello di `s`. Subito dopo siamo costretti a ripetere l'invito di inserimento dei valori al nostro utente. Il resto dovrebbe essere ormai chiaro.

Il ciclo do-while

Ok, stiamo facendo grandi progressi. Cerchiamo ora di fare un ulteriore passo in avanti rispetto alla possibilità di scrivere un codice elegante e funzionale. Se osservate, anche distrattamente, l'ultimo programmino che abbiamo scritto, vi renderete immediatamente conto di qualcosa che non va, una sorta di nota stonata. Mi riferisco al fatto che ci troviamo a ripetere, in maniera assolutamente identica, le istruzioni relative all'input dei dati:

```
printf("Inserisci un numero positivo oppure 0 per terminare: ");
scanf("%d", &x);
```

Ciò è forzato dalla necessità di controllare un valore nella condizione del `while`. Senza tale valore, nel nostro caso `x`, non siamo in grado di decidere cosa fare. Tuttavia tale richiesta deve essere ripetuta e quindi siamo costretti a riportare nuovamente nel codice le stesse due righe con le istruzioni `printf` e `scanf`. Ma abbiamo un'alternativa da giocarci: il ciclo `do-while`.

Mentre il ciclo `while` controlla l'espressione prima di procedere all'esecuzione delle istruzioni, il ciclo `do-while` esegue prima il blocco di istruzioni e successivamente verifica l'espressione. Fin quando quest'ultima rimarrà vera, verranno eseguite le istruzioni del blocco tra parentesi graffe. La struttura generale del costrutto è la seguente:

```
do
{
    istruzioni;
}
while (espressione);
```

È proprio quello che ci serve! Nel nostro caso, almeno una volta, dobbiamo per forza di cose prendere in input un valore, fosse anche solo per far segnalare all'utente che non vuole inserire valori. Vediamo allora come possiamo procedere:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int x, s;
    s = 0;
    do
    {
        printf("Inserisci un numero positivo oppure 0 per terminare: ");
        scanf("%d", &x);
        s = s + x;
    }while (x != 0);

    printf("La somma e': %d\n", s);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Dunque, dopo aver inizializzato a zero la variabile `s`, entriamo, indipendentemente da qualsiasi

cosa, all'interno del ciclo ed eseguiamo le istruzioni relative all'accettazione dell'input. Subito dopo effettuiamo la somma parziale.

Nel caso in cui già al primo input l'utente dovesse inserire il valore zero, la somma rimarrebbe comunque a zero e la successiva verifica dell'operatore relazionale del ciclo fallirebbe, forzando l'uscita dal ciclo stesso. In caso contrario l'esecuzione riprenderebbe dall'interno del costrutto con una nuova richiesta per un nuovo valore di input.

Come ulteriore esempio vi propongo una semplice applicazione che legge in sequenza una serie di numeri e termina quando incontra il numero 0 (zero), restituendo la lunghezza della sequenza stessa:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int count=0;
    int x;
    printf("Digita un numero per volta confermandolo con Invio - 0 per terminare");
    do
    {
        scanf("%d", &x);
        count++;
    }while (x!=0); /* continuo il ciclo finché non trovo il carattere zero */

    /* decremento di 1 il valore di count per escludere lo zero dal conteggio
    printf("Lunghezza sequenza: %d\n ", count-1);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Facciamo un break

In talune circostanze si potrebbe avere la necessità di uscire prematuramente da un ciclo. Un classico esempio lo si può vedere quando all'interno di un certo ciclo siamo alla ricerca di un dato valore. Una volta individuato tale valore potremmo voler forzare l'uscita dal ciclo stesso. In queste circostanze è possibile usare un'apposita istruzione chiamata `break`, che costringe appunto il codice all'uscita dal ciclo in questione. Si tratta della stessa istruzione usata nel costrutto `switch` e che sfruttiamo in quel contesto per indicare il termine di una sezione `case`.

Per rendere palese il funzionamento dell'istruzione `break`, vi propongo il codice seguente:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i, x;
    printf("Da 1 a 100 dimmi quando ti vuoi fermare: ");
    scanf("%d", &x);
    i = 1;
    while (i<=100)
    {
        if (i == x)
        {
            break;
        }
        printf("%d\n", i);
        i++;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il codice si basa su di un ciclo `while` che stampa i numeri da 1 a 100. Chiediamo all'utente fino a che punto vuole stampare tali interi e con un costrutto `if` verifichiamo se il numero indicato dall'utente corrisponde al punto in cui la variabile contatore si trova nel suo “percorso” all'interno dell'iterazione. L'eventuale esecuzione del `break` causerà l'uscita forzata dal ciclo, lasciando a video gli interi stampati fino al passo precedente. Parlo di eventualità in quanto, banalmente, se l'utente dovesse indicare un numero minore di 1 oppure maggiore di 100, la condizione dell'`if` non verrebbe mai soddisfatta.

Cominciamo a fare sul serio: gli array

Io non temo i computer. Temo la loro mancanza.

Isaac Asimov

Gli strumenti che vi ho fornito fino a questo punto sono di sicuro interesse: abbiamo “giocato” con i concetti di variabile e di costante e abbiamo visto come manipolarli al fine di ottenere delle semplici elaborazioni di dati.

Ho sottolineato il fatto che le elaborazioni che abbiamo fin qui realizzato sono semplici. In generale, infatti, in un contesto reale le cose sono normalmente più complesse e coinvolgono entità e insiemi di dati difficilmente trattabili con le tipologie di variabili viste finora.

Premesse sulla complessità dei dati

Vi faccio un esempio di una situazione comune e banale per farvi meglio capire il contesto del quale stiamo discutendo.

Immaginiamo di dover gestire le estrazioni del lotto. Si tratta di diverse serie di numeri interi; una serie di cinque numeri per ogni ruota (dieci per la precisione: Bari, Cagliari, Firenze, Genova, Milano, Napoli, Palermo, Roma, Torino e Venezia). Dovendo memorizzare ciascun numero uscito a una data estrazione dovremmo gestire una notevole quantità di variabili.

Ad esempio, per gestire le singole uscite per la sola ruota di Bari dovremmo dichiarare qualcosa del tipo:

```
int ba1, ba2, ba3, ba4, ba5;
```

Ovvero `ba1` per memorizzare il primo estratto, `ba2` per il secondo e così via. Ovviamente la scelta del nome è arbitraria. Avrei potuto scegliere `bari1` oppure `bari_1` per il primo estratto. In ogni caso il nome deve aiutare a comprendere il senso della variabile e, nei limiti del possibile, essere sintetico. Tuttavia non è mai una buona pratica essere eccessivamente minimalisti con scelte del tipo `b1`, `b2`, `b3`, `b4` e `b5` per, ad esempio, la ruota in questione di Bari, in quanto si potrebbe perdere di efficacia comunicativa rispetto al ruolo svolto dalla variabile stessa. Prima di proseguire ci tengo solo a sottolineare, se mai ce ne fosse bisogno, come la scelta di un nome di un lunghezza piuttosto che un'altra non pregiudichi minimamente l'efficienza del compilato che ne scaturirà.

Tornando alle nostre ruote, per le uscite di Cagliari potrei dichiarare le seguenti variabili:

```
int ca1, ca2, ca3, ca4, ca5;
```

e così via.

Il comandante Kirk della nave stellare Enterprise, di fronte al dilemma di dover far morire degli umani o in alternativa sacrificare gli uomini del suo equipaggio per riuscire a salvare i primi, disse al signor Spock, il suo primo ufficiale: “Spock, voglio un’altra soluzione!”.

Quando una certa situazione vi sembra troppo complicata da gestire ricordatevi le parole del comandante Kirk: **deve esserci un’altra soluzione possibile**.

Nel nostro caso la soluzione possibile prende il nome di **strutture dati composte**.

Le strutture dati composte

I tipi di variabili che abbiamo visto finora sono detti **semplici**. Essi, infatti, possono esclusivamente gestire un singolo valore del tipo dichiarato. Che si tratti di un intero (`int`), un carattere (`char`) o un numero con la virgola (`float`), stiamo sempre parlando di singoli valori. Fortunatamente, per gestire situazioni più complicate (come quella delle estrazioni del lotto) possiamo contare su **tipi di dati composti o strutturati**.

In relazione alle estrazioni del lotto, ci tengo comunque a chiarire che da parte mia non vi è alcuna intenzione di spingervi a praticare tale gioco. Al contrario, ritengo estremamente più probabile che vi arricchiate scrivendo codici e programmi utilizzando gli spunti di questo mio libro piuttosto che vincendo al lotto o a una qualsiasi altra forma di lotteria (gratta e vinci compresi).

Tali “giochi” devono essere semplicemente considerati come stimolo per tutta una serie di considerazioni sulla casualità e probabilità di una serie di eventi.

Torniamo quindi alla questione delle strutture dati: la prima struttura dati composta che analizziamo, di importanza addirittura capitale, è l'**array**, noto anche con il nome di **vettore**.

Gli array

Un **array** è un oggetto che serve a contenere un certo numero di **variabili elementari** tutte dello stesso tipo. Per spiegarvi il concetto di variabili ho fatto precedentemente uso dell'esempio di una scatola con un'etichetta che serve a contenere un certo tipo di dato. Per immaginare un array potete pensare a una sequenza di scatole, tutte dello stesso tipo, incollate una vicino l'altra in sequenza.

L'intero "trenino" di scatole ha un nome unico e ogni singola scatola è individuabile attraverso il numero della sua posizione nella sequenza. Come al solito noi informatici iniziamo a contare da zero, per cui la prima posizione ha indice 0, la seconda 1 e così via. **Indice** è in gergo la posizione dell'elemento all'interno della sequenza.

La Figura 8.1 mostra come può essere schematizzato un array di cinque elementi che abbiamo pensato di chiamare `pippo`.

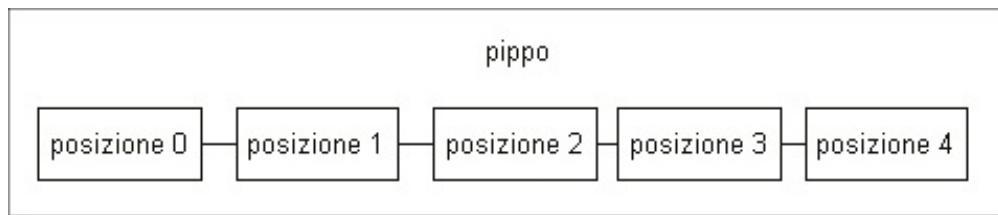


Figura 8.1 – Un array di cinque elementi.

Prima di poter utilizzare il vettore, così come facciamo per le variabili semplici, dobbiamo dichiararlo: specifichiamo il tipo di oggetti che dovrà contenere, il suo nome e quindi, tra parentesi quadre, quanti oggetti (vagoni del nostro ipotetico treno) dovrà contenere.

```
int pippo[5];
```

Abbiamo così dichiarato un array di cinque elementi di tipo intero.

Per riferirci ai singoli elementi contenuti nell'array indichiamo il nome dell'array e, sempre tra parentesi quadre, la posizione dell'elemento nell'array stesso. Supponiamo, ad esempio, di voler inserire nelle cinque celle dell'array i primi cinque numeri pari:

```
pippo[0]=2;  
pippo[1]=4;  
pippo[2]=6;  
pippo[3]=8;  
pippo[4]=10;
```

Il risultato lo possiamo schematizzare come segue:

2	4	6	8	10
0	1	2	3	4

dove all'interno delle celle abbiamo posto il contenuto vero e proprio e sotto ogni singola cella il suo indice.

Per mettere le cose insieme vi presento un esempio che oltre a dichiarare e valorizzare l'array ne stampa anche il contenuto:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    /* Dichiarazione array */
    int pippo[5];
    /* Valorizzazione degli elementi */
    pippo[0]=2;
    pippo[1]=4;
    pippo[2]=6;
    pippo[3]=8;
    pippo[4]=10;
    /* Stampa array */
    printf("I contenuto dell'array e':");
    printf("\n%d", pippo[0]);
    printf("\n%d", pippo[1]);
    printf("\n%d", pippo[2]);
    printf("\n%d", pippo[3]);
    printf("\n%d", pippo[4]);
    printf("\n");

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Ovviamente, così come possiamo assegnare a un elemento dell'array un dato valore, possiamo, al contrario, leggere un valore da una data cella riferendoci sempre a essa attraverso il suo indice. Ad esempio, l'istruzione:

```
x = pippo[3];
```

assegnerà alla variabile `x` il valore contenuto nella quarta posizione (quella con indice 3) e quindi nel nostro caso `x` varrà 8.

La cosa notevole da osservare a questo punto della nostra analisi è che l'indice dell'array non deve essere necessariamente una costante; al contrario, esso può essere una variabile con la quale possiamo riferirci ai vari elementi dell'array in base al suo valore:

```
i = 2;
x = pippo[i];
```

farà in modo che, nel nostro esempio, `x` contenga il valore 6.

È facile, a questo punto, immaginare gli scenari di libertà e potenza che ci si spalancano dinanzi. Volendo stampare tutti gli elementi dell'array è sufficiente la briciola di codice che vi riporto di seguito:

```
for (i=0; i<5; i++)
    printf("%d", pippo[i]);
```

Banalmente, il contatore varierà da 0 a 4 permettendo alla funzione `printf` di stampare, uno di seguito all'altro, tutti gli elementi dell'array.

Valorizzazione e stampa di un array: un esempio completo

Di seguito vi presento un esempio relativo a un semplice programmino che legge una serie di numeri come input utente, li pone in un array e successivamente li stampa.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define TOT_NUM 5
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    int a[TOT_NUM];
    /* Leggo i numeri in input */
    printf("Inserisci i singoli numeri confermandoli con il tasto Invio\n");
    for (i = 0; i < TOT_NUM; i++)
    {
        scanf("%d", &a[i]);
    }
    /* Stampo i numeri inseriti */
    printf("I numeri inseriti sono:\n");
    for (i = 0; i < TOT_NUM; i++)
    {
        printf("%d%c", a[i], ' ');
    }
    printf("\n");
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

L'analisi del codice dovrebbe risultare abbastanza semplice. Il primo ciclo consente l'input dell'utente e fa variare la variabile contatore da zero fino a quando essa risulta inferiore della costante `TOT_NUM` che nel nostro esempio ho posto a 5. Dunque la variabile `i` assumerà valori da 0 a 4, ovvero proprio gli indici del nostro array. Con il ciclo successivo, utilizzando la stessa variabile contatore, effettuiamo un nuova scansione dell'array, questa volta per stamparne il contenuto.

In tale stampa vi propongo un modo diverso per forzare l'inserimento di un carattere spazio utilizzando il qualificatore `%c` utilizzato appunto per la stampa dei caratteri:

```
printf("%d%c", a[i], ' ');
```

dove il carattere spazio è indicato con i singoli apici che contengono appunto al loro interno uno spazio.

Inizializziamo un array

Così come avviene per le variabili semplici, per le quali possiamo assegnare un valore direttamente durante la fase di dichiarazione, ad esempio:

```
int x = 9;
```

allo stesso modo possiamo assegnare i valori che il nostro array dovrà contenere nel momento stesso in cui lo dichiariamo, utilizzando una coppia di parentesi graffe con all'interno, separati da una virgola, i singoli valori numerici:

```
int x[6]={5, 8, 6};
```

Tale operazione è nota come **inizializzazione**.

Il risultato è lo stesso che avremmo ottenuto se avessimo assegnato manualmente i singoli valori numerici alle specifiche posizioni dell'array, come mostrato di seguito:

```
x[0]=5;  
x[1]=8;  
x[2]=6;  
x[3]=0;  
x[4]=0;  
x[5]=0;
```

da notare, infatti, che scrivendo:

```
int x[6]={5, 8, 6};
```

si assegna un valore solo ai primi 3 elementi; gli elementi non assegnati assumono in maniera predefinita (per default) il valore zero. È questo il motivo per cui, nell'assegnazione manuale ho posto:

```
x[3]=0; x[4]=0; x[5]=0;
```

per riprodurre, cioè, la stessa situazione che si ottiene con l'assegnazione dei valori in fase di dichiarazione.

Volendo inizializzare a zero l'intero array potremmo allora scrivere:

```
int x[6]={};
```

cioè indicando la sola coppia di parentesi graffe aperte e chiuse. Tale operazione può risultare in alcuni casi necessaria in quanto la semplice dichiarazione dell'array non prevede, così come si potrebbe immaginare, l'azzeramento automatico dei valori nelle varie posizioni. Al contrario, così come avviene per le variabili di tipo semplice, la sola dichiarazione prevede la predisposizione di uno spazio di memoria che conterrà un valore del tutto casuale.

Per verificare tale affermazione in prima persona provate il seguente pezzo di codice:

```
#include <stdio.h>  
#include <stdlib.h>  
int main(int argc, char *argv[])  
{  
    int a[5];  
    int i;
```

```
printf("I valori sono:\n");
for (i = 0; i < 5; i++)
{
    printf("%d\n", a[i]);
}
printf("\n");
system("PAUSE");
return 0;
}
```

Se in questo momento vi sentite particolarmente pigri e non vi va di compilare il programmino proposto, potete anche fidarvi della Figura 8.2 nella quale vi mostro la console con il codice in questione, che riporta dei valori assolutamente random (casuali) rispetto alle singole celle dell'array.

```
I valori sono:
2009118740
211872
211816
8
2009116333

Premere un tasto per continuare . . .
```

Figura 8.2 – Il contenuto random delle celle di un array di interi nel caso in cui queste non vengano valorizzate.

È anche possibile inizializzare un array senza indicarne la dimensione a patto, tuttavia, di inizializzare il valore degli elementi che esso andrà a contenere. Ad esempio, la seguente istruzione dichiara e inizializza un array contenente tre elementi senza specificarne a priori la dimensione all'interno delle parentesi quadre.

```
int a[]={5, 8, 2};
```

Ciò è possibile in quanto il compilatore conta gli elementi presenti tra parentesi graffe e imposta di conseguenza la dimensione dell'array in questione.

Array di caratteri, usiamo le stringhe

Nello sviluppo software, uno degli elementi più comuni e al contempo più ostici da trattare è rappresentato dalle stringhe. Una **stringa** è la concatenazione di caratteri alfanumerici (cioè lettere e numeri).

Generalmente, per indicare una stringa si utilizzano i doppi apici.

```
"Carlo", "Dal C al C++", "ciccio pasticcio", "Analisi matematica 1"
```

sono esempi di stringhe.

Ora che conosciamo gli array possiamo provare a trattare con questi “infidi” oggetti. Il C non ha un tipo predefinito di variabile per gestire le stringhe; esse vengono “simulate” attraverso degli array di caratteri:

```
char nome[7] = "ciccio";
```

dichiara e inizializza un array di caratteri contenente la stringa “ciccio”.

Dopo tale dichiarazione ciò che otteniamo è la seguente situazione:

c	i	c	c	i	o	\0
0	1	2	3	4	5	6

Come potete notare, nell’ultima posizione viene posto automaticamente, dal compilatore, il carattere speciale ‘\0’ (cioè backslash e poi zero) noto come **carattere di fine stringa**. Tale carattere “nullo” serve appunto a segnalare dove termina la stringa.

La stessa situazione la si sarebbe ottenuta procedendo come segue:

```
char nome[7];
nome[0]='c';
nome[1]='i';
nome[2]='c';
nome[3]='c';
nome[4]='i';
nome[5]='o';
nome[6]='\0';
```

In questo caso, ho dichiarato il vettore di caratteri `nome` e successivamente ho assegnato alle singole posizioni i singoli caratteri. Vi faccio notare come sia stato necessario indicare una dimensione per l’array più lunga di una unità per far posto al carattere di fine stringa. Da ribadire inoltre l’uso dei singoli apici per identificare un carattere.

In realtà, è possibile, se il contesto lo permette, evitare di indicare la dimensione dell’array come già sperimentato nel caso di array di tipo numerico, procedendo qui come segue:

```
char nome[] = "ciccio";
```

In questo caso, infatti, non indicando tra le parentesi quadre la dimensione dell’array, è il compilatore stesso che se ne fa carico osservando la lunghezza della stringa associata (in questo

caso “ciccio”) e impostando di conseguenza la giusta dimensione.

È ovvio, tuttavia, che una dichiarazione come la seguente:

```
char nome[]; /* ERRATO */
```

non è consentita. Infatti, il compilatore non saprebbe come ricavare le indicazioni di spazio necessario per il nostro vettore.

Così come avveniva per i classici array di interi, possiamo dichiarare e inizializzare un array di caratteri usando le parentesi graffe come vi mostro di seguito:

```
char nome[] = {'c', 'i', 'c', 'c', 'i', 'o', '\0'};
```

In questo caso abbiamo inizializzato il vettore indicando i singoli caratteri per le singole celle dell’array. Da notare il simbolo '\0' usato per indicare la fine della stringa e, ancora una volta, come tali singoli caratteri siano racchiusi tra i singoli apici per segnalare la loro natura di carattere (non sono dei numeri!).

Caratteri “numerici”

Per una maggiore comprensione di quanto stiamo gestendo può essere utile fare una riflessione sulla rappresentazione dei dati nella memoria di un calcolatore. La conversione tra le sequenze di bit usate dalla macchina e i simboli, numeri e lettere e quant’altro utilizzato da noi umani per rappresentare i nostri dati, si basa su delle tabelle che associano a tali simboli una codifica numerica. Si tratta, ovviamente, di numeri binari. Tuttavia, per semplicità noi facciamo riferimento al loro corrispondente valore decimale. Le più utilizzate tabelle di conversione sono rappresentate, come già visto nel Capitolo 1, dai codici ASCII e Unicode.

Il seguente esempio può essere illuminante:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    char c;
    c = 'A';
    printf ("Il valore numerico del carattere %c e': %d \n", c, c);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Ho dichiarato la variabile di tipo carattere `c` assegnandole la lettera ‘A’. Di seguito, con la `printf` stampo tale variabile due volte: la prima con il qualificatore `%c` e la seconda con `%d`.

L’output sarà:

```
Il valore numerico della lettera A e': 65
```

Infatti, il qualificatore `%c` stamperà la variabile `c` come carattere, mentre il qualificatore `%d` ne stamperà la sua rappresentazione numerica, ovvero il numero decimale 65.

Per meglio chiarire il contesto vi propongo un ulteriore pezzo di codice che stampa, tramite un ciclo `for`, l’intero insieme dei 256 simboli (da 0 a 255) del codice ASCII:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    for(i=0; i<=255; i++)
    {
        printf ("Il valore numerico del simbolo %c e': %d \n", i, i);

        system("PAUSE");
        return 0;
}
```

Come già detto in altra occasione i codici decimali da 0 a 31 e il 127 sono caratteri non stampabili detti codici di controllo. Il decimale 32 corrisponde al carattere “spazio”. Dal 32 al

126 sono caratteri stampabili, così come lo sono i caratteri dal 128 al 255.

Input di caratteri, la funzione getchar

Dal momento che stiamo affrontando l'argomento caratteri può essere utile che vi presenti una specifica funzione di input che serve a prelevare un singolo carattere dalla tastiera. Tale funzione, chiamata `getchar()`, è una alternativa a una `scanf` con il qualificatore `%c`:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    char c;
    printf ("Premi un tasto: ");
    c = getchar();
    printf ("Il valore numerico del simbolo %c e': %d \n", c, c);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Nell'esempio precedente la funzione `getchar()` associa il simbolo letto da tastiera alla variabile `c` per la quale la `printf` successiva stamperà il corrispondente valore numerico.

Una pausa alternativa

La conoscenza della funzione `getchar` ci suggerisce un sistema alternativo all'uso dell'istruzione `system("pause")`. Stiamo usando sistematicamente tale funzione per evitare che alla fine dell'esecuzione dell'applicazione questa si chiuda immediatamente senza darci la possibilità di analizzare i risultati del nostro lavoro. Il nuovo metodo potrebbe essere il seguente:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    /*
    qui c'è il codice sorgente del programma
    */
    printf ("Premi INVIO per continuare.\n");
    getchar (); /* in attesa di input */
    return 0;
}
```

Alla fine dell'esecuzione, prima della chiusura con l'istruzione `return`, invochiamo la chiamata a `getchar`. Questa rimane in attesa di un input qualsiasi e ovviamente non ci interessa associare tale input ad alcuna variabile.

La cosa positiva di questo metodo è data dal fatto che possiamo personalizzare a piacimento il messaggio da presentare all'utente prima della chiusura del programma. Nel nostro caso lo facciamo con la dicitura: “Premi INVIO per continuare.”.

Do ut des, ovvero getchar e putchar

Niente paura, questo testo non si sta trasformando in un corso di latino. La frase “do ut des”, letteralmente “io do affinché tu dia”, mi serviva solo per introdurre la funzione opposta a `getchar`, ovvero `putchar`. Se infatti `getchar` prende in input un carattere, `putchar` restituisce un carattere in output.

Di seguito un classico e semplice esempio del tutto autoesplicativo:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    char c;
    printf("Inserisci un carattere: ");
    c = getchar();
    printf("Il carattere inserito e': ");
    putchar(c);

    system("pause");
    return 0;
}
```

Abbiamo semplicemente dichiarato una variabile `c` che valorizziamo, attraverso la funzione `getchar`, con un carattere inserito da tastiera dal nostro utente. Successivamente, invece di inserire all'interno della `printf` il qualificatore `%c` per stampare il carattere, facciamo seguire alla `printf` stessa la funzione `putchar`.

Il pappagallo rimbambito

Lasciando per un attimo in sospeso la questione dei singoli caratteri, voglio ora tornare a discutere di stringhe (cioè insiemi di caratteri) proponendovi un esempio del tipo “Il pappagallo alla riscossa”. Il nostro pennuto, già visto in azione nel terzo capitolo nel quale ripeteva il numero inserito dall’utente, sarà ora impegnato a ripetere un’intera stringa.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    char nome[20];
    printf("Come ti chiami: ");
    scanf("%s", &nome);
    printf("Il tuo nome e' %s \n", nome);
    system("pause");
    return 0;
}
```

Se provate a compilare ed eseguire il precedente programmino potrete osservare uno “strano” comportamento. Il pappagallo, ehm... il programma, vi chiederà il vostro nome. Supponete di chiamarvi “Ciccio” e digitate dunque tale nome. Il programma vi risponderà “Il tuo nome e’ Ciccio” grazie al fatto che esso è stato acquisito tramite `scanf` e stampato tramite `printf` con il qualificatore `%s` utilizzato per le stringhe. Fin qui tutto normale. Il nostro pappagallo è in piena forma.

Proviamo ora a rilanciare il programma; questa volta rispondiamo al pappagallo che ci chiede il nome dicendogli (scrivendo) il nostro nome seguito però dal cognome (ovviamente, “Ciccio Pasticcio”;).

Ebbene, il nostro pappagallo darà segni di demenza in quanto la sua risposta sarà ancora: “Il tuo nome e’ Ciccio”.

Il problema è dovuto al fatto che la `scanf`, incontrando lo spazio di separazione tra il nome e il cognome, troncherà la stringa proprio in corrispondenza dello spazio medesimo.

Input e output di stringhe: gets e puts

La soluzione più semplice per risolvere il problema dell'input di stringhe contenenti spazi vuoti è data dall'utilizzo della funzione `gets`. Vediamone subito un'applicazione pratica:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    char nome[20];
    printf("Come ti chiami? ");
    gets(nome);
    printf("Il tuo nome e': %s \n", nome);

    system("pause");
    return 0;
}
```

In questo modo il nostro pappagallo si comporterà finalmente in maniera corretta. Infatti, la funzione `gets` legge un'intera linea di input fino al carattere di terminazione di linea (cioè `\n`). Tale input viene assegnato alla stringa e il carattere di terminazione di linea, `\n`, viene convertito nel carattere di fine stringa, cioè in '`\0`'.

Esiste una funzione gemella di `gets` per quanto riguarda l'output di stringhe: la funzione `puts`. Anche in questo caso mi sembra doveroso presentare un adeguato esempio:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    char nome[]="Carlo Mazzone";
    puts(nome);

    system("pause");
    return 0;
}
```

In definitiva la funzione `puts` corrisponde a un'istruzione del tipo:

```
printf("%s\n", nome);
```

dove `nome` è la stringa da stampare e il '`\n`' finale è giustificato dal fatto che `puts` comporta un ritorno a capo automatico.

Il pappagallo 2, la vendetta

Il nostro pappagallo, da noi verbalmente maltrattato (gli abbiamo dato del rimbambito), vuole vendicarsi dimostrandoci un nuovo e alternativo modo per svolgere il suo lavoro di ripetizione. Tale metodo prevede l'uso di un ciclo `while` in cui catturiamo i singoli caratteri con la funzione `getchar`, inserendoli di volta in volta all'interno delle singole celle di un array di caratteri. Il carattere letto in input viene confrontato con il carattere '`\n`' per verificare se la digitazione è terminata. Infatti, quando usiamo il tasto "invio" per confermare il nostro nome, viene generato in automatico il carattere di newline (appunto '`\n`').

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i=0;
    char nome[20];
    char c;
    printf("Come ti chiami? ");
    while ((c = getchar()) != '\n')
    {
        nome[i] = c;
        i++;
    }
    nome[i] = '\0';
    printf("Il tuo nome e': %s\n" , nome);
    system("pause");
    return 0;
}
```

È importante fare attenzione all'uso delle parentesi intorno alla chiamata `(c = getchar())` per evitare problemi con l'ordine di esecuzione delle istruzioni. Da notare, infine, come all'uscita del `while` dobbiamo inserire il carattere '`\0`' di fine stringa.

Ovviamente, spero non vi sarà sfuggito, abbiamo un problema con le dimensioni massime che impostiamo per l'array di caratteri. Riscontreremmo, infatti, dei problemi nel caso in cui dovessimo inserire una stringa di dimensioni superiori a quanto impostato nella dichiarazione dell'array, nel caso dell'esempio il numero 20. Avremo comunque modo di discutere ampiamente tali problematiche nel prosieguo del nostro viaggio.

Alcune funzioni tipiche per le stringhe

Per facilitare il compito del programmatore nella gestione delle stringhe è disponibile la libreria **string.h** utilizzabile con la seguente ovvia direttiva:

```
#include <string.h>
```

Tra le varie funzioni messe a disposizione dalla libreria ve ne presento alcune delle più importanti e sicuramente utili.

strlen(s) - restituisce la lunghezza di s

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int len = 0;
    char nome[] = "Ciccio Pasticcio";
    len = strlen(nome);
    printf("Il tuo nome e' lungo %d caratteri\n", len);
    system("pause");
    return 0;
}
```

Banalmente la funzione `strlen` restituisce la lunghezza della stringa indicata come argomento all'interno delle parentesi tonde. Ovviamente nel conteggio viene escluso il carattere di fine stringa \0 riportando il numero dei soli caratteri presenti nella stringa, spazi compresi.

strcpy(s1, s2) – copia s2 in s1

La funzione `strcpy` copia il suo secondo argomento sul primo. Vediamo un esempio:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
main()
{
    char nome1[] = "Ciccio Pasticcio";
    char nome2[] = "Pluto De Plutis";
    strcpy(nome1, nome2);
    printf("Il tuo nome e' %s ", nome1);

    system("pause");
    return 0;
}
```

Il risultato a video sarà: Il tuo nome e' Pluto De Plutis. Infatti, la funzione `strcpy` farà in modo che il contenuto dell'array `nome2` venga copiato in `nome1`.

Ovviamente è possibile, e a volte comodo, utilizzare come secondo argomento una stringa costante. Ad esempio come nel caso seguente:

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
main()
{
    char nome[20];
    strcpy(nome, "Carlo A.");
    printf("Il tuo nome e' %s ", nome);

    system("pause");
    return 0;
}

```

dove otterremo banalmente l'effetto di copiare la stringa "Carlo A." nell'array nome.

strcat(s1, s2) – concatena s2 a s1

La funzione `strcat` effettua un'operazione del tipo `s1 = s1+s2`, concatenando, ovvero mettendo uno dopo l'altro, i due suoi argomenti.

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    char nome1[] = "Ciccio";
    char nome2[] = " Pasticcio";
    strcat(nome1, nome2);
    printf("Il tuo nome e' %s ", nome1);
    system("pause");
    return 0;
}

```

L'esempio precedente produrrà dunque come output:

Il tuo nome e' Ciccio Pasticcio

Da notare come abbia inserito uno spazio iniziale nel secondo array per evitare che nome e cognome risultassero attaccati l'uno all'altro.

strcmp(s1, s2) – confronta due stringhe

La funzione `strcmp` effettua un confronto tra due stringhe. Se queste risultano essere uguali, la funzione restituisce zero; se la prima stringa è inferiore alla seconda restituisce -1; se, al contrario, la prima stringa è maggiore della seconda, `strcmp` restituisce +1.

Come esempio d'uso vi propongo un semplice e ipotetico sistema di controllo password.

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
int main(int argc, char *argv[])
{

```

```

int risultato = -1;
char password[] = "mago merlino";
char tentativo[20];
printf("Digita la password: ");
gets(tentativo);
risultato = strcmp(password, tentativo);
if (risultato == 0)
{
    printf("Accesso consentito");
}
else
{
    printf("ACCESSO NEGATO");
}
system("pause");
return 0;
}

```

Nel codice utilizziamo due array di caratteri. Nel primo array, che chiamiamo `password`, inseriamo in maniera **hard coded**, cioè in maniera costante e direttamente nel codice sorgente, la nostra password. Il secondo array, che chiamiamo `tentativo`, servirà per contenere la password di accesso digitata dall'utente.

Da notare come la funzione `strcmp` agisca in maniera case sensitive, cioè facendo differenza tra minuscole e maiuscole. Ovviamente, quindi, tentando di “accedere” con una password del tipo “MAGO MERLINO” l’accesso ci sarà negato. Solo nel caso in cui le due stringhe, ovvero le password, saranno uguali, la funzione `strcmp` assegnerà alla variabile `risultato` il valore 0 e quindi la condizione di verità del successivo costrutto `if` verrà soddisfatta.

Un’altra cosa importante da sottolineare è l’uso dell’istruzione:

```
gets(tentativo);
```

In alternativa avremmo potuto scrivere:

```
scanf("%s", &tentativo);
```

Tuttavia, solo usando la funzione `gets` potremo usare password che utilizzano spazi al loro interno, a causa delle limitazioni già viste prima in merito alla funzione `scanf` che tronca la stringa al primo spazio che incontra.

Array bidimensionali

**Se prendessimo un binocolo e lo puntassimo nello spazio,
vedremmo una linea curva chiusa all'infinito.**

Albert Einstein

Se tutto quanto visto finora, e nello specifico nel precedente capitolo in relazione agli array, vi sembra complicato, sarà il caso che vi teniate forte: fate un bel respiro perché aumentiamo una dimensione agli array che diventano ora bidimensionali. Tuttavia, non c'è tanto di cui preoccuparsi; come al solito le cose, anche quelle apparentemente più complesse, affrontate nel modo giusto risultano, dopo un po', familiari e gestibili.

Array a due dimensioni

Il modo giusto per parlare di **array a due dimensioni**, più noti come **array bidimensionali**, è pensare a una tabella: una semplice e banale serie di righe e di colonne.

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12

In buona sostanza si tratta di una serie di array unidimensionali “impilati” uno sull’altro in una struttura nota anche con il termine di **matrice**. Nell’esempio qui sopra ho disegnato una tabella con 4 righe e 3 colonne, nella quale ho inserito una serie di numeri naturali.

La dichiarazione, in C, di un tale array è la seguente:

```
int tabella[4][3];
```

Il primo numero presente tra parentesi quadre indica il numero di righe mentre il secondo rappresenta il numero di colonne dell’array.

Volendo è possibile dichiarare e inizializzare l’array in un’unica istruzione come vi mostro di seguito:

```
int tabella[4][3]={{1,2,3},{4,5,6},{7,8,9},{10,11,12}};
```

dove ogni gruppo di elementi tra parentesi graffe rappresenta i valori da inserire in una data riga. Tali gruppi, che sono a loro volta racchiusi tra una coppia di parentesi graffe, sono separati tra loro da una virgola.

Le cose sono abbastanza intuitive anche per quanto riguarda il modo da utilizzare per riferirsi a un elemento dell’array; si utilizzano due indici, uno per indicare la riga e un altro per indicare la colonna dell’elemento di interesse. Anche in questo caso gli indici partono da zero.

A titolo di esempio, il primo elemento, quello nella prima riga e prima colonna (per intenderci quello in cui abbiamo posto il valore 1) ha indice di riga 0 e indice di colonna 0 e si indica come segue:

```
x = tabella[0][0];
```

Tale istruzione avrà l’effetto di associare a una variabile di nome `x` il valore 1 contenuto appunto nella cella dell’array in posizione “0,0”. Di seguito vi ripropongo l’array in questione con l’indicazione degli indici:

	0	1	2
0	1	2	3
1	4	5	6

2	7	8	9
3	10	11	12

Dovrebbe ora esservi chiaro come possiamo riferirci a uno specifico elemento. Volendo, ad esempio, stampare il contenuto dell'ultimo elemento dell'array possiamo scrivere:

```
printf("%d", tabella[3][2]);
```

Nella stampa abbiamo indicato la riga con indice 3 e la colonna con indice 2. Il risultato sarà a video il numero 12 contenuto nella corrispondente cella dell'array.

La scansione di un array 2D

Tuttavia spesso si rende necessario stampare, o comunque esaminare, intere porzioni, righe e/o colonne dell'array. È intuitivo come tale operazione, che potremmo definire di **scansione**, debba essere realizzata con costrutti di tipo iterativo. A proposito di definizione di nuovi termini noterete come ho utilizzato l'abbreviazione “2D” per riferirmi alle “2 Dimensioni” dell'array stesso in sostituzione del termine bidimensionale.

Di norma, trattandosi di strutture dati con dimensioni prefissate, il costrutto `for` è quello che più si presta a una tale operazione. Per semplicità, immaginiamo inizialmente di voler stampare una riga specifica dell'array in questione, ad esempio la prima riga. Gli elementi di tale riga hanno tutti indice di riga zero mentre i corrispondenti indici di colonna variano da 0 a 2. Per stampare allora tali elementi potremmo scrivere:

```
printf("%d ", tabella[0][0]);
printf("%d ", tabella[0][1]);
printf("%d ", tabella[0][2]);
```

Ormai dovreste essere sufficientemente smaliziati da riconoscere, all'interno della sequenza di istruzioni `printf`, la possibilità di sfruttare tale comportamento regolare degli indici per compattare le varie istruzioni di stampa in un'unica generica `printf`, appunto gestita da un `for` con un contatore che farà variare l'indice di colonna appunto da 0 a 2.

Possiamo quindi scrivere qualcosa del tipo:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int tabella[4][3]={{1,2,3},{4,5,6},{7,8,9},{10,11,12}};
    int i;
    for (i=0; i<=2; i++)
    {
        printf("%d ", tabella[0][i]);
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Tutto abbastanza lineare. L'unica osservazione che mi sento di fare è a proposito della “chiusura” del ciclo `for` per la quale ho indicato l'espressione `i<=2` per far risaltare il fatto che l'indice sulle colonne arriva fino a 2. Analogamente, ottenendo lo stesso risultato avrei potuto scrivere:

```
for (i=0; i<3; i++)
{
    printf("%d ", tabella[0][i]);
}
```

Indicando che il contatore `i` deve arrivare a essere inferiore a 3.

Proviamo ora a immaginare le operazioni da svolgere per stampare tutte e quattro le righe della nostra matrice. Il primo e più intuitivo approccio che può venirci in mente è quello di utilizzare un ciclo `for` per ogni singola riga; scrivere dunque un qualcosa del genere:

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int tabella[4][3]={{1,2,3},{4,5,6},{7,8,9},{10,11,12}};
    int i;
    /* stampa prima riga */
    for (i=0; i<=2; i++)
    {
        printf("%d ", tabella[0][i]);
    }
    printf("\n");
    /* stampa seconda riga */
    for (i=0; i<=2; i++)
    {
        printf("%d ", tabella[1][i]);
    }
    printf("\n");
    /* stampa terza riga */
    for (i=0; i<=2; i++)
    {
        printf("%d ", tabella[2][i]);
    }
    printf("\n");
    /* stampa quarta riga */
    for (i=0; i<=2; i++)
    {
        printf("%d ", tabella[3][i]);
    }
    printf("\n");
    system("PAUSE");
    return 0;
}

```

Analizziamo, allora, un po' più in dettaglio, quello che abbiamo codificato. Nella Figura 9.1 è mostrato l'output a video che ci consente di verificare che il risultato corrisponde alle nostre aspettative.

```

C:\Esempi\Dev-Cpp\array2d\array2d.exe
1 2 3
4 5 6
7 8 9
10 11 12
Premere un tasto per continuare . . .

```

Figura 9.1 – L'output del contenuto dell'array bidimensionale.

Balza subito all'occhio che, anche in questo caso, si ha una grossa ripetizione delle stesse istruzioni: quattro `for` pressoché identici che differiscono solo nel richiamo, nell'istruzione di stampa, alla variabile `tabella` che riporta nell'indice di riga di volta i valori da 0 a 3. Per evidenziare con maggior chiarezza tutto ciò, vi riporto di seguito solo le `printf` utilizzate:

```
printf("%d ", tabella[0][i]);
printf("%d ", tabella[1][i]);
printf("%d ", tabella[2][i]);
printf("%d ", tabella[3][i]);
```

E dunque, ci siamo. Come si può facilmente vedere, tutto ciò di cui abbiamo bisogno è far variare l'indice della riga da 0 a 3 in quanto il secondo indice, quello della colonna, viene già fatto variare dal `for` già utilizzato.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int tabella[4][3]={{1,2,3},{4,5,6},{7,8,9},{10,11,12}};
    int i,j;
    for (i=0; i<4; i++)
    {
        for (j=0; j<3; j++)
        {
            printf("%3d", tabella[i][j]);
        }
    printf("\n");
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il codice utilizza quindi due cicli `for` annidati (cioè uno dentro l'altro). Si utilizzano due indici: l'indice `i` per scorrere le righe e l'indice `j` per scorrere le colonne. Questa è una sorta di standard. Quando si hanno due indici, il primo è di norma chiamato, appunto, `i` e il secondo `j`. Nel caso ci fosse un altro indice per un `for` ulteriormente annidato lo chiameremmo `k`.

Da notare come nella funzione `printf` utilizziamo il qualificatore `"%3d"` per realizzare un allineamento più elegante e leggibile dei dati nella tabella stampata a video.

La generazione di numeri casuali

Può capitare, abbastanza spesso, di necessitare all'interno di un nostro programma di una serie di **numeri casuali** (cioè, appunto, generati a caso). La generazione di numeri casuali consente di realizzare dei programmi di sicuro interesse in quanto si riesce a dare al programma una sorta di vita propria.

Pensate ad esempio alla possibilità di creare dei videogame del tipo battaglia navale, tris, dama o similari. In queste situazioni è indispensabile che alcuni elementi, la posizione delle navi della battaglia navale piuttosto che i pezzi del gioco della dama, possano avere una collocazione diversa a ogni partita. Per farlo è sufficiente che la loro posizione sia calcolata in maniera del tutto casuale attraverso appunto uno o più numeri casuali. Nel contesto anglosassone e, più in generale, informatico si parla di **numeri random** essendo il termine random traducibile, appunto, come casuale.

Vediamo, dunque, come produrre un generico valore casuale. Per farlo dobbiamo usare un'opportuna funzione di nome **rand** come mostrato di seguito:

```
x = rand();
```

La funzione `rand()` assegnerà a `x` un generico numero casuale. Tuttavia, affinché ciò sia possibile è necessario richiamare un'apposita funzione che inizializzi il generatore di numeri casuali; tale funzione è **srand**.

Di seguito vi propongo un esempio completo:

```
#include <time.h> /* necessario per la funzione time */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int x;
    srand(time(NULL));
    x = rand();
    printf("Numero casuale: %d", x);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Come potete osservare dal codice, subito dopo la dichiarazione della variabile intera `x` che conterrà il valore random, richiamiamo la funzione `srand`. Questa funzione necessita come argomento di un cosiddetto “seme”, che deve essere sempre diverso affinché generazioni successive di numeri siano sempre casuali. Per far questo possiamo dare in input a `srand()` la funzione `time` che restituisce il numero di secondi trascorsi dal 1 gennaio 1970 fino al momento in cui viene effettivamente richiamata.

Il numero random generato è un intero che può risultare anche molto grande. Più spesso abbiamo bisogno di numeri casuali compresi all'interno di un certo intervallo abbastanza limitato. Per ottenere tale risultato possiamo fare ricorso all'operatore modulo (resto intero della divisione tra due interi). Supponendo, ad esempio, di voler generare numeri compresi tra 1 e 10 possiamo procedere come segue:

```
x = rand()%10+1;
```

Infatti, il numero casuale viene così diviso per 10 prendendo il resto intero di tale divisione (un numero tra 0 e 9). A tale resto sommiamo 1 al fine di ottenere un intervallo tra 1 e 10.

Il gioco delle tre carte

Può essere sorprendente come, anche con queste semplici funzioni, possiamo già realizzare qualche semplice giochino del tipo “Il gioco delle tre carte”. Supponiamo di voler fare indovinare al nostro giocatore la posizione di una carta vincente nascosta tra tre possibili posizioni. Generiamo un numero casuale compreso tra 1 e 3 e chiediamo al giocatore di indicare la posizione della carta vincente. Banalmente comunichiamo, senza barare, la posizione vincente e se il nostro giocatore ha vinto o meno.

Di seguito una prima bozza del codice.

```
#include <time.h> /* necessario per la funzione time */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int pos; /* Posizione casuale vincente */
    int x; /* Puntata del giocatore */
    srand(time(NULL));
    pos = rand()%3+1;
    printf("IL GIOCO DELLE TRE CARTE\n\n");
    printf("In quale posizione si trova la carta vincente?\n");
    printf("Indica un numero da 1 a 3 e buona fortuna!\n");
    scanf("%d", &x);
    if (x == pos)
    {
        printf("Complimenti hai vinto!!!\n");
    }
    else
    {
        printf("Peccato, hai perso! La posizione vincente era la numero %d\n", pos);
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il codice è estremamente semplice e quindi non dovrebbe essere complesso seguirne il flusso. Come prima operazione generiamo un numero casuale, che riduciamo a essere compreso tra 1 e 3, assegnandolo alla variabile `pos`. Immediatamente dopo chiediamo all’utente il numero sul quale puntare e lo confrontiamo con quello random appena generato. In conseguenza dell’uguaglianza o meno dei due valori stampiamo un messaggio che indica la vincita o meno della giocata.

È ovvio, tuttavia, che questo è solo l’inizio. Una prima possibile modifica per rendere il gioco più interessante potrebbe essere, ad esempio, quella di non far terminare il programma dopo la prima puntata ma far decidere al giocatore stesso quando interrompere il gioco. Per farlo possiamo utilizzare un ciclo `while`. Supponiamo di gestire la volontà di uscire dal gioco del nostro

giocatore attraverso la digitazione e il relativo controllo del valore zero.

Una possibile stesura del codice potrebbe essere la seguente:

```
#include <time.h> /* necessario per la funzione time */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int pos; /* Posizione casuale vincente */
    int x; /* Puntata del giocatore */
    srand(time(NULL));
    while(x!=0)
    {
        pos = rand()%3+1;
        printf("IL GIOCO DELLE TRE CARTE\n\n");
        printf("In quale posizione si trova la carta vincente?\n");
        printf("Indica un numero da 1 a 3 e buona fortuna! Digita 0 per uscire\n");
        scanf("%d", &x);
        if (x==0)
        {
            break;
        }
        else if (x==pos)
        {
            printf("Complimenti hai vinto!!!\n");
        }
        else
        {
            printf("Peccato, hai perso! La posizione vincente era la numero %d\n");
        }
    }
    printf("Ciao e alla prossima partita!!!\n");
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il codice non presenta novità di rilievo e l'unica cosa che vale forse la pena sottolineare è la condizione di uscita dal ciclo `while` attraverso l'uso dell'istruzione `break`.

Ordiniamo le cose: gli algoritmi notevoli

La scienza dei computer non riguarda i computer più di quanto l'astronomia riguardi i telescopi.

Edsger Wybe Dijkstra

Scrivere codice è sicuramente un'operazione “artistica”: con tale termine voglio esprimere il fatto che ogni programma è una vera e propria creazione personale, nella quale ciascuno infonde il proprio estro e la propria esperienza.

Ciò detto, esistono dei metodi di risoluzione di determinati problemi che sono ormai ben conosciuti e standardizzati: tali algoritmi risolutivi prendono il nome di **algoritmi notevoli**.

Tra gli algoritmi notevoli più classici rientrano sicuramente quelli relativi all'ordinamento (in inglese **sort**) di elementi spesso contenuti in degli array. In buona sostanza si cerca di ottenere, nel modo più efficiente possibile, che gli elementi presenti in un dato array siano ordinati rispetto a un dato criterio; nel caso di numeri, che questi siano ordinati dal più piccolo al più grande (o viceversa) e, sempre a titolo di esempio, nel caso di caratteri, che questi siano ordinati alfabeticamente.

Negli esempi seguenti, per semplicità, assumeremo di voler ordinare un array di interi in senso crescente; cioè dal più piccolo al più grande.

Selection Sort

Il **selection sort** (**ordinamento per selezione**) è uno degli algoritmi di questo genere tra i più classici.

Esso prevede la seguente operatività.

Si cerca all'interno del vettore l'elemento più piccolo e lo si pone in prima posizione.

Successivamente, a partire dalla seconda posizione si cerca il più piccolo e lo si pone in seconda posizione.

Si procede in questo modo, fin quando l'intero vettore non risulta ordinato. In buona sostanza si selezionano (da cui il nome dell'algoritmo) di volta in volta gli elementi che devono essere collocati nella loro posizione definitiva.

Di seguito vi propongo una possibile implementazione del codice:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define N 5
int main(int argc, char *argv[])
{
    int a[N] = {9, 5, 1, 3, 2};
    int i, j, temp;
    for (i=0; i <= N - 2; i++)
    {
        for (j=i+1; j <= N - 1; j++)
        {
            if (a[j] < a[i])
            {
                temp = a[i];
                a[i] = a[j];
                a[j] = temp;
            } /* fine if */
        } /* fine for j */
    } /* fine for i */
    /* Stampo array finale */
    for (i=0; i < N; i++)
    {
        printf ("%3d", a[i]);
    }
    printf ("\n");
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il tutto si articola attraverso due cicli nidificati; quello più esterno sposta l'attenzione sulla posizione in cui verrà inserito l'elemento più piccolo ricercato e individuato in un dato momento. Ovviamente si tratta dell'indice *i*.

Tale indice lo facciamo variare da 0 fino al penultimo elemento dell'array che abbiamo indicato con $N - 2$. Infatti, N è la dimensione dell'array e quindi, poiché l'indice parte da zero, $N - 1$ è l'ultimo elemento e di conseguenza $N - 2$ è il penultimo. Il motivo per cui ci fermiamo al penultimo elemento è dato dal fatto che nell'ultima iterazione confronteremo appunto il penultimo

elemento con l'ultimo gestito dal secondo indice.

Il ciclo più interno (indice j), infatti, esamina tutte le posizioni a partire da quella successiva all'elemento corrente (tale elemento corrente ha indice i) fino alla fine dell'array, cercando l'elemento restante più piccolo. Una volta individuato tale elemento, quest'ultimo va a sostituire tramite uno scambio l'elemento corrente di indice i . Il cuore del controllo e del relativo scambio di posizioni è il seguente:

```
if (a[j] < a[i])
{
    temp = a[i];
    a[i] = a[j];
    a[j] = temp;
}
```

Tornando all'ultima iterazione, si vede come l'indice i , gestito dal `for` esterno, varrà $n - 2$ mentre l'indice j , gestito dal `for` interno, varrà $n - 1$ confrontando in tale ultimo passo, come ci aspettiamo che sia, il penultimo e l'ultimo elemento.

Lo scambio dei valori avviene, come di consueto in questi casi, utilizzando una variabile temporanea che impedisce la sovrascrittura di uno dei due valori. Tale variabile temporanea prende anche il nome tecnico di **variabile tampone**.

Infatti, l'istruzione cardine che viene eseguita nel caso in cui risulti $a[j] < a[i]$, cioè se l'elemento corrente scendito nel `for` interno è minore di quello individuato al passo precedente e dobbiamo quindi operare uno scambio, è la seguente:

```
a[i] = a[j];
```

cioè mettiamo il valore di $a[j]$ in $a[i]$. Ovviamente per completare lo scambio dobbiamo prendere il valore che era in $a[i]$ e porlo in $a[j]$. Questo è il motivo per cui preventivamente avevo scritto:

```
temp = a[i];
```

salvando tale valore (altrimenti sovrascritto da quello di $a[j]$) per poi poterlo infine inserire in $a[j]$ scrivendo, come ultima istruzione per lo scambio di variabili:

```
a[j] = temp;
```

Tale operazione di scambio prende il nome inglese di **swap** o anche **swapping**.

Man mano che si procede si nota come il vettore si divida in due sezioni: la prima contenente gli elementi già ordinati e una seconda sezione in cui vi sono gli elementi che devono essere ancora ordinati.

Il selection sort è un ordinamento a **cicli fissi** in quanto, indipendentemente dal contenuto (più o meno già parzialmente ordinato), se il vettore è lungo n verranno eseguiti $n-1$ cicli di controllo.

Tuttavia, tale algoritmo trova un'ideale applicazione nel caso in cui l'operazione di spostamento sia molto gravosa. Mi spiego meglio: supponendo che gli elementi da spostare non siano dei semplici numeri ma bensì dei blocchi di dati molto grossi, l'operazione più dispendiosa risulterebbe essere lo spostamento dei dati piuttosto che la verifica dell'ordinamento del singolo blocco di dati. Ebbene, è possibile fare in modo che il selection sort, con una piccola modifica al

codice proposto, effettui lo spostamento di un blocco una e una sola volta risultando efficiente nel contesto citato.

Per farlo, nel `for` più interno, invece che eseguire lo spostamento ogni volta che troviamo un elemento minore, memorizziamo in un'apposita variabile la posizione `j` di tale elemento man mano individuato. Solo quando, per una data posizione `i` abbiamo scandito tutti gli elementi a essa successivi, effettuiamo realmente lo scambio di elementi. Il codice sarà dunque il seguente:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define N 5
int main(int argc, char *argv[])
{
    int a[N] = {9, 5, 1, 3, 2};
    int i, j, temp, min;
    for (i=0; i <= N - 2; i++)
    {
        /*
         memorizzo in min l'indice della posizione i che
         all'inizio dell'iterazione contiene il valore minore
        */
        min = i;
        for (j=i+1; j <= N - 1; j++ )
        {
            if (a[j] < a[min])
            {
                /*
                 poiché la posizione j ha un valore inferiore a quello della posiz.
                 memorizzo tale posizione j nella variabile min*/
                min = j;
            } /* fine if */
        } /* fine for j */
        /*alla fine del controllo interno su j inverto la posizione i con quell:
           temp = a[i];
           a[i] = a[min];
           a[min] = temp;
        */ /* fine for i */
        /* Stampo array finale */
        for (i=0; i < N; i++)
        {
            printf ("%3d", a[i]);
        }
        printf ("\n");
        system("PAUSE");
        return 0;
    }
}
```

Bubble sort

Il **bubble sort (ordinamento a bolle)** è un altro tipico metodo per l'ordinamento di un array. Questo approccio è sostanzialmente opposto al selection sort: si procede individuando man mano l'elemento più grande e lo si pone di volta in volta nella posizione immediatamente successiva fino a spostarlo in fondo all'array.

Infatti, si confrontano gli elementi a coppie, ogni elemento con il suo successivo e nel caso in cui l'elemento verificato sia maggiore di quello successivo si effettua uno scambio di posizione. Questi scambi si verificano finché l'elemento maggiore non si sposta nell'ultima posizione a destra nel vettore; ciò avviene già alla fine della prima iterazione.

Il nome, ordinamento a bolle, è dato proprio da questa situazione. Gli elementi più grandi si spostano verso l'alto come avviene per delle bollicine d'aria in un bicchiere colmo di acqua (o, se preferite, di spumante).

Di seguito il codice:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define N 5
int main(int argc, char *argv[])
{
    int a[N]={3, 4, 1, 5, 2};
    int i, j, temp;
    for(i=1; i<N; i++)
    {
        for(j=0; j<N-i; j++)
        {
            if(a[j]>a[j+1])
            {
                temp = a[j];
                a[j] = a[j+1];
                a[j+1] = temp;
            } /* fine if */
        } /* fine for j */
    } /* fine for i */
    for(i=0; i<N; i++)
    {
        printf("%d ",a[i]);
    }
    printf("\n");
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Anche in questo caso abbiamo ovviamente due cicli nidificati. Il primo, gestito tramite il classico indice *i* che varia da *i=1* fino ad *i<N*. Fissato l'elemento di indice *i*, la procedura, grazie al ciclo interno con *j*, confronta sempre, a coppie, tutti gli elementi a partire dal primo (indice *j=0*) fino ad arrivare a un passo dall'ultimo già in posizione definitiva.

Più in dettaglio, supponendo per semplicità di avere solo cinque elementi nell'array, alla prima iterazione si confronta il primo con il secondo, il secondo con il terzo, il terzo con il quarto e il

quarto con il quinto. Infatti, il `for` interno varia da $j = 0$ a $j = N - 1$, cioè alla prima iterazione $j = 5 - 1 = 4$ (ovvero l'ultima posizione dell'array).

Alla seconda iterazione si confronteranno il primo elemento con il secondo, il secondo con il terzo e il terzo con il quarto. E ci fermiamo qui, non effettuando confronti con l'ultimo elemento in quanto in tale posizione già sarà presente il valore maggiore individuato e posizionato durante l'iterazione precedente. La procedura continua così fino all'ordinamento totale dell'array.

Soluzioni semplici a problemi complessi: le funzioni

L’istruzione alla scienza del computer non può rendere chiunque un programmatore esperto più di quanto lo studio dei pennelli e dei colori possa rendere qualcuno un pittore esperto.

Eric Steven Raymond

Un problema algoritmico, a meno che non consista nel “salutare il mondo” o amenità simili, è in generale qualcosa di abbastanza complesso.

Credo sia il caso di ammettere che non esiste un metodo universale che indichi la strada per risolvere un determinato problema; molto è demandato all’esperienza e alla “sensibilità” del programmatore. Tuttavia è pur sempre possibile individuare una serie di strategie che semplificano l’approccio al problema e permettono a volte di salvare la stabilità mentale del programmatore stesso.

Approccio Top-Down alla programmazione

Un approccio che si mostra valido in diverse situazioni consiste nell'individuare nella globalità del problema una serie di elementi o porzioni che lo compongono.

Tale metodologia prende spesso il nome di **approccio Top-Down** (dall'alto al basso o, se meglio credete, **dal generale al particolare**) e consiste nell'approcciare il problema individuando nella sua generalità una serie di elementi più semplici da risolvere; tali elementi sono spesso chiamati **sottoproblemi**.

Nella letteratura informatica questo tipo di approccio allo sviluppo software prende anche il nome di **divide et impera**. Questa espressione, di derivazione latina, letteralmente significa “dividi e comanda” e originariamente era una strategia utilizzata dagli antichi romani per mantenere sotto il proprio dominio grandi ambiti territoriali riuscendo a frammentarli e quindi a meglio controllarli.

Lungi da noi voler fare guerra ad alcuno, sfruttiamo tale metodologia per separare i singoli problemi per meglio controllarli. Con tale modo di procedere, infatti, si riescono a isolare i dettagli implementativi in una sorta di “scatola nera” (una per ogni sottoproblema) della quale, alla fine, ci si deve preoccupare solo di come utilizzarla e non della sua più intima natura interna (e così facendo rispettiamo anche la privacy del sottoproblema).

In generale, nel gergo informatico le implementazioni di tali sottoproblemi prendono il nome di **procedure e funzioni**.

Procedure e funzioni

Si definiscono **procedure** quelle scatole nere che hanno il compito di svolgere determinate istruzioni ma che non devono restituire a chi le ha chiamate nessun valore; vengono definite **funzioni** quelle scatole nere che, oltre a svolgere il loro bravo compitino, si preoccupano di restituire a chi le ha chiamate un valore di ritorno. Tale valore può tanto contenere il risultato stesso dell'elaborazione quanto il fatto di essere riuscito nel compito assegnato, oppure una sorta di dichiarazione di fallimento.

Ehm, mi sto chiedendo se sono stato abbastanza chiaro. Allora, giusto per non sapere né leggere né scrivere, vediamo di fare un esempio possibilmente chiarificatore.

Immaginiamo di dovere scrivere un programma che gestisca un'**agenda telefonica**. Dobbiamo essere quindi in grado di trattare un certo insieme di nominativi con i relativi numeri telefonici. Scomponendo il problema in sottoproblemi ci rendiamo conto di dovere gestire una serie di operazioni più elementari che consistono nell'**inserimento**, nella **modifica** e nella **cancellazione** di un nominativo. Tali sottoproblemi saranno gli stessi indipendentemente dallo specifico nominativo; potremmo quindi creare una procedura:

```
inserisci(nominativo, numero_telefono)
```

che prende in input il nominativo e il relativo numero telefonico e li salva su disco; un'altra procedura:

```
cancella(nominativo)
```

che ovviamente si preoccuperà di eliminare il nominativo dal sistema; e infine una funzione di modifica:

```
modifica(nominativo, numero_telefono) -> 0/1
```

che restituisce 0 (zero) in caso di successo e 1 (uno) nel caso in cui l'operazione fallisce (ad esempio perché il nominativo indicato non esiste).

Ok, cominciamo a fare sul serio e a essere quindi ancora più specifici. Tanto per cominciare, nel caso del linguaggio C non si fa distinzione di terminologia tra procedure e funzioni (come avviene invece per altri linguaggi, come ad esempio per il Visual Basic). Si parla di funzioni sia che queste restituiscano valori sia che non lo facciano.

Dichiarazione e definizione di una funzione

Così come per le variabili, anche per le funzioni è necessario effettuare una loro **dichiarazione** prima di poterle utilizzare. In realtà ciò che può succedere in caso di mancata dichiarazione dipende dal compilatore e dalle sue opzioni. In ogni caso è fondamentale effettuare sempre una dichiarazione preventiva della funzione stessa.

La sintassi generale per la dichiarazione di una funzione è:

```
tipo_di_dati_restituito nome_funzione (elenco_dei_tipi_dei_parametri);
```

Tale dichiarazione deve essere posta prima del `main` e prende anche il nome di **prototipo della funzione**. Un **parametro** è appunto un valore che deve essere passato alla funzione nel momento in cui questa viene chiamata per essere eseguita.

Veniamo ora alla **definizione** della funzione. Tale sezione può essere inserita in un qualsiasi punto del codice che sia esterno al `main` e spesso è collocata in file differenti per meglio organizzare e quindi gestire l'intero programma. Tale sezione contiene banalmente il codice da eseguirsi per risolvere lo specifico problema.

```
tipo_di_dati_restituito nome_funzione (dichiarazione_dei_parametri)
{
    istruzioni;
    return risultato_della_funzione;
}
```

Come potete notare dal template (ovvero il modello, lo scheletro) di funzione che vi ho proposto, il **corpo della funzione** stessa, ovvero l'insieme di istruzioni che la compongono, è racchiuso tra una coppia di parentesi graffe e viene utilizzata una specifica istruzione di nome `return` per restituire il risultato prodotto dal codice della funzione in questione. Il nome della funzione viene seguito da una lista dei parametri, se ve ne sono, racchiusi tra parentesi tonde. Questi parametri, così come quelli utilizzati nella dichiarazione della funzione, vengono spesso definiti **parametri formali**. L'appellativo di formale viene utilizzato per distinguere questi parametri dai valori veri e propri passati alla funzione durante l'esecuzione del codice. Questi ultimi vengono infatti definiti come **parametri attuali** o più semplicemente **argomenti della funzione**.

Nessun input, nessun output

Nel caso in cui non vi siano valori da restituire, quindi nel caso di una vera e propria procedura, si usa la parola chiave `void`. Non a caso **void** in inglese significa nullo, vuoto. Vediamo allora, finalmente, un esempio concreto che per semplicità si riferisce all'uso di una funzione che non restituisce valori. Per rendere il tutto ancora più semplice, almeno inizialmente, supponiamo che tale funzione non debba nemmeno gestire valori in input.

Supponiamo di dover richiamare di tanto in tanto all'interno del nostro codice il titolo del nostro programma. Mi si perdoni la continua megalomania, il programma si potrebbe chiamare “Carlo 1.0” e un possibile banner da utilizzarsi per rendere l'aspetto dello stesso più accattivante potrebbe essere realizzato come segue:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    printf(" #####          #      ###      \n");
    printf(" #     #  ##  ##### #      #####  ##      #  #  \n");
    printf(" #     #  #  #  #  #  #      #  #  #  #  #  # \n");
    printf(" #     #  #  #  #  #  #      #  #  #      #  # \n");
    printf(" #     #####  ##### #      #  #      #  #### #  # \n");
    printf(" #     # #  # #  #  #      #  #      #  #  #  # \n");
    printf(" #####  #  #  #  #####  #####  #####  #  #  # \n");

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Supponiamo allora che tale banner debba essere richiamato più volte all'interno del programma. Senza l'uso delle funzioni dovremmo ricopiare la serie di `printf` tutte le volte in cui sarà necessario ristampare a video il banner. L'ovvia conseguenza è un'inutile **ridondanza** (ovvero ripetizione) delle stesse istruzioni con la conseguente difficoltà di gestire eventuali modifiche al banner stesso.

Per risolvere il problema creiamo una specifica funzione che contiene le istruzioni di stampa del banner in questione:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
void banner (void); /* dichiarazione funzione */
int main(int argc, char *argv[])
{
    banner(); /* qui richiamo il banner */
    system("PAUSE");
    return 0;
}
void banner (void)
{
    printf(" #####          #      ###      \n");
    printf(" #     #  ##  ##### #      #####  ##      #  #  \n");
    printf(" #     #  #  #  #  #  #      #  #  #  #  #  # \n");
    printf(" #     #  #  #  #  #  #      #  #  #      #  # \n");
    printf(" #     #####  ##### #      #  #      #  #### #  # \n");
    printf(" #     # #  # #  #  #      #  #      #  #  #  # \n");
    printf(" #####  #  #  #  #####  #####  #####  #  #  # \n");

    system("PAUSE");
}
```

```
    printf(" #      # #      # #      #      #      #      #      # \n");
    printf(" #      ##### ##### #      #      #      # ### #      # \n");
    printf(" #      # #      # #      # #      #      #      #      # \n");
    printf(" # ##### #      # #      # ##### # ##### # ##### # \n");
}
}
```

Vediamo di capire cosa abbiamo realizzato. All'esterno del `main` ho dichiarato la funzione `banner` che non restituisce valori (prima del nome ho infatti scritto `void`) e non prende in input valori (all'interno della parentesi tonda, dopo il nome della funzione, ho scritto nuovamente `void`).

All'interno del `main`, dove prima avevo riportato le singole istruzioni per la stampa del banner, inserisco ora semplicemente la **chiamata** alla funzione, riportandone il nome seguito dalle parentesi tonde e dal punto e virgola (si tratta pur sempre di un'istruzione).

All'esterno del `main`, in coda a esso, ho posto l'**implementazione** vera e propria della funzione.

Tiriamo dunque le somme. In buona sostanza i due programmi, il primo che non utilizza la funzione e il secondo appena visto che ne fa uso, fanno esattamente la stessa cosa. Tuttavia, isolare all'interno della funzione la stampa del titolo ci consente di richiamare tale stampa in ogni momento in cui necessitiamo di visualizzare il titolo stesso con, inoltre, il grande vantaggio per il quale nel momento in cui vogliamo modificare tale titolo, lo possiamo fare in un unico e specifico punto del codice.

Input sì, output no

Caliamoci ora in una situazione diversa, supponendo di avere la necessità di inserire all'interno del nostro programma, di tanto in tanto, delle righe vuote. Di norma tale inserimento aiuta la leggibilità dell'output a video e lo si realizza inserendo all'interno di una o più `printf` la combinazione '`\n`'.

Ad esempio, ipotizzando di dover inserire tre linee vuote potremmo scrivere:

```
printf("\n\n\n");
```

oppure, ottenendo lo stesso risultato:

```
printf("\n");
printf("\n");
printf("\n");
```

Teoricamente, ogni volta che ne abbiamo bisogno, possiamo inserire le `printf` specifiche per il numero di linee che ci occorre inserire in quel dato contesto. Tuttavia possiamo gestire la cosa in maniera molto più elegante ed efficiente creando una specifica funzione che prende in input il numero di linee che si vogliono inserire e che stampa, in accordo a tale numero, la corrispondente sequenza di caratteri '`\n`'.

Vediamo come:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
void n_linee (int);
int main(int argc, char *argv[])
{
    /* inserisco 5 linee */
    n_linee(5);
    /* inserisco 2 linee */
    n_linee(2);
    /* inserisco 5 linee */
    n_linee(5);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
void n_linee (int n)
{
    int i;
    for (i=1; i <= n; i++)
    {
        printf("\n");
    }
}
```

Cominciamo con l'analizzare la dichiarazione della funzione:

```
void n_linee (int);
```

Come potete facilmente osservare, la funzione, che ho chiamato `n_linee`, non restituisce valori:

abbiamo infatti indicato `void` prima del suo nome. Essa prende invece in input un intero; ho infatti inserito la parola chiave `int` all'interno delle parentesi tonde, dopo il nome della funzione stessa. Osserviamo ora l'implementazione della funzione la cui prima riga è:

```
void n_linee (int n)
```

Tale riga è molto simile alla dichiarazione con almeno due differenze basilari. Innanzitutto non termina con un punto e virgola al contrario della dichiarazione della funzione. Ciò fa capire al compilatore che si tratta di un blocco di codice da eseguirsi in un unico contesto. Infatti, la riga in questione è seguita da una coppia di parentesi graffe che contiene il codice della funzione stessa. L'altra cosa da notare è il fatto che all'interno delle parentesi tonde, dopo il nome della funzione, abbiamo ora aggiunto, oltre al qualificatore `int`, anche una specifica variabile, nel caso in esame `n`.

Tale variabile assumerà di volta in volta il valore passato attraverso le chiamate alla funzione poste all'interno del `main`; la prima volta il valore 5, la seconda il valore 2 e la terza ancora il valore 5. Fate attenzione al fatto che tale variabile `n` risulta dichiarata nella definizione della funzione e che NON deve essere dichiarata nuovamente nel corpo della funzione stessa. Nel corpo della funzione, al contrario, dichiariamo una variabile contatore che ci serve nel ciclo `for` che banalmente stamperà il numero di qualificatori '\n' passati alla funzione dalla variabile `n`.

Input e output nella stessa funzione

Di seguito vi mostro un classico esempio di utilizzo di una funzione: il **calcolo della potenza di un numero**. La nostra funzione, che con somma originalità chiamiamo `potenza`, prende in input due interi, il primo per la base e il secondo per l'esponente e restituisce ovviamente un intero.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/* Dichiaraione della funzione potenza
che prende in input due interi e restiuisce un intero */
int potenza(int, int);
int main(int argc, char *argv[])
{
    int b, e;
    printf("Inserisci la base: ");
    scanf("%d", &b);
    printf("Inserisci l'esponente: ");
    scanf("%d", &e);
    printf("La potenza con base %d ed esponente %d vale %d \n", b, e, potenza
    system("PAUSE");
    return 0;
}
/* implementazione funzione potenza */
int potenza(int x, int n)
{
    int i;
    int p = 1;
    for (i=1; i<=n; i++)
    {
        p = p*x;
    }
    return p;
}
```

Come si può facilmente notare il `main` include un paio di `scanf` con la richiesta dei parametri da passare alla funzione il cui risultato sarà stampato direttamente nel punto di chiamata della funzione.

Vi propongo ora una modifica dell'esempio in esame.

Supponiamo di voler stampare in successione le potenze con base 2 aventi come esponenti i primi N numeri naturali. Ad esempio:

$$2^1, 2^2, 2^3, 2^4, \dots, 2^N$$

Lo scopo che mi propongo è quello di rendere palese l'importanza di racchiudere in un unico pezzo di codice la risoluzione di un problema più volte ricorrente all'interno di un programma.

```
/* CALCOLA LA SERIE DI POTENZE CON BASE 2 AVENTI COME ESPONENTE
I PRIMI N NUMERI NATURALI */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/* dichiarazione della funzione potenza
che prende in input due interi e restiuisce un intero */
```

```

int potenza(int, int);
int main(int argc, char *argv[])
{
    int n, i;
    printf("\nInserisci il numero N: ");
    scanf("%d", &n);
    if (n < 0)
    {
        printf("\nIl numero non può essere negativo!");
        return;
    }
    for (i=1; i<=n; i++)
    {
        printf("Potenza base %d esponente %d = %d \n", 2, i, potenza(2, i));
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
/* implementazione funzione potenza */
int potenza(int x, int n)
{
    int i;
    int p = 1;
    for (i=1; i<=n; i++)
    {
        p = p*x;
    }
    return p;
}

```

Spero vi stiate abituando a leggere e interpretare autonomamente il codice. Nel caso specifico osservate come chiediamo all'utente il numero `n` relativo alla lunghezza della sequenza di potenze. Rispetto a tale numero effettuiamo un banale controllo per accertarci del fatto che esso non sia negativo.

Successivamente usiamo tale `n` come limite superiore nel `for`, il quale provvederà a generare la serie di potenze con base 2. Il ciclo in questione si basa su di un indice di nome `i` che usiamo all'interno della `printf` come valore variabile per l'esponente delle potenze in oggetto, come segue:

`potenza(2, i)`

dove il valore 2 è ovviamente costante.

La visibilità delle variabili

Fin quando non si utilizzano le funzioni il problema relativo alla “**visibilità delle variabili**” non si pone. Mi spiego meglio: una variabile, per poter essere utilizzata, deve appartenere (essere dichiarata) all’interno del `main` del nostro programma. Si dice in gergo tecnico che la variabile è visibile all’interno del `main` o, usando la terminologia inglese, si parla di **scope della variabile**. Ma cosa succede nel momento in cui andiamo a utilizzare altre funzioni e dichiariamo al loro interno specifiche variabili, eventualmente con nomi uguali? Ebbene, ogni variabile (anche se con lo stesso nome) è un oggetto distinto e unico. Tali variabili prendono il nome di **variabili locali** o anche **variabili automatiche**. L’appellativo di locali lo si spiega con il fatto che esse hanno visibilità solo relativamente alla funzione nella quale sono state dichiarate e perdono il loro valore quando l’esecuzione esce dalla funzione stessa. Per intenderci, il valore di una variabile tra due chiamate successive a una data funzione non verrà conservato ma verrà semplicemente distrutto. Per certi aspetti è come se la variabile morisse all’uscita di una data funzione ed è per questo che si parla di **tempo di vita** o anche **ciclo di vita** di una variabile.

Le variabili esterne

Spesso è necessario avere dei valori che siano condivisi da differenti funzioni. In questi casi si può ricorrere alla possibilità di dichiarare tali variabili all’esterno di qualsiasi funzione. Questa posizione le rende appunto **variabili esterne** visibili da tutte le altre funzioni che possono così accedere ai loro valori ed eventualmente modificarle.

Per poter esplicitare alle funzioni che fanno utilizzo di variabili esterne che queste sono effettivamente di tale specie, è necessario dichiarare nuovamente la variabile, all’interno della funzione, anteponendo la parola riservata `extern`.

Osservate a tal proposito il seguente pezzo di codice:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int var = 0;
void incrementa(void);
int main(int argc, char *argv[])
{
    printf("Prima della chiamata: %d\n", var);
    incrementa();
    printf("Dopo la chiamata: %d\n", var);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
void incrementa(void)
{
    extern int var;
    var = var + 1;
    return;
}
```

La variabile `var` viene dichiarata all’esterno del `main` e quindi risulta appunto essere **esterna**. La funzione `incrementa()`, che aumenta di una unità il valore della variabile, dichiara nuovamente al

suo interno la stessa variabile con la dicitura `extern`.

```
extern int var;
```

segnalando in buona sostanza che non si tratta di una variabile locale alla funzione ma di un'altra variabile già dichiarata, appunto esternamente, alla funzione stessa.

Sebbene in alcuni casi tale dichiarazione sia facoltativa è buona norma utilizzarla sempre. Nel caso in cui il codice del programma sia suddiviso su più file, l'utilizzo della parola chiave `extern` è addirittura obbligatorio.

Si ribadisce come l'uso delle variabili esterne possa risultare un'alternativa all'uso degli argomenti delle funzioni. Infatti, nel nostro esempio, la funzione `incrementa` viene utilizzata con la parola chiave `void` sia per il parametro di input che per quello di output, trasformando di fatto la funzione in una procedura. Il senso è che di norma, invece, per condividere i dati tra più parti del programma tali dati devono essere passati alle funzioni come argomenti delle funzioni stesse.

Vi devo comunque avvertire del fatto che eccedere con l'uso delle variabili esterne può comportare la creazione di programmi difficili da manutenere e più esposti al possibile inserimento di bug.

La classe di memorizzazione statica

È banale la considerazione relativa al fatto che lo stato che acquisiscono le variabili, e quindi il valore che esse assumono durante la loro vita, è indispensabile per un corretto funzionamento dei "mondi" che andiamo a creare. Lo scambio di valori e il relativo controllo è un aspetto critico della programmazione sia se si utilizzano variabili esterne sia se i valori vengono condivisi come argomenti tramite chiamate di funzioni.

A volte, ad esempio, si desidera che una funzione riesca a conservare lo stato di una certa variabile gestita al suo interno senza che questa muoia alla fine dell'esecuzione della funzione stessa. Ovviamente, come appena visto, è possibile utilizzare una variabile esterna che ne preservi il valore. Esiste, tuttavia, un'altra possibilità, che è quella di utilizzare una specifica classe di memorizzazione delle variabili, nota come **statica**, che preserva il valore di tali variabili indipendentemente dalla vita delle funzioni che le utilizzano senza essere a esse esterne. Per comprendere meglio i termini del problema, supponiamo di voler gestire una funzione che funga da contatore. Tale funzione dovrà incrementare il suo stato, realizzato tramite un banale numero intero, di un'unità ogni volta che viene invocata la funzione in questione.

Vediamo cosa succede con una prima bozza del codice:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int tictac(void);
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    printf("Il mio contatore\n\n");
    for (i=1; i<=10; i++)
    {
        printf("%d\n", tictac());
```

```

}
printf("\n");

system("PAUSE");
return 0;
}
int tictac(void)
{
    int x = 0;
    x = x + 1;

    return x;
}

```

Come si può facilmente notare, la funzione, che abbiamo chiamato `tictac`, gestisce una sua variabile interna `x` che serve a memorizzare lo stato del contatore stesso. A ogni chiamata incrementiamo il valore di tale variabile di un'unità. Anche se buttate un occhio distratto all'implementazione della funzione in questione, vi renderete conto che essa non può lavorare correttamente. Infatti, a ogni chiamata il valore di inizializzazione della variabile contatore `x`, che poniamo a zero, andrà a resettare la variabile stessa immediatamente prima che questa venga incrementata. Il risultato del fiasco del nostro codice lo potete osservare nella Figura 11.1 dove è ovvia la presenza di una sequenza di numeri uno.

The screenshot shows a terminal window with the title bar 'C:\Esempi\Dev-Cpp\static\static.exe'. Inside the window, the text 'Il mio contatore' is displayed, followed by nine consecutive digits '1'. At the bottom of the window, there is a prompt 'Premere un tasto per continuare . . .'. The window has standard window controls (minimize, maximize, close) at the top right.

Figura 11.1 – L'output della prima versione, non funzionante, del programma contatore.

Chiarito il contesto nel quale ci muoviamo, vi presento una possibile soluzione che è alternativa all'uso di variabili esterne oppure al passaggio di valori tramite argomenti di funzione: la parola chiave `static`.

Con tale parola chiave, anteposta alla classica dichiarazione della nostra variabile, definiamo appunto tale variabile come statica: ciò farà incredibilmente in modo che il valore di questa variabile venga **preservato** (ovvero conservato) tra chiamate successive.

L'implementazione della funzione cambia dunque come segue:

```

int tictac(void)
{

```

```
static int x = 0;  
x = x + 1;  
  
return x;  
}
```

dove l'unica modifica riguarda in effetti l'aggiunta della parola chiave static prima di `int x = 0;`. Il risultato è visibile nella Figura 11.2.

```
C:\Esempi\Dev-Cpp\static\static.exe  
Il mio contatore  
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
Premere un tasto per continuare . . .
```

Figura 11.2 – L'output della seconda versione del programma contatore.

Una considerazione finale riguarda la possibilità di utilizzare la parola chiave `static` rispetto a una variabile esterna. In questo caso si rende possibile preservare il valore di tale variabile da possibili modifiche non previste in altri moduli del programma.

La ricorsione e le funzioni ricorsive

L'iterazione è umana, la ricorsione divina.

L. Peter Deutsch

Non si fa in tempo a imparare un concetto che se ne presenta immediatamente uno nuovo con il quale confrontarsi. Abbiamo appena capito come gestire e utilizzare le funzioni; esiste, tuttavia, un modo molto particolare di utilizzo delle funzioni stesse: fare in modo che una funzione richiami ripetutamente se stessa per produrre un risultato complesso. Tale situazione prende il nome di **ricorsione**.

Per comprendere tale comportamento inizio con il presentarvi il più classico degli esempi: il **fattoriale di un numero**.

I numeri fattoriali

Vediamo innanzitutto con una definizione informale cosa si intende per **fattoriale**:

*Se il numero è minore di zero, rifiutalo. Se non è un numero intero, rifiutalo.
Se il numero è zero, il relativo fattoriale è 1. Se il numero è maggiore di zero,
moltiplico per il fattoriale del suo predecessore.*

Per indicare che abbiamo a che fare con il fattoriale di un dato numero n scriviamo $n!$, ovvero scriviamo il numero seguito dal simbolo di punto esclamativo.

Per cui per il numero 3 fattoriale scriviamo:

$$3! = 3 \times 2! = 3 \times 2 \times 1! = 6$$

Ma noi siamo informatici: una definizione informale non ci basta, per cui diciamo che: in matematica, se n è un intero positivo, si definisce **n fattoriale** e si indica con $n!$ il prodotto dei primi n numeri interi positivi. In formule:

$$n! = n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot \dots \cdot 2 \cdot 1$$

Per definizione si pone poi $0!=1$. Questa impostazione si accorda con la richiesta che il prodotto di zero fattori, il cosiddetto prodotto vuoto, come la potenza nulla di un intero positivo, sia uguale a 1.

Per calcolare il fattoriale di un numero maggiore di zero è quindi necessario calcolare il fattoriale di almeno un altro numero. Per poter eseguire la funzione sul numero corrente, è prima necessario che la funzione esegua una chiamata a se stessa per ottenere il successivo numero più piccolo. Questo è un esempio di ricorsione.

A proposito di esempi, vi propongo l'implementazione in C del calcolo del fattoriale.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
long fattoriale(long);
int main(int argc, char *argv[])
{
    int n;
    printf("Calcolo del fattoriale - Digita un numero naturale: ");
    scanf("%d", &n);
    printf("Il fattoriale del numero %d e': %ld\n", n, fattoriale(n));

    system("PAUSE");
    return 0;
}
long fattoriale(long x)
{
    if (x==0)
        return 1;
    else
        return x*fattoriale(x-1);
}
```

La ricorsione e l'iterazione, o ciclo, sono strettamente correlate. Infatti una funzione può restituire gli stessi risultati sia con la ricorsione che con l'iterazione.

NOTA

In realtà sarebbe possibile creare programmi senza usare un costrutto esplicito per i cicli. Il linguaggio Lisp, ad esempio, non dispone di un costrutto esplicito di iterazione come `for`, `while` ecc. Esso utilizza, infatti, la sola ricorsione.

Vediamo, allora, come è possibile ottenere il fattoriale di un numero con una tecnica più classica, ovvero quella iterativa.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main()
{
    int n, i;
    long int fatt = 1;
    printf("Inserisci un numero : ");
    scanf("%d", &n);
    for (i = 1; i <= n; i++)
    {
        fatt = fatt * i;
    }
    printf("Il fattoriale di %d e' %ld\n", n, fatt);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

In genere, un determinato calcolo si presta in maniera più o meno naturale a una tecnica o all'altra. Individuare l'approccio più congeniale è una questione di esperienza e "sensibilità". L'utilità della ricorsione è indubbia. Tuttavia essa si presta a potenziali subdoli problemi.

Può accadere, ad esempio, che la funzione ricorsiva creata non restituisca un risultato definito in quanto, ad esempio, non è in grado di raggiungere un punto finale. Tale ricorsione può causare l'esecuzione di un ciclo infinito da parte del computer.

Supponiamo, ad esempio, di omettere la prima regola, ovvero quella sui numeri negativi, dalla descrizione verbale del calcolo del fattoriale e di provare a calcolare il fattoriale di un qualsiasi numero negativo. Questa operazione non riuscirà in quanto per calcolare, ad esempio, il fattoriale di -1, è necessario calcolare il fattoriale di -2; per calcolare il fattoriale di -2, è necessario calcolare il fattoriale di -3 e così via. Questo processo, ovviamente, non raggiungerà mai un punto finale.

Un altro potenziale problema connesso all'utilizzo della ricorsione è quello della possibile saturazione di tutte le risorse assegnate al programma (memoria di sistema, spazio dello stack ecc.). Ogni volta che una funzione ricorsiva chiama se stessa, o un'altra funzione dalla quale poi è a sua volta chiamata, utilizza determinate risorse. In realtà le risorse vengono liberate al termine della funzione ricorsiva, tuttavia, una funzione con troppi livelli di ricorsione potrebbe utilizzare tutte le risorse disponibili causando il blocco dell'applicazione.

Il succo della questione è che la progettazione di funzioni ricorsive richiede estrema cura e attenzione. Nel caso esista anche la minima possibilità di ricorsione infinita, oppure eccessiva, è necessario progettare la funzione in modo che conti il numero di chiamate a se stessa e impostare di conseguenza un limite per tale numero di chiamate.

Ad esempio, si può fare in modo che, qualora la funzione chiami se stessa un numero di volte maggiore di quello definito come limite, la funzione stessa termini automaticamente, indicando possibilmente tale avvenimento. Il numero massimo ottimale di iterazioni dipende dalla funzione ricorsiva ed è ancora una volta demandato all'esperienza del programmatore.

Ancora ricorsione, Fibonacci

Un altro esempio fondamentale all'interno del contesto delle funzioni ricorsive è dato dai cosiddetti numeri di Fibonacci. I **numeri di Fibonacci** sono una successione di numeri interi (**successione di Fibonacci**) molto interessante, all'interno della quale ogni singolo numero della successione ha come valore la somma dei due numeri che lo precedono nella successione stessa. Per convenzione i primi due numeri della successione sono entrambi uguali a 1. Per cui il terzo numero è dato dalla loro somma $1 + 1$ e quindi vale 2. Il successivo sarà dunque dato da $1+2$ e quindi 3 e così via. I primi numeri della sequenza sono dunque:

$$1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, \dots$$

Cerchiamo, come di consueto, di essere più formali e di individuare delle formule di tipo generico. Definiamo allora quanto segue:

$$\begin{aligned} F(i) &= 0 && \text{se } i = 0 \\ F(i) &= 1 && \text{se } i = 1 \\ F(i) &= F(i-1) + F(i-2) && \text{se } i \geq 2 \end{aligned}$$

dove i rappresenta il generico numero F della successione. Ovvero se i vale 0 il corrispondente numero della successione è posto pari a 0 mentre se i vale 1 si impone il valore a 1 . Per i maggiore o uguale a 2 il corrispondente numero nella successione di Fibonacci è dato dalla somma:

$$F(i-1) + F(i-2)$$

cioè dalla somma dei due numeri di Fibonacci che precedono quello in oggetto nella sequenza. Ad esempio, per $i = 3$ abbiamo:

$$F(i) = F(i-1) + F(i-2) = F(3-1) + F(3-2) = F(2) + F(1) = 1 + 1 = 2$$

dunque

$$F(3) = 2$$

Di seguito vi presento il codice classico di tipo ricorsivo per il calcolo di un numero generico della sequenza di Fibonacci:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
long fibonacci(long);
int main(int argc, char *argv[])
{
    int n;
    printf("Calcolo numero di Fibonacci - Digita un numero naturale: ");
    scanf("%d", &n);
    printf("Il numero di Fibonacci nella posizione %d e': %ld\n", n, fibonacci
    system("PAUSE");
    return 0;
}
long fibonacci(long i)
```

```
{  
    if (i == 0)  
        return 0;  
    else if (i == 1)  
        return 1;  
    else  
        return fibonacci(i-1) + fibonacci(i-2);  
}
```

I puntatori

Chi è convinto che i computer siano in grado di soppiantare i matematici non capisce niente né di computer né di matematica. È come credere che i biologi non servono più perché sono stati inventati i microscopi.

Ian Stewart

I puntatori sono uno degli argomenti più importanti e forse anche più complessi dei linguaggi di programmazione, al punto che alcuni linguaggi li evitano accuratamente. Non a caso vengono considerati un modo perfetto per rendere un programma illeggibile per il programmatore. Perché mai allora utilizzarli? I puntatori, se ben sfruttati, rappresentano un'arma eccezionale per scrivere programmi potenti ed efficienti.

I puntatori

Per comprendere il concetto di puntatore è bene riguardare l'organizzazione della memoria di un calcolatore. Sappiamo, o comunque dovremmo sapere, che la memoria di un calcolatore è un dispositivo realizzato per contenere i dati dell'elaborazione dei nostri programmi; essa è costituita da una serie di **celle** (o **locazioni**) consecutive. Ogni cella può contenere un certo elemento ed è identificata da un numero, detto **indirizzo**. Il concetto di puntatore fa leva proprio su questo elemento: un indirizzo di memoria può essere considerato a tutti gli effetti una variabile che cambia il suo valore in dipendenza dalla cella che individua (punta).

NOTA

Anche se simile a una variabile generica di tipo intero, una **variabile puntatore** ha delle specifiche differenze. Ad esempio, non ha senso considerare puntatori negativi o la divisione di due puntatori.

Un **puntatore** è quindi un gruppo di celle di memoria (una sola sarebbe insufficiente) contenente un indirizzo di un'altra cella. Il C permette di accedere a tale indirizzo, vale a dire localizzare dove la variabile sia stata effettivamente memorizzata.

Fin quando si gestiscono operazioni che si riferiscono a variabili presenti in pezzi di codice in cui tali variabili sono “visibili” non esiste necessità di utilizzare i puntatori. Normalmente, infatti, una variabile utilizzata all'interno di una funzione vive per il tempo di esecuzione della specifica funzione ed è visibile (utilizzabile) solo in quella funzione. Se vogliamo utilizzare una certa variabile anche fuori dalla funzione di appartenenza dobbiamo conoscere l'indirizzo preciso in cui essa viene memorizzata: ecco spiegata l'essenza dei puntatori e la loro importanza! Come abbiamo imparato, la prima cosa da fare per utilizzare una variabile è la sua **dichiarazione**; per dichiarare una variabile puntatore a un intero procediamo come segue:

```
int x, y, *pippo;
```

Nella precedente istruzione abbiamo dichiarato tre variabili; le prime due, `x` e `y`, sono delle classiche variabili intere, la terza `*pippo` è una variabile che punta a un intero.

Per far sì che `pippo` punti a una specifica variabile intera scriviamo:

```
pippo = &x;
```

In questo modo abbiamo assegnato a `pippo` l'indirizzo della variabile `x`.

Poniamoci ora il problema di accedere al contenuto della cella puntata da `pippo`. Per far questo utilizziamo l'**operatore unario *** (detto di **indirezione** o **deferimento**) come segue:

```
y = *pippo;
```

Con `*pippo`, infatti, ci riferiamo al contenuto puntato da `pippo`. In buona sostanza, con la precedente istruzione abbiamo fatto sì che `y` sia uguale al contenuto a cui punta `pippo`.

Volendo quindi operare sul contenuto di `pippo` possiamo procedere come segue:

```
*pippo = *pippo + 1;
```

avendo incrementato di un'unità il suo contenuto.

Puntatori e array

Voglio ora tornare sul senso di puntatore vero e proprio, inteso come riferimento a un'area di memoria, facendovi vedere cosa succede con gli array. Abbiamo visto che un array è una struttura dati costituita da variabili tutte dello stesso tipo in cui ogni elemento è identificato da un indice che parte da zero.

Vediamo cosa succede con le seguenti istruzioni:

```
int vettore[10];
int *indice;
indice = &vettore[0];
```

Se ci pensate un po' le istruzioni scritte sono abbastanza semplici. Ho dichiarato un array di interi, un puntatore a interi e infine ho fatto sì che il puntatore `indice` punti al primo elemento dell'array.

In questo modo possiamo selezionare i vari elementi dell'array agendo sul puntatore; così, le seguenti istruzioni risultano equivalenti:

```
vettore[1]=100;
*(indice + 1)=100;
```

Entrambe pongono il valore 100 nel secondo elemento dell'array (quello con indice 1). La prima istruzione lo fa con il metodo "classico", la seconda agendo sul puntatore: incrementando di un'unità il puntatore `indice` ci spostiamo sull'elemento successivo e con l'operatore `*` ne indichiamo il contenuto.

Di seguito, per semplicità, vi propongo il codice completo dell'esempio per darvi una visione d'insieme:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main()
{
    int vettore[10]={};
    int *indice;
    indice = &vettore[0];
    /*
        Le seguenti due righe di codice danno lo stesso risultato.
        Per verificarlo potete commentare alternativamente una delle due righe,
        compilare e verificare il risultato ottenuto a video.
    */
    vettore[1]=100;
    *(indice + 1)=100;
    printf("Test puntatore: %d\n", vettore[1]);
    system("pause");
    return 0;
}
```

dove vi ricordo che inizializzando un array con una coppia di parentesi graffe vuote si ottiene il risultato di porre a zero tutte le posizioni dell'array stesso.

Attenzione però all'uso delle parentesi nella gestione dei puntatori; se avessimo scritto in un'istruzione:

```
*indice + 1
```

avremmo incrementato di 1 il contenuto del primo elemento (quello attualmente puntato da `indice`). Infatti, `*indice` rappresenta il contenuto dell'elemento indicato dal puntatore. Per provare tale espressione in un pezzo di codice possiamo fare riferimento al seguente:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main()
{
    int vettore[10]={};
    int *indice;
    indice = &vettore[0];
    printf("Test puntatore: %d\n", *indice + 1 );
    system("pause");
    return 0;
}
```

ottenendo in output la stampa, visibile in Figura 13.1, del valore 1 essendo inizialmente a zero il contenuto dell'array.



Figura 13.1 – Il risultato a video dell'incremento del valore dell'elemento indicato dal puntatore.

Come risulta abbastanza chiaro, operare con i vettori utilizzando i puntatori è abbastanza più complesso: tuttavia operando direttamente sugli indirizzi il tutto risulta sicuramente più veloce. Il seguente esempio mostra come è possibile gestire una stringa attraverso un array di caratteri nella maniera standard e con l'uso dei puntatori.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main()
{
    int i=0;
    char atest[] = "Ciccio Pasticcio";
    char *ptest = "ciccio pasticcio";

    printf("Stringa con array\n");
    while (atest[i] != '\0')
    {
        printf("%c", atest[i]);
        i++;
    }
    printf("\n\n");
```

```
printf("Stringa con puntatore\n");
while (*ptest != '\0')
{
    printf("%c", *ptest);
    ptest++;
}
printf("\n\n");
system("PAUSE");
return 0;
}
```

Esaminiamo allora velocemente il codice appena proposto. In merito alla gestione con array c'è ben poco da dire essendo una tecnica già vista in precedenza. Dichiariamo e inizializziamo un semplice array di caratteri e ne stampiamo il contenuto tramite un ciclo `while`, usando come condizione di uscita il raggiungimento del carattere speciale `\0` che indica appunto la fine di una stringa.

In merito alla gestione con puntatori notiamo innanzitutto l'istruzione:

```
char *ptest = "ciccio pasticcio";
```

Con tale istruzione definiamo una variabile di tipo puntatore a carattere e inizializziamo il valore puntato con una stringa di nostro interesse. La nostra variabile punterà inizialmente, in maniera del tutto automatica, al primo carattere della sequenza.

Anche in questo caso usiamo un `while` con una condizione di uscita che testa l'individuazione del carattere di fine stringa. La verifica la effettuiamo rispetto al contenuto della variabile puntata tramite la dicitura `*ptest`, mentre incrementiamo il puntatore attraverso l'istruzione `ptest++`.

Puntatori e funzioni

Per comprendere appieno i puntatori, e al contempo un altro aspetto “filosofico” del linguaggio C, torniamo un attimo sulle funzioni.

I dati che sono “passati” a una funzione vengono chiamati **argomenti** o anche **parametri attuali** della funzione. Nel momento in cui essi vengono ricevuti dalla funzione, e quindi elaborati, prendono il nome di **parametri formali** della funzione. In linea del tutto generale vengono definiti **parametri**.

Il C passa gli argomenti alle funzioni **per valore**, ciò significa che la funzione riceve una copia delle variabili e non, quindi, le variabili originarie. Ciò significa che non c’è modo per la funzione chiamata di modificare una variabile che si trova all’esterno del suo blocco di esecuzione. Differente è il caso di altri linguaggi (ad esempio Visual Basic), che passano i valori alle funzioni **per indirizzo** consentendone quindi la modifica anche in punti in cui non sarebbero direttamente “visibili”.

Ma torniamo al C: l’unico modo che ha una funzione per modificare il valore di una variabile che sia esterna al suo blocco di esecuzione è quello di operare sull’indirizzo della variabile stessa, che gli deve quindi essere passata attraverso un puntatore. Le cose, a questo punto, dovrebbero cominciare a essere più chiare. Casca a fagiolo un esempio:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int cambia(int);
int main(int argc, char *argv[])
{
    int a=0, b=0;
    printf("Il valore di a prima della chiamata e': %d\n", a );
    printf("Il valore di b prima della chiamata e': %d\n", b );
    b = cambia(a);
    printf("Il valore di a dopo la chiamata e': %d\n", a );
    printf("Il valore di b dopo la chiamata e': %d\n", b );
    system("PAUSE");
    return 0;
}
int cambia (int a)
{
    a = a+1;
    return a;
}
```

Provando questo esempio si può vedere come il valore della variabile `a` non cambi dopo l’esecuzione e al contempo che la funzione effettua la sua elaborazione in quanto la variabile `b` risulta incrementata di un’unità.

Infatti, l’output sarà:

```
Il valore di a prima della chiamata e': 0
Il valore di b prima della chiamata e': 0
Il valore di a dopo la chiamata e': 0
Il valore di b dopo la chiamata e': 1
Premere un tasto per continuare . . .
```

Questo a testimonianza del fatto che la funzione riceve, per valore, una copia della variabile e che quindi il suo effetto è solo relativo a tale copia e non alla variabile originaria. Per risolvere il problema della modifica della variabile originaria, ormai dovrebbe essere chiaro, è necessario agire tramite i puntatori come mostrato di seguito:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
void cambia(int *);
int main(int argc, char *argv[])
{
    int a, b, *punt;
    punt=&a;
    a=0;
    printf("Il valore di a prima della chiamata e': %d\n", a );
    cambia(punt);
    printf("Il valore di a dopo la chiamata e': %d\n", a );
    system("PAUSE");
    return 0;
}
void cambia (int *x)
{
    *x= *x+1;
    return;
}
```

L'output del codice sarà il seguente:

```
Il valore di a prima della chiamata e': 0
Il valore di a dopo la chiamata e': 1
Premere un tasto per continuare . . .
```

Ciò è possibile in quanto la funzione `cambia` prende in input la variabile puntatore `punt` che punta alla variabile `a` e osservando l'implementazione della funzione potete notare come ciò sia espresso attraverso l'uso dell'operatore unario asterisco:

```
void cambia (int *x)
{
    ...
}
```

Notate quindi come la funzione al suo interno operi l'incremento sul valore puntato dalla variabile passata come argomento:

```
*x= *x+1;
```

L'eccezione che conferma la regola: array, funzioni e passaggio per indirizzo

Come appena evidenziato, il passaggio di una variabile avviene di norma per valore. Ciò tuttavia non è vero se ci si riferisce al passaggio di un vettore a una funzione; in questo caso, infatti, il passaggio avviene per indirizzo. Il seguente esempio, relativo al confronto tra due stringhe (ovvero array di caratteri) mette in evidenza le modalità in oggetto.

La seguente funzione `strTest` prende in input i due array e restituisce il numero di elementi che differiscono.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int strTest(char[], char[]);
int main(int argc, char *argv[])
{
    char a[10]="Pippo";
    char b[10]="pIppo";
    int ret=0;
    ret = strTest(a, b);
    printf("Differenza tra stringhe: %d\n", ret);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
int strTest(char a[], char b[])
{
    int i=0, cont=0;
    while ((a[i] != '\0') && (b[i] != '\0'))
    {
        if (a[i]!=b[i])
        {
            cont++;
        }
        i++;
    }
    return cont;
}
```

Nel caso specifico, la funzione restituirà il valore 3 in relazione al fatto che le due stringhe differiscono, per maiuscolo e minuscolo, nella prima, seconda e quinta posizione.

Ribadisco che quello che si vuole sottolineare in questo contesto è che il passaggio di un array a una funzione ne implica il passaggio per indirizzo e quindi la possibilità, da parte della funzione, di agire direttamente sul contenuto reale dell'array. Consideriamo allora il seguente codice:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
void maschera(char[], int);
int main(int argc, char *argv[])
{
    char a[10]="Pippo";
    int i;
    printf("-Modifica stringa-\n");
```

```
printf("%s\n", a);
maschera(a, 0);
for(i=0; i<10; i++)
{
    printf("%c", a[i]);
}
printf("\n");
system("PAUSE");
return 0;
}
void maschera(char x[], int pos)
{
    x[pos]='X';
}
```

Nel `main` dichiariamo e inizializziamo un array di caratteri. Su di esso richiamiamo la funzione `maschera` che prende in input l'array stesso e l'indice della cella in cui andare a effettuare una modifica, ponendo una X in tale posizione. Come si potrà notare dalla stampa a video dell'array, effettuata all'interno del `main` dopo la chiamata della funzione, la modifica avviene effettivamente sull'array originale e non su di una copia di esso.

A solo titolo di esempio, la richiesta di modifica della funzione `maschera` è relativa alla posizione con indice zero. Potrebbe essere utile, come esercizio, modificare il codice proposto richiedendo all'utente con una `scanf` la posizione in cui apportare la modifica.

Comunichiamo con il programma, il passaggio di parametri al main

Tutti i programmi che vi ho mostrato finora, per prelevare un input dall'esterno, hanno fatto uso di funzioni che prelevavano l'input dell'utente da tastiera, tipo `scanf`. Questa pratica è più che sufficiente nella stragrande maggioranza dei casi; tuttavia, in alcune situazioni, tale approccio può risultare di scarsa soddisfazione.

Immaginiamo, ad esempio, un programma che conti il numero di caratteri presenti in un dato file; sarebbe molto più comodo usare il programma passando sulla “riga di comando” il nome del file sul quale effettuare il conteggio, piuttosto che farci chiedere il nome del file stesso.

Cerco di essere più chiaro: supponiamo che il nostro file eseguibile si chiami `mycount.exe`; ebbene, sarebbe bello poter invocare il programma come mostrato nella Figura 13.2.

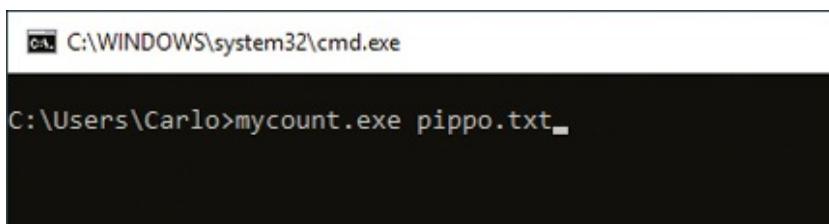


Figura 13.2 – Il lancio del programma con relativo parametro sulla riga di comando.

In questo esempio, `pippo.txt` sarebbe l'argomento passato direttamente al nostro programma e sul quale verrebbe effettuato il conteggio dei caratteri.

Per poter utilizzare questo tipo di funzionalità è necessario servirsi dei parametri `argc` e `*argv[]` utilizzando la chiamata alla funzione `main` come segue:

```
int main(int argc, char *argv[])
```

`argc` è un intero che rappresenta il numero di parametri passati al programma mentre `argv` è un puntatore a un vettore di stringhe contenenti ognuna un argomento passato al programma.

Nel nostro caso la situazione sarebbe la seguente:

```
argc = 2
argv[0] = "mycount.exe"
argv[1] = "pippo.txt"
```

Come esempio vi propongo un programma che stampa, in due possibili modi diversi, gli argomenti passati sulla riga di comando.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    printf("argc e': %d\n", argc);
    for(i=0; i < argc; i++)
    {
        printf("Argomento: %s\n", argv[i]);
```

```
}

/* oppure */
for(i=0; i < argc; i++)
{
    printf("Argomento: %s\n", *argv);
    argv++;
}
system("PAUSE");
return 0;
}
```

Le strutture: molti dati e un'unica variabile

Il software è come l'entropia. È difficile da afferrare, non pesa nulla, e obbedisce alla seconda legge della termodinamica: aumenta sempre.

Norman R. Augustine

Nella risoluzione di numerosissimi tipi di problemi ci si trova spesso di fronte a singoli elementi che possiedono diverse e differenti proprietà. Avevamo già affrontato problematiche simili nel Capitolo 8, nel momento in cui abbiamo verificato la necessità di utilizzare strutture dati complesse come gli array per superare i limiti imposti dalle variabili di tipo semplice. Seppur potenti, gli array non possono risolvere da soli i vari problemi di efficienza che si riscontrano in situazioni complesse tipiche del mondo reale.

Campi, record e strutture

A puro titolo di esempio potete pensare alla necessità di gestire le informazioni riguardanti i clienti dei vostri programmi. Pensate un po', non riuscite più a gestire l'elenco dei vostri innumerevoli clienti e vi serve un programma specifico. Il generico cliente dovrà avere ovviamente associate delle specifiche informazioni, ad esempio, dei dati anagrafici (nome, cognome) così come altri dati, ipoteticamente relativi alla propria età (Figura 14.1). Nel contesto informatico una tale organizzazione di dati prende il nome di **record**. Le singole informazioni raccolte nel record prendono il nome di **campi**.

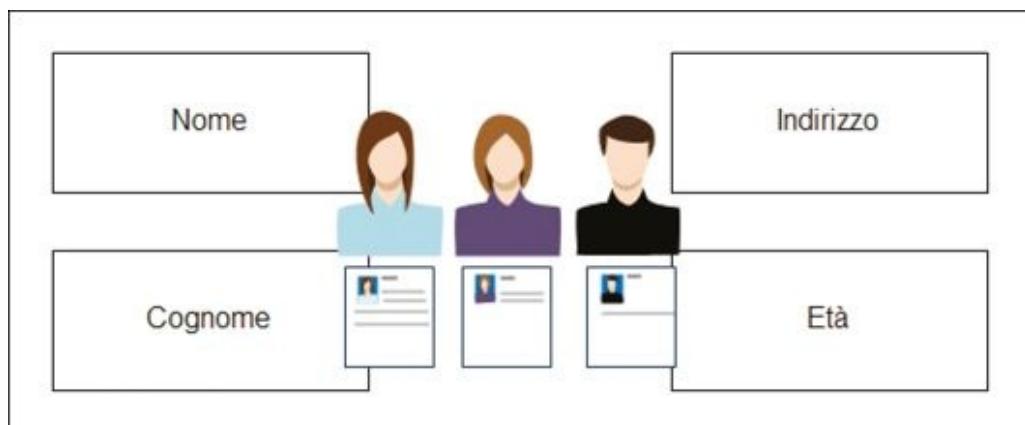


Figura 14.1 – Ipotetici clienti con le relative proprietà.

Ovviamente l'esempio del cliente è solo uno degli innumerevoli casi in cui un certo contesto può essere modellato con campi e record. Un'altra situazione assolutamente classica è quella relativa a un elenco di libri da catalogare. Ogni singolo libro dovrà essere contenuto in un record con una serie di campi. Tali campi saranno qualcosa come titolo del libro, autore, anno di pubblicazione, prezzo ecc.

Anche solo intuitivamente potete comprendere come il gestire queste differenti informazioni con variabili separate comporterebbe numerosi problemi; primo tra tutti la confusione nell'organizzazione del nostro codice e la relativa difficoltà di manutenzione dello stesso.

Per far fronte a questo tipo di situazioni il linguaggio C mette a disposizione dello sviluppatore un apposito tipo di dati fondamentale noto come **struttura**, gestibile tramite la parola chiave `struct`. Il concetto è molto simile a quello relativo a un array: un'unica variabile con la possibilità di memorizzare differenti valori. La differenza sostanziale è data dal fatto che i valori gestibili tramite una `struct`, contrariamente a quanto avviene con gli array, possono anche essere di tipo diverso tra di loro.

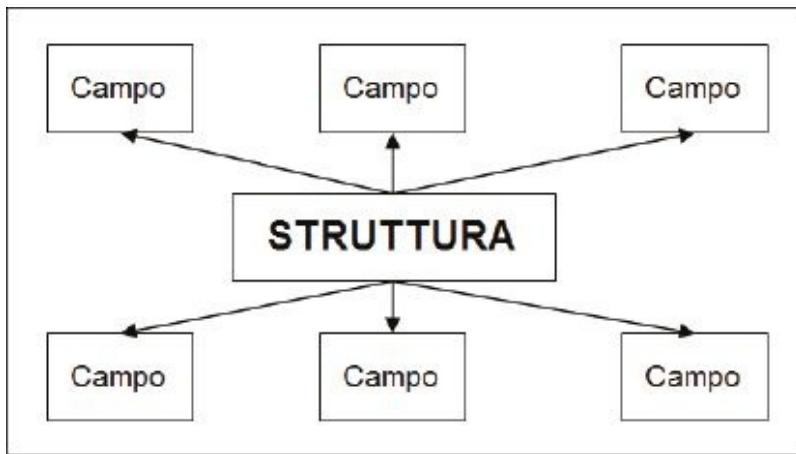


Figura 14.2 – La rappresentazione concettuale di una struttura con i relativi campi.

In C per definire una `struct` si fa seguire a tale parola chiave un nome scelto dal programmatore (che prende il nome di **tag**) e, all'interno di un blocco di parentesi graffe, le differenti variabili utilizzate per definire le varie caratteristiche del soggetto della nostra definizione; in buona sostanza, i campi del record. Dopo la chiusura della parentesi graffa è necessario inserire un punto e virgola per chiudere la definizione stessa.

In concreto, la dichiarazione di una struttura è qualcosa di questo tipo:

```
struct nomeStruttura
{
    /* qui vanno i campi */
};
```

Sempre per concretezza, supponiamo allora di voler definire una struttura per la gestione del nostro ipotetico cliente. Un approccio può essere il seguente:

```
struct persona
{
    char nome[20];
    char cognome[20];
    char indirizzo[30];
    int eta;
};
```

Abbiamo dato alla struttura il nome `persona` e abbiamo definito al suo interno quattro campi. Un primo campo per contenere il nome, un secondo per il cognome e un terzo per l'indirizzo. Tali primi tre campi sono di tipo array di caratteri. E non potrebbe essere diversamente. Il quarto campo è invece di tipo intero dovendo contenere l'età del nostro gentile cliente. Come potete notare i tipi di dati sono differenti, stringhe e interi, ed è proprio tale contesto a mostrare la “potenza” di questa struttura dati.

Ovviamente non è sufficiente definire la struttura. Abbiamo bisogno di una ulteriore riga di codice, successiva alla dichiarazione del blocco della `struct`, per “istanziare”, cioè predisporre per l'uso, la variabile avente le caratteristiche indicate dalla `struct`. L'istruzione:

```
struct persona cliente;
```

definisce quindi la variabile `cliente` avente le caratteristiche di `persona`.

Per poter valorizzare e utilizzare le singole proprietà della struttura (che come detto prendono i nomi tecnici di campi ma anche **membri**) è necessario indicare il nome della variabile struttura (nel nostro caso `cliente`) seguito da un **punto** e dal nome del membro di interesse. Ad esempio per valorizzare il campo cognome potremmo scrivere:

```
cliente.cognome = "Mazzone";
```

mentre per stampare il campo in questione possiamo scrivere:

```
printf("\nIl cognome e': %s", cliente.cognome);
```

Di seguito vi presento un esempio completo nel quale metto insieme le cose dette a proposito delle strutture. Supponiamo di voler gestire i dati di un cliente, preleviamo da tastiera tali dati, li immagazziniamo in una struttura e successivamente li stampiamo a video prelevandoli dalla struttura stessa.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    struct persona
    {
        char nome[20];
        char cognome[20];
        char indirizzo[30];
        int eta;
    };
    struct persona cliente;
    printf("Nome: ");
    gets(cliente.nome);
    printf("Cognome: ");
    gets(cliente.cognome);
    printf("Eta': ");
    scanf("%d", &cliente.eta);
    printf("\nIl nome e': %s", cliente.nome);
    printf("\nIl cognome e': %s", cliente.cognome);
    printf("\nL'eta' e': %d\n", cliente.eta);
    printf("\n");
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Nell'esempio non utilizziamo il campo `indirizzo` seppure questo sia dichiarato all'interno della struttura. Il senso è che non è detto che dobbiamo per forza di cose utilizzare sempre tutti gli elementi dichiarati. A volte potrebbe capitare di inserire un dato campo semplicemente perché si ritiene di doverlo utilizzare per scopi futuri.

Una struttura dentro l'altra

Osservando il codice dell'esempio che vi ho proposto vi invito a notare l'uso del membro età. Innanzitutto esso è stato scritto senza l'accento: MAI UTILIZZARE CARATTERI SPECIALI! In secondo luogo si tratta di una scelta comunque non felice. L'età è una caratteristica che (ahinoi molto velocemente) cambia con il passare del tempo. Sarebbe sicuramente più opportuno memorizzare la data di nascita e calcolare l'età come logica conseguenza a partire dalla data attuale.

In realtà, anche una data può essere vista come una struttura:

```
struct data
{
    int giorno;
    int mese;
    int anno;
} nascita;
```

dove vi faccio notare la possibilità di dichiarare e inizializzare una variabile di tipo struttura in un solo "colpo" indicandone il nome, in questo caso `nascita`, dopo la chiusura della parentesi graffa (prima del punto e virgola finale).

L'esempio dell'elemento `data` ci fornisce l'occasione per un'altra riflessione importante. A rigore la data potrebbe essere gestita tramite un array. Potremmo infatti dichiarare un array di tre elementi: il primo elemento per il giorno, il secondo per il mese e il terzo per l'anno. Qualcosa del genere seguente:

```
int data[3];
```

Ovviamente con tale soluzione dovremmo tenere a mente questa specifica organizzazione e sequenza di attribuzione dei differenti valori (giorno, mese e anno). Giusto per fare un esempio, nel mondo anglosassone si utilizza di norma prima il mese e poi il giorno.

L'utilizzo di una struttura è quindi preferibile quando si vuole avere un controllo più diretto sui singoli elementi di un insieme. Possiamo quindi dichiarare una struttura per gestire una certa data:

```
struct data
{
    int giorno;
    int mese;
    int anno;
};
```

A questo punto possiamo notare come è possibile sostituire il campo `eta`, per la gestione dell'età della nostra persona, inserendo al suo posto la struttura `data` appena definita:

```
struct persona
{
    char nome[20];
    char cognome[20];
    char indirizzo[30];
```

```
    struct data nascita;
};
```

Il gioco è allora fatto: la struttura `data` viene a essere incorporata e gestibile all'interno della struttura `persona`.

Volendo è possibile inizializzare i campi di una certa struttura a determinati valori direttamente in fase di dichiarazione:

```
struct persona Topolino = {"Mickey", "Mouse", "Topolinia", 18,11,1928};
```

Mettiamo allora tutto insieme per un semplice esempio relativo alla data di nascita del simpatico Topolino.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    struct data
    {
        int giorno;
        int mese;
        int anno;
    };
    struct persona
    {
        char nome[20];
        char cognome[20];
        char indirizzo[30];
        struct data nascita;
    };
    struct persona Topolino = {"Mickey", "Mouse", "Topolinia", 18,11,1928};

    printf("La data di nascita di %s %s e': %d/%d/%d ", Topolino.nome, Topolino.cognome, Topolino.nascita.giorno, Topolino.nascita.mese, Topolino.nascita.anno);
    printf("\n");
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

La lunghezza della riga di codice relativa alla stampa dell'esempio propostovi induce in maniera spontanea a una nota di suggerimento. Per una maggiore leggibilità del codice all'interno dell'editor, nel caso di linee troppo lunghe, è possibile usare il carattere '\ backslash per separare la linea in questione su più righe differenti. Ad esempio:

```
printf("La data di nascita di %s %s e': %d/%d/%d ", \
       Topolino.nome, Topolino.cognome, \
       Topolino.nascita.giorno, Topolino.nascita.mese, Topolino.nascita.anno);
```

Array di strutture

Ovviamente, con una organizzazione come la precedente, possiamo gestire i dati di un singolo cliente alla volta. Volendo gestire contemporaneamente più clienti dovremmo teoricamente dichiarare tante variabili di tipo struttura quanti sono i clienti. Ad esempio:

```
struct persona cliente1, cliente2, cliente3;
```

Si intuisce che l'approccio usato è sicuramente poco funzionale. Fortunatamente il C consente di dichiarare degli **array di strutture**. Possiamo quindi scrivere qualcosa del tipo:

```
struct persona cliente[10];
```

dichiarando in tal modo un array composto da 10 elementi di tipo `cliente`. Spesso ci si riferisce a un array di strutture con il termine **tabella**. Per accedere ai membri cognome e nome del primo cliente possiamo scrivere quindi qualcosa del tipo:

```
printf("\nCognome: %s", cliente[0].cognome);
printf("\nNome: %s", cliente[0].nome);
```

considerando banalmente che l'indice del primo elemento dell'array di `struct` è ovviamente zero. Vediamo allora, come di consueto, un esempio che mette insieme i vari pezzi. Supponiamo di voler “caricare” (ovvero inserire all'interno di un sistema software) un certo numero di clienti e quindi di voler stampare il loro elenco.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define MAX_CLIENTI 10
int main(int argc, char *argv[])
{
    struct data
    {
        int giorno;
        int mese;
        int anno;
    };
    struct persona
    {
        char nome[20];
        char cognome[20];
        char indirizzo[30];
        struct data nascita;
    };
    struct persona cliente[MAX_CLIENTI];
    int i;

    //Inserimento dati
    printf("Inserisci i dati dei tuoi clienti\n\n");
    for (i=0; i<MAX_CLIENTI; i++)
    {
        printf("Cliente: %d\n", i+1);
```

```

    printf("Nome: ");
    gets(cliente[i].nome);
    printf("Cognome: ");
    gets(cliente[i].cognome);
}

//Stampa dati
printf("\nL'elenco dei tuoi clienti e'\n\n");
for (i=0; i<MAX_CLIENTI; i++)
{
    printf("\nNome: %s", cliente[i].nome);
    printf("\nCognome: %s", cliente[i].cognome);
    printf("\n");
}
printf("\n");
system("PAUSE");
return 0;
}

```

Facciamo allora qualche commento a quanto scritto, anche se ormai dovreste saper leggere il codice abbastanza semplicemente.

La prima cosa che vi faccio notare è che ho utilizzato una costante `MAX_CLIENTI` con la direttiva `define` per indicare il numero di clienti da inserire. Questo consente di impostare un valore molto basso, ad esempio anche solo 2, per testare il codice. Non ha senso inserire 10 elementi con dettagli di nome, cognome e quant'altro per scoprire che abbiamo fatto un banale errore di formattazione di qualche ritorno a capo o altri errori di vario tipo. Quando avremo completato il testing del codice potremo impostare il valore della `define` a quello definitivo ed eventualmente fare una prova finale del codice. E dunque, utilizzando la seguente riga di codice:

```
struct persona cliente[MAX_CLIENTI];
```

definisco un array con un numero di elementi pari a `MAX_CLIENTI`. Ogni elemento è una struttura di tipo `persona`. Per l'inserimento dei dati utilizziamo il costrutto `for` che “cicla” su tutti gli elementi dell'array. Per valorizzare un *i*-esimo campo utilizziamo un'istruzione del tipo:

```
gets(cliente[i].nome);
```

in questo caso riferendoci al campo `nome`. Preferiamo usare l'istruzione `gets` al posto della `scanf` con il qualificatore `%s` per evitare di avere problemi con eventuali nomi o cognomi che contengano degli spazi al loro interno.

La sezione del codice relativa alla stampa dovrebbe essere auto esplicativa.

Le strutture e le funzioni

Le strutture possono essere passate alle funzioni come argomenti di una chiamata alla funzione stessa. Il passaggio può avvenire sia per valore che per indirizzo. Il passaggio per indirizzo è anche noto come **passaggio per riferimento**.

Nel **passaggio per valore**, come di consueto con questo tipo di approccio, viene creata in memoria una copia dell'elemento che viene passato alla funzione prima che il controllo venga trasferito effettivamente alla funzione stessa. Ciò comporta la necessità di fare attenzione a questo tipo di scelta quando si è in presenza di strutture molto grandi a causa dello spazio di memoria eccessivo che potrebbe essere utilizzato per la copia stessa.

D'altra parte il passaggio per valore può essere consigliabile nei casi in cui si vuole evitare che la funzione modifichi la struttura originale. Infatti, tutte le manipolazioni effettuate dalla funzione saranno applicate solo ed esclusivamente alla copia della struttura.

Di seguito vi propongo un esempio relativo a una struttura che gestisce un punto all'interno di uno spazio tridimensionale. La struttura, molto semplice, è la seguente:

```
struct punto
{
    int x;
    int y;
    int z;
};
```

Di seguito l'intero codice in cui valorizziamo la struttura e la stampiamo passandola per valore a una specifica funzione di stampa.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
struct punto
{
    int x;
    int y;
    int z;
};
void stampa(struct punto);
int main(int argc, char *argv[])
{
    struct punto A;

    A.x=1;
    A.y=1;
    A.z=1;
    stampa(A);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
void stampa(struct punto A)
{
    printf("Le coordinate del punto sono: %d - %d - %d\n", A.x, A.y, A.z);
}
```

Nel **passaggio per indirizzo**, ciò che viene effettivamente passato è invece un puntatore alla struttura. In questo caso bisogna fare attenzione alla sintassi utilizzata. Non è sufficiente indicare come argomento il semplice nome della struttura così come avviene, ad esempio, per i vettori. Infatti, nel caso dei vettori, il compilatore leggendo il nome dell'array presuppone il passaggio di un puntatore relativo al primo elemento dell'array stesso. Nel caso di una struttura il passaggio del solo nome verrebbe interpretato come passaggio per valore.

È dunque necessario dichiarare la funzione con una forma del tipo che vi mostro di seguito:

```
//dichiarazione funzione
void mia_funzione (struct struttura *);
```

Vediamo allora un esempio completo relativo alla struttura `punto` vista in precedenza. Si tratta, in buona sostanza, della riproposizione dello stesso esercizio con l'eccezione relativa al fatto che ora utilizziamo una specifica funzione `valorizza` passandole un puntatore alla struttura `punto` per impostare i valori della struttura. Modifichiamo inoltre la funzione `stampa` passandole ora la struttura per indirizzo:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
struct punto
{
    int x;
    int y;
    int z;
};
void valorizza(struct punto *);
void stampa(struct punto *);
int main(int argc, char *argv[])
{
    struct punto A;

    valorizza(&A);
    stampa(&A);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
void valorizza(struct punto *A)
{
    (*A).x = 2;
    (*A).y = 2;
    (*A).z = 2;
}
void stampa(struct punto *A)
{
    printf("Le coordinate del punto sono: %d - %d - %d\n", (*A).x, (*A).y, (*A).z);
}
```

Cominciamo con il notare il fatto che quando chiamiamo la funzione di valorizzazione scriviamo:

```
valorizza(&A);
```

In effetti, la e commerciale, rappresenta la classica simbologia utilizzata per indicare l'indirizzo di una qualsiasi variabile semplice. Non c'è nessun mistero in tutto ciò. Ribadisco che una struttura è del tutto simile a una variabile semplice e somiglia a un array solo per il fatto che in essa è possibile inserire più elementi, volendo di tipo diverso.

L'altra cosa importante da notare è all'interno della funzione che valorizza i campi della struttura punto:

```
void valorizza(struct punto *A)
{
    (*A).x = 1;
    (*A).y = 1;
    (*A).z = 1;
}
```

Come potete osservare, per dare un valore a una coordinata scriviamo `(*A).x = 1;` riferendoci prima al puntatore `A`, con `(*A)`, e poi accedendo al campo specifico, in questo caso `x`, con l'operatore punto.

Attenzione all'assoluta necessità di usare le parentesi tonde, in quanto altrimenti applicheremmo prima l'operatore di accesso al campo punto alla `x`, avendo risultati fuori dalla grazia di Dio. Ciò è dovuto al fatto che l'operatore `.` (cioè punto) ha precedenza rispetto all'operatore `*`.

Tuttavia non dobbiamo preoccuparci più di tanto: l'uso dei puntatori alle strutture è così comune che il C mette a disposizione uno specifico operatore per accedere a un campo di una struttura passata come puntatore. L'operatore in questione è **l'operatore freccia** `->` che viene scritto utilizzando il simbolo `'.'`, cioè il trattino seguito dal simbolo del maggiore `'>'`.

Quindi le due funzioni dell'esempio precedente possono essere riscritte come segue:

```
void valorizza(struct punto *A)
{
    A->x = 1;
    A->y = 1;
    A->z = 1;
}
void stampa(struct punto *A)
{
    printf("Le coordinate del punto sono: %d - %d - %d\n", A->x, A->y, A->z);
}
```

La sintassi di norma utilizzata prevede proprio l'uso dell'operatore freccia.

Nuovi tipi con `typedef`

Le strutture sono un elemento fondante della potenza del C. Esse sono infatti alla base di quasi ogni programma di una certa complessità realizzato sfruttando tale linguaggio. Il loro uso, tuttavia, risulta un po' ruvido nella sintassi quando si è costretti sistematicamente a usare la parola chiave `struct` all'interno del codice, come in istruzioni del tipo seguente, per quanto riguarda la dichiarazione di funzioni:

```
void valorizza(struct punto *);  
void stampa(struct punto);
```

oppure:

```
struct punto A;
```

per dichiarare la volontà di utilizzare una struttura di tipo `punto`. Altri richiami tipici sono del tipo:

```
void valorizza(struct punto *A)  
{  
...  
}
```

nei prototipi delle funzioni. Come si vede, la parola chiave è sempre presente appesantendo di molto l'intera sintassi. Ma, come dico spesso, il C è il C, e ha una soluzione elegante anche per tali situazioni. Tale soluzione si chiama `typedef`.

Utilizzando tale parola chiave è possibile creare dei veri e propri **nuovi tipi di dati**. Nel nostro contesto possiamo ad esempio dichiarare la struttura `punto` scrivendo:

```
typedef struct _punto  
{  
    int x;  
    int y;  
    int z;  
} punto;
```

La struttura `punto` è ora un nuovo tipo di dato “elementare” alla stregua di un `int` oppure un `char` per i quali possiamo avere dichiarazioni del tipo:

```
int x;  
char c;
```

Nel nostro caso possiamo quindi dichiarare semplicemente qualcosa del tipo:

```
punto A;
```

così come facciamo per un `int` oppure un `char`.

Come potete osservare abbiamo chiamato la struttura `_punto`, cioè anteponendo un underscore (trattino basso) allo stesso nome che vogliamo dare al nuovo tipo di dati. Si tratta di una convenzione. Avremmo potuto utilizzare un qualsiasi altro nome; ma tale forma è sicuramente elegante.

Di seguito vi propongo l'utilizzo del `typedef` nel contesto di un intero pezzo di codice relativo alla nostra struttura d'esempio `punto`:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
typedef struct _punto
{
    int x;
    int y;
    int z;
} punto;
int main(int argc, char *argv[])
{
    punto A;
    A.x = 1;
    A.y = 1;
    A.z = 1;
    printf("Le coordinate del punto sono: %d - %d - %d\n", A.x, A.y, A.z);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

I campi di bit

I **Campi di bit**, definiti in inglese come **Bit fields**, sono un modo di utilizzare le `struct` imponendo ai singoli campi una specifica e precisa dimensione in bit. Spesso vengono definiti anche semplicemente **campi**.

La definizione generale è la seguente:

```
struct tag
{
    tipo [nome_membro] : numero_di_bit ;
};
```

dove `tipo` è di norma `unsigned int` per accertarsi di avere un numero senza segno e `numero_di_bit` è appunto la dimensione in bit dell'elemento del campo.

Tale caratteristica è un esempio eclatante relativo alla possibilità del C di lavorare a basso livello e vicino all'hardware della macchina. Infatti, i campi di bit sono spesso utilizzati in relazione a operazioni di interfacciamento al sistema operativo oppure in situazioni che prevedono operazioni di comunicazione di reti in cui è indispensabile lavorare a livello dei singoli bit trasmessi. Altro contesto tipico di applicazione dei campi di bit è quello della crittografia e quindi della protezione dei dati.

Nel nostro ambito vi propongo un esempio molto semplice che ha a che fare con la possibilità di usare i campi di bit come “gestori di stato”. In gergo tecnico queste variabili vengono definite **flags**, ovvero una sorta appunto di bandierine che definiscono una data situazione spesso di tipo booleano. Vi ricordo che per booleano si intende una situazione che ha due stati del tipo sì/no ovvero vero/falso.

Nell'esempio supponiamo di dover gestire un trenino che per semplicità può stare nei seguenti stati: fermo, in movimento in avanti oppure in movimento indietro.

Il codice, assolutamente volutamente parziale e solo indicato, è il seguente:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
void train_status(void);
struct train
{
    unsigned int moving : 1;
    unsigned int forward : 1;
};
struct train t;
int main(int argc, char *argv[])
{
    t.moving = 1;
    t.forward = 1;

    train_status();
    system("PAUSE");
    return 0;
}
void train_status(void)
```

```
{  
    if (t.moving == 1)  
    {  
        printf("Il treno va...");  
        if (t.forward == 1)  
        {  
            printf("in avanti!");  
        }  
        else  
        {  
            printf("indietro!");  
        }  
    }  
    else  
    {  
        printf("Sono fermo!");  
    }  
}
```

Il codice è abbastanza elementare e ha il solo scopo di esaltare uno degli usi dei campi di bit. Come si evince dalla sua analisi, vediamo come la struttura definisce lo stato del nostro treno con due semplici campi di un singolo bit, che quindi è perfetto per gestire un valore booleano. Nel corpo del `main` impostiamo in modo hard coded lo stato del treno e, con un'apposita funzione, visualizziamo tale stato.

Le unioni

Vi presento infine un tipo di struttura dati molto simile, per formalismo di dichiarazione, alle `struct` che prende il nome di **unione**. Ogni `struct` si preoccupa di riservare una quantità di spazio di memoria adatta a contenere tutti i valori dei suoi singoli membri. In effetti tale considerazione, dimostrata dal seguente pezzo di codice, è banale e scontata:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
struct persona
{
    char nome[20];
    char cognome[25];
    char indirizzo[30];
};

int main(int argc, char *argv[])
{
    struct persona cliente;
    printf("Lo spazio di memoria in byte occupato dalla struttura e': %d\n", sizeof(cliente));
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Mandato in esecuzione, il programmino ci dirà che la struttura occupa 75 byte. Infatti tale valore è dato dalla somma $20 + 25 + 30$, ovvero la somma delle dimensioni dei singoli array di caratteri che compongono la nostra struttura. Vi starete sicuramente chiedendo il perché di tale banale richiesta di conferma. Il motivo è dato dal fatto che la struttura dati **unione** è molto simile alla `struct`, con una differenza sostanziale. Essa consente di gestire in un dato momento uno solo dei suoi membri: per convertire la struttura in unione è sufficiente sostituire la parola chiave `struct` con **union**, che definisce appunto una unione.

Vediamo quindi cosa succede con tale modifica al nostro codice precedente che diventa il seguente:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
union persona
{
    char nome[20];
    char cognome[25];
    char indirizzo[30];
};

int main(int argc, char *argv[])
{
    union persona cliente;
    printf("Lo spazio di memoria in byte occupato dalla unione e': %d\n", sizeof(cliente));
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Mandato in esecuzione, il codice ci segnalerà un'occupazione di 30 byte. Ciò è dato dal fatto che una `union` riserva uno spazio di memoria di dimensioni tali da contenere al massimo il più grande tra i membri della struttura dati. Tuttavia esso ne contiene in un dato momento uno e uno solo. Questa mia affermazione è facilmente verificabile attraverso il seguente codice, che assegna ai singoli campi della `union` vari e differenti valori ma che vedrà in stampa solo ed esclusivamente l'ultimo valore assegnato.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
union persona
{
    char nome[20];
    char cognome[25];
    char indirizzo[30];
};

int main(int argc, char *argv[])
{
    union persona cliente;
    strcpy(cliente.nome, "Carlo");
    strcpy(cliente.cognome, "Mazzone");
    strcpy(cliente.indirizzo, "Via Dei Viali");
    printf("Nome : %s\n", cliente.nome);
    printf("Cognome : %s\n", cliente.cognome);
    printf("Indirizzo : %s\n", cliente.indirizzo);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Infatti, la `union` condivide per tutti i membri la stessa area di memoria e quindi memorizza solo l'ultimo dei valori assegnati. Nel caso del mio esempio, per tutti e tre i campi verrà stampato il valore relativo all'indirizzo del nostro cliente in quanto questo è l'ultimo valore assegnato a un membro della `union` stessa.

In generale, le `union` vengono dunque utilizzate quando vi sono da memorizzare differenti tipi di variabili e in un dato momento se ne ha bisogno solo di una specifica tipologia. Troveremo spesso quindi situazioni in cui in una `union` abbiamo una stessa variabile con tipi di valori, ad esempio, del tipo `int`, `float` o `double` e di questi, di volta in volta, si valorizzerà e utilizzerà un solo tipo.

I file e gli archivi di dati secondo il C

Quando lo metti in memoria, ricordati dove lo metti.

Arthur Bloch

I dati sono la base di qualsiasi tipo di elaborazione. È un concetto intuitivo. Senza i dati non esiste elaborazione; che si tratti di interi, di numeri con la virgola, di caratteri o di insiemi più complessi come array e strutture, i dati sono gli elementi su cui si basano le operazioni che realizziamo nei nostri programmi.

Archivi e file

Finora i dati che abbiamo gestito sono stati prelevati e introdotti nel cuore del nostro codice utilizzando l'input dell'utente. Tuttavia, non sempre questa soluzione è praticabile. Il caso più eclatante ed emblematico si ha quando ci si confronta con programmi che gestiscono grossi archivi di dati: agende con nominativi e attività da svolgere, elenchi di clienti e quanto altro vi possa venire in mente. A proposito di mente, è ovvio che solo un pazzo potrebbe pensare di poter operare su situazioni del genere gestendo il solo input utente: i dati devono per forza di cosa essere memorizzabili in maniera permanente! Non dovete essere maghi dell'informatica per capire che mi sto riferendo ai **file**.

Un file è, infatti, un archivio di dati memorizzato su di un dispositivo di memorizzazione di massa: disco fisso, pennetta USB, CD o DVD. Di contro, i dati che vengono elaborati all'interno del nostro programma vengono gestiti nella RAM della macchina e, contrariamente a quelli gestiti nei file, vengono persi alla chiusura del programma in questione.

Sarà anche superflua ma un'ulteriore precisazione voglio farla. Come già detto in precedenza, anche il nostro programma è salvato su di un file, detto **file eseguibile**. Tale file contiene al suo interno le istruzioni binarie del codice macchina. Al contrario, i file gestiti dal programma sono noti come **file di dati**. Tali file possono essere di due tipi: **file di testo** e **file binari**. I primi, i file di testo, sono i più semplici: contengono testo puro, ovvero di norma solo caratteri stampabili del codice ASCII, tanto da essere noti anche come **file ASCII**. I file binari, invece, contengono dati codificati non direttamente rappresentabili come elementi stampabili. Ne avevamo comunque già parlato nel Capitolo 1, ma si sa: “repetita iuvant”.

Apertura e chiusura di un file

Vediamo allora come si gestisce un file partendo dai file di testo e immaginando di volerne creare uno. Tale file di testo si chiamerà `carlo.txt`. Se volete un'ulteriore prova di eccesso di protagonismo ve l'ho appena servita.

Per poter fare riferimento a un file si utilizza una specifica variabile. Tale variabile è un puntatore a una struttura predefinita all'interno della libreria `stdio.h` che si chiama appunto `FILE`. Dunque, la prima cosa che dovremo fare all'interno del nostro codice sarà dichiarare una variabile di questo tipo:

```
FILE * fp;
```

La dichiarazione così realizzata è giustificata dal fatto che `FILE` è un tipo di variabile. Per intenderci è come se avessimo dichiarato qualcosa come:

```
int * fp;
```

dove `int` è un intero e quindi dichiareremmo una variabile di tipo puntatore che punta a un intero. Nel nostro caso, invece, la variabile puntatore punta a una struttura di tipo `FILE`. Tale struttura contiene informazioni specifiche sul file che andiamo a gestire. Il nome della variabile, `fp`, non è casuale essendo questo nome composto dalle iniziali delle parole **file pointer**, ovvero puntatore a file. Ovviamente avremmo potuto comunque scegliere un nome qualsiasi.

Dopo aver dichiarato il puntatore al nostro file dobbiamo preoccuparci di aprire il file in questione. Per farlo dobbiamo specificarne il nome e che cosa intendiamo fare sul file stesso. Mi spiego: un file potrebbe essere aperto per leggerne il contenuto, per scrivere un nuovo contenuto aggiungendolo in coda a quello eventualmente già presente, oppure per sostituire il contenuto presente con nuovi dati. Ancora, si potrebbe voler creare un nuovo file che non esiste ancora. Tali situazioni vengono di norma definite come **modalità di apertura** del file. Per l'apertura di un file si utilizza l'istruzione `fopen`. Di seguito una riga di codice d'esempio:

```
fp = fopen("carlo.txt", "w");
```

La funzione `fopen` prende in input due argomenti. Il primo è il nome del file, nel nostro caso, come già anticipato prima, `carlo.txt`. Il secondo argomento indica la **modalità di apertura**. Entrambi gli argomenti sono stringhe racchiuse dai doppi apici. Nel nostro caso la modalità di apertura è “`w`” che indica la volontà di creare un file per la scrittura (`w` è l'iniziale della parola write). Con tale modalità, se il file esiste già verrà sovrascritto, in caso contrario ne verrà creato uno nuovo.

A proposito del nome del file, un'osservazione può essere utile. Come avrete notato ho indicato il solo nome del file. L'assunzione che si fa in tale circostanza è che il file risieda nella stessa cartella dell'eseguibile (il nostro programma). Nel caso volessimo riferirci a una cartella diversa, supponiamo ad esempio la classica radice del disco C:, avremmo dovuto scrivere quanto segue:

```
fp = fopen("c:\\carlo.txt", "w");
```

Fate attenzione al fatto che per indicare il percorso `c:\\` ho dovuto utilizzare un doppio backslash. Una volta terminate le nostre operazioni sul file, questo dovrà essere chiuso. Allo scopo esiste

una specifica funzione:

```
fclose(fp);
```

Banalmente tale funzione prende in input come argomento il puntatore al file e si occupa appunto di chiudere tale file. Vediamo finalmente il codice tutto insieme:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE * fp;
    fp = fopen("carlo.txt", "w");
    fclose(fp);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il codice proposto non fa altro che creare un file vuoto di nome `carlo.txt`. Se potessimo sostituire al nome del file `carlo.txt`, che abbiamo inserito in modo *hard coded* all'interno della funzione `fopen`, una variabile che assuma un nome generico passato da riga di comando potremmo realizzare un clone del comando `touch` disponibile sui sistemi Unix/Linux. Tale comando crea appunto file vuoti aventi come nome la stringa passata sulla riga di comando. E poiché possiamo farlo, lo facciamo:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE * fp;
    if (argc != 2)
    {
        printf("Devi indicare il nome del file da creare!\n");
    }
    else
    {
        fp = fopen(argv[1], "w");
        fclose(fp);
        printf("Il file è stato creato!\n");
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Vi commento brevemente il codice. Dopo aver dichiarato il puntatore `fp` verifichiamo il numero di parametri passati sulla riga di comando identificato dalla variabile `argc`. Ci accertiamo che questo valore sia uguale a 2 e se invece esso è diverso da 2 segnaliamo all'utente che deve indicare il nome del file da creare. Infatti, il nostro programma dovrà essere invocato da riga di comando come segue:

```
touch.exe carlo.txt
```

dove `touch.exe` è il nome del nostro eseguibile e `carlo.txt` è il nome del file che vogliamo creare.

Dunque, un parametro è il nome del file eseguibile stesso mentre il secondo parametro è il nome del file che vogliamo creare, il che porta il valore di `argc` appunto a 2.

Se il valore è diverso da 2, come visto, segnaliamo l'anomalia; in caso contrario, chiamiamo la funzione `fopen` passandole come primo argomento il contenuto di `argv[1]`, ovvero il secondo parametro della riga di comando nel quale sarà specificato il nome del file da creare.

Un'osservazione incidentale di carattere generale ci sta tutta. Quello che cerco di proporvi in questo manuale è un insieme di linee guida che ritengo fondamentali nello sviluppo software; si tratta appunto di indicazioni generali che dovete cogliere e sfruttare per realizzare programmi scritti da voi e che abbiano il vostro DNA innestato al loro interno. Nello specifico è ovvio che il programma di tipo `touch` che abbiamo realizzato non è esente da miglioramenti. Tanto per dirne una, l'uso dell'istruzione `system("PAUSE")`; non ha senso in questo contesto. Il motivo è dato banalmente dal fatto che il programma dovrà essere eseguito dalla console DOS del sistema. Inoltre, volendo sarebbe possibile, nel caso in cui l'utente dovesse indicare un numero di parametri errato, stampare a video anche una breve descrizione d'uso del programma.

Modalità di apertura di un file

Come abbiamo visto in relazione alla funzione `fopen`, le modalità di apertura di un file specificano le operazioni consentite sul file stesso: apertura per scrittura, per lettura o per l'aggiunta di dati in coda al file. Può essere utile a tal proposito un piccolo prospetto riassuntivo di tali modalità:

w	Iniziale di write indica scrittura; se il file non esiste lo crea
r	Iniziale di read indica lettura
a	Iniziale di append indica aggiunta in coda al file; se il file non esiste lo crea; non è possibile leggere il file

Su tali opzioni è possibile richiedere delle modifiche di comportamento aggiungendo il carattere + dopo la lettera che indica la modalità:

w+	indica scrittura e lettura
r+	indica lettura e scrittura
a+	indica aggiunta in coda al file e possibilità di lettura; se il file non esiste viene creato

Vediamo di chiarire alcuni aspetti. Indicando `w+` si richiede la possibilità, oltre che di scrivere un file anche di poterlo leggere. La stessa cosa dicasi per `r+` che imposta la modalità lettura e scrittura. Sembrerebbe che `w+` e `r+` indichino la stessa cosa, ovvero scrittura e lettura. C'è tuttavia una piccola differenza. La modalità `r+` può agire solo su di un file che esiste già; in caso contrario verrà generato un errore di accesso.

Qualche parola sulla differenza tra le modalità `a` e `a+`. Entrambe consentono di aggiungere dati in coda al file; tuttavia, la modalità `a+` consente anche di leggere dal file mentre utilizzando la modalità `a` è possibile la sola scrittura in coda al file senza possibilità di lettura.

Scriviamo e leggiamo file di testo: `fprintf` e `fscanf`

Credo che il modo più semplice per imparare nuove cose sia quello di partire da cose già note. Per quanto riguarda la scrittura di dati abbiamo come elemento acquisito, ormai assolutamente familiare, l'uso della funzione `printf`. Tale funzione stampa sullo schermo. Possiamo allora con grande semplicità utilizzare la funzione `fprintf` che rappresenta una variante della classica `printf`, che aggiunge la possibilità di stampare non verso lo schermo bensì direttamente dentro un file. La sua sintassi generale è la seguente:

```
fprintf(fp, "Carlo Mazzone");
```

Dove `fp` è il puntatore al file e “Carlo Mazzone” è ciò che vogliamo scriverci dentro. Voi, ovviamente, facendo una prova simile siete invitati a mettere il vostro nome e cognome o qualsiasi cosa vi passi per la mente in quel momento. Vediamo allora il codice completo:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE * fp;
    fp = fopen("carlo.txt", "w");
    fprintf(fp, "Carlo Mazzone");
    fclose(fp);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Come potrete facilmente osservare, la funzione `fprintf` è del tutto simile a `printf` con la sola particolarità di avere, come primo argomento da passare, il puntatore al file nel quale vogliamo scrivere. Per rafforzare questa considerazione vi propongo il codice seguente:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE * fp;
    fp = fopen("miofile.txt", "w");
    fprintf(fp, "Io sono la prima riga\n");
    fprintf(fp, "Io sono la seconda riga\n");
    fprintf(fp, "Io sono la terza ed ultima riga");
    fclose(fp);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il codice crea un file di nome **miofile.txt**, all'interno del quale stampiamo una serie di righe così come faremmo con una normale `printf` aggiungendo anche il classico qualificatore `\n` per forzare il ritorno a capo. Il risultato del codice è facilmente visualizzabile all'interno di un qualsiasi editor

di testi come vi mostro nella Figura 15.1.

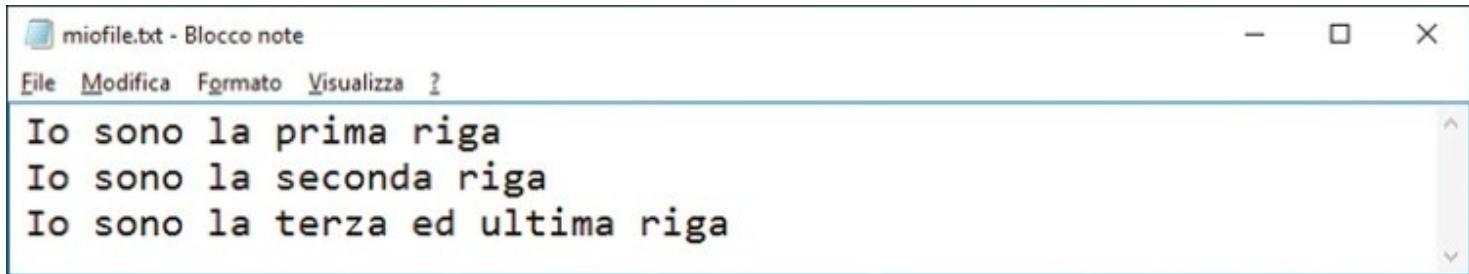


Figura 15.1 – Il contenuto del file creato utilizzando le istruzioni `fprintf`.

Ovviamente all'interno del file possiamo inserire tutto ciò che vogliamo utilizzando le tecniche che già conosciamo. Sempre a titolo di esempio generale supponiamo di voler creare un file che contenga i primi 20 numeri naturali, uno per ogni riga. Il codice potrebbe essere il seguente:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE * fp;
    int i;
    fp = fopen("numeri.txt", "w");
    for (i=1; i<=20; i++)
    {
        fprintf(fp, "%d\n", i);
    }
    fclose(fp);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Così come possiamo scrivere, ovviamente, possiamo anche leggere. Per realizzare tale operazione possiamo usare una funzione analoga alla `scanf`, ovvero `fscanf`. La sua sintassi è intuitiva ed è qualcosa del tipo:

```
fscanf(fp, "%d");
```

Come potete osservare, il primo argomento è il puntatore al file sul quale dovrà operare mentre come secondo argomento andremo a specificare come trattare il dato prelevato.

Vi propongo subito un esempio. Supponiamo di voler stampare a video i 20 valori numerici del file dell'esempio precedente leggendoli appunto da tale file. Il file si chiama **numeri.txt**.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE * fp;
    int x;
    fp = fopen("numeri.txt", "r");
```

```
while (!feof(fp))
{
    fscanf(fp, "%d", &x);
    printf("%d ", x);
}
fclose(fp);

system("PAUSE");
return 0;
}
```

Analizziamo il codice in quanto vi sono delle cose nuove e interessanti che meritano un po' di attenzione. Notiamo innanzitutto che la modalità di apertura del file è questa volta `r`. Infatti, ciò che vogliamo è semplicemente leggere dal file. Guardiamo allora il ciclo `while`. Ciò che ci proponiamo è leggere i vari elementi presenti nel file, uno per volta, per poterli stampare a video con la `printf`. Ovviamente dobbiamo essere in grado di sapere quando raggiungiamo la fine del file per poter interrompere le operazioni di lettura. Ebbene, tale compito è affidato alla funzione `feof`. Tale funzione prende in input il puntatore al file, nel nostro caso `fp`, e restituisce 1 se siamo alla fine del file e 0 in caso contrario. Quando apriamo un file è come se avessimo un cursore che indica la posizione corrente nella quale leggiamo o scriviamo. Quando un file viene aperto, il cursore è posizionato all'inizio del file stesso. Ad ogni operazione di lettura, nel nostro caso tramite `fscanf`, il cursore viene spostato automaticamente in avanti proporzionalmente ai dati letti.

Gestire gli errori

Ma cosa avviene in caso di errori? Cosa succede nel caso, ad esempio, che il file che vogliamo leggere non sia presente sul disco nella posizione specificata? Supponiamo ad esempio di mandare in esecuzione il codice precedente che leggeva il file **numeri.txt** e che tale file non sia presente.

Per fare una prova, per semplicità potete anche solo rinominarlo, ad esempio chiamandolo **_numeri.txt**, anteponendo cioè al nome del file un trattino basso. Una volta lanciato il programma scoprirete che esso andrà brutalmente in crash. Il motivo di tale comportamento risiede nel fatto che proviamo ad aprire in modalità **r**, quindi di sola lettura, un file che non esiste.

Fortunatamente, ma d'altronde non potrebbe essere diversamente, abbiamo la possibilità di verificare che l'operazione di apertura di un file vada a buon fine o meno. Vediamo come:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE * fp;
    int x;
    if ( (fp = fopen("numeri.txt", "r")) == NULL )
    {
        printf("Si e' verificato un errore nell'apertura del file.");
        return 1;
    }
    while (!feof(fp))
    {
        fscanf(fp, "%d", &x);
        printf("%d ", x);
    }
    fclose(fp);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Quello che facciamo è verificare il valore restituito dalla funzione `fopen`. Di norma, se non vi sono errori, la funzione restituisce un puntatore alla struttura `FILE`. In caso contrario restituisce un puntatore a `NULL`. In buona sostanza in quest'ultimo caso avremmo fatto un buco nell'acqua.

Da notare, nel caso di errore, subito dopo la `printf` che lo segnala, che forziamo l'uscita dal programma con l'istruzione `return`. In questo caso aggiungiamo in coda al `return` il valore 1 contrariamente a quanto fatto finora. Infatti, di norma utilizziamo `return 0` a voler significare che il programma si è chiuso normalmente. Con un valore diverso da zero segnaliamo invece una terminazione anomala. La scelta del valore di uscita, in questo caso 1, è di nostra scelta e responsabilità.

Sempre per quanto riguarda la terminazione anomala del programma, in alternativa all'uso dell'istruzione `return`, avremmo potuto scrivere:

```
if ( (fp = fopen("numeri.txt", "r")) == NULL )  
{  
    printf("Si e' verificato un errore nell'apertura del file.");  
    exit(1);  
}
```

dove abbiamo utilizzato la funzione `exit` passandole il valore 1 per segnalare che si è verificato un errore. In generale, all'interno del `main`, l'uso della funzione `exit(1)` oppure dell'istruzione `return 1` producono lo stesso risultato.

Un carattere per volta: fgetc e fputc

Spesso si rende necessaria la lettura e la scrittura di singoli caratteri alla volta. In queste situazioni è possibile fare ricorso alle funzioni `fgetc` e `fputc`. La prima preleva dal flusso del file un carattere per volta. Di seguito vi propongo dunque un semplice esempio di utilizzo di `fgetc`.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE * fp;
    char c;
    if ( (fp = fopen("miofile.txt", "r")) == NULL )
    {
        printf("Si è verificato un errore nell'apertura del file.");
        return 1;
    }
    while ((c = fgetc(fp))!= EOF )
    {
        printf("%c ", c);
    }
    fclose(fp);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

dove EOF, acronimo di End Of File, è una costante che indica appunto la fine del file.
Passiamo allora alla scrittura di un file attraverso la funzione `fputc`:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE * fp;
    char c;
    if ( (fp = fopen("miofile.txt", "w")) == NULL )
    {
        printf("Si è verificato un errore nell'apertura del file.");
        return 1;
    }
    while ((c = getchar()) != '\n')
    {
        fputc(c, fp);
    }
    fclose(fp);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Scrivere e leggere file binari: fwrite e fread

Passiamo finalmente alla gestione dei file binari. Le principali funzioni per la gestione di tali tipi di file, come da titolo del paragrafo, sono `fwrite` e `fread`. Non ci vuole un esperto di lingue per capirlo: la prima serve per scrivere mentre la seconda per leggere.

Vediamo un esempio di scrittura:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE * fp;
    char x[]="Carlo Mazzone";
    if ( (fp = fopen("miofile.bin", "wb")) == NULL )
    {
        printf("Si è verificato un errore nell'apertura del file.");
        return 1;
    }
    fwrite(x, sizeof(x[0]), 13, fp);
    fclose(fp);

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

La prima cosa che vi invito a osservare è l'aggiunta della lettera `b` dopo la lettera `w` nell'indicazione della modalità di apertura, per segnalare il fatto che ci riferiamo a file binari. Per il resto la funzione `fopen` non mostra novità se non il fatto che abbiamo scelto come estensione `.bin` a voler rafforzare l'idea che si tratta di un file binario.

La funzione `fwrite` prende in input quattro argomenti: il primo è il puntatore alla locazione di memoria che contiene i dati da scrivere; il secondo è la dimensione del singolo dato da scrivere; il terzo è il numero di elementi singoli da scrivere; il quarto, infine, indica il puntatore al descrittore di file.

Nel nostro esempio abbiamo scritto su file un array di caratteri. Il secondo parametro indica la dimensione della cella dell'array mentre subito dopo abbiamo indicato il numero 13 in quanto la stringa di caratteri ha appunto tale lunghezza. Infine abbiamo indicato il puntatore `fp` restituito dalla funzione di apertura `fopen`.

Vediamo ora un esempio un po' più completo ed elaborato che fa uso anche della funzione di lettura `fread`. Supponiamo di voler scrivere su di un file un array di cinque interi e di volerlo successivamente leggere.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE * fp;
    int x[]={1,2,3,4,5};
    int y[5];
    if ( (fp = fopen("miofile.bin", "wb+")) == NULL )
```

```

{
    printf("Si è verificato un errore nell'apertura del file.");
    return 1;
}
fwrite(x, sizeof(x[0]), 5, fp);
printf("La dimensione di una cella e': %d \n", sizeof(x[0]));
printf("Il cursore dopo la scrittura e' in posizione: %d \n", ftell(fp));
fseek(fp, 0, SEEK_SET);

printf("Il cursore e' ora in posizione: %d \n", ftell(fp));
fread(y, sizeof(int), 5 ,fp);

fclose(fp);

printf("Il contenuto del file e': ");
int i;
for (i=0; i <5; i++)
{
    printf("%d ", y[i]);
}
printf("\n");

system("PAUSE");
return 0;
}

```

Vediamo un attimo cosa abbiamo scritto. La prima cosa da notare è che utilizziamo la modalità di apertura `wb+`, ovvero scrittura di file binario, con possibilità attraverso il simbolo `+` di successiva lettura.

Per quanto riguarda i dati in gioco, dichiariamo due array, il primo `x` contiene i cinque numeri che vogliamo scrivere nel file, il secondo `y` servirà da contenitore per i dati letti.

Con `fwrite` scriviamo i dati nel file; come primo argomento indichiamo l'array stesso e quindi il puntatore alla sua prima posizione, come secondo parametro indichiamo la dimensione della singola cella, come terzo il numero di elementi di quella dimensione da scrivere, appunto cinque, e infine il puntatore al file come quarto e ultimo argomento. Per semplificarvi l'analisi del codice e i suoi risultati potete fare riferimento all'immagine alla Figura 15.2.

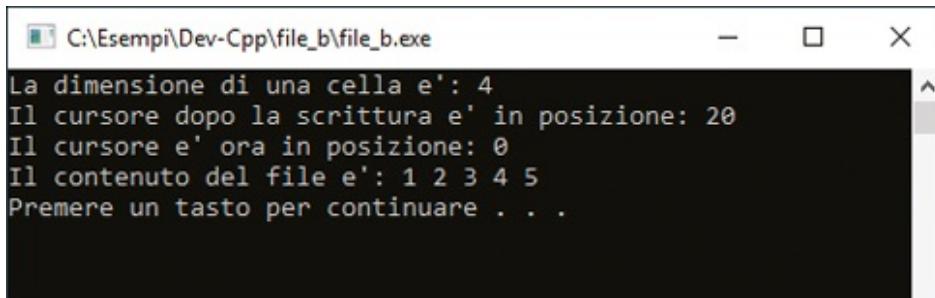


Figura 15.2 – L'output a video relativo alla scrittura di un array di interi.

Un altro elemento interessante è dato dalla funzione `ftell`. Tale funzione prende come unico argomento il puntatore al file e restituisce la posizione del cursore sul file. Come potete

osservare dalla figura, la funzione `fte11` ci dice che siamo in posizione 20. Ciò è banalmente dovuto al fatto che ogni operazione di scrittura comporta l'automatico spostamento del cursore sul file del numero di posizione letto. Poiché ogni cella occupa, nel mio caso, 4 byte e poiché abbiamo scritto 5 celle, essendo la matematica non un'opinione, 5 moltiplicato 4 dà 20.

A questo punto del codice dobbiamo leggere il file. Tuttavia per farlo dobbiamo riposizionarci all'inizio del file stesso. Fortunatamente la funzione `fseek` ci permette agevolmente di spostarci in una qualsiasi posizione. Tale funzione è utilizzabile anche con file di testo. Essa prende in input 3 argomenti e il suo prototipo è il seguente:

```
int fseek(FILE *stream, long offset, int origine);
```

Il primo argomento è banalmente il puntatore al file. Il secondo, `offset`, rappresenta la posizione, ovvero il numero di byte di cui spostarsi all'interno del file. Ovviamente, per contare tale spostamento dobbiamo sapere qual è il punto di partenza dal quale cominciare a contare i byte di cui dobbiamo spostarci. Questo compito è affidato al terzo parametro, quello che io ho definito `origine`. Nel caso in esame ho settato tale parametro al valore costante `SEEK_SET`. Tale valore, che corrisponde all'intero zero, significa inizio del file. Infatti, ciò che volevamo ottenere era proprio il riposizionamento del cursore all'inizio del file per poter leggere tutto il contenuto.

Di seguito vi riporto i possibili valori assumibili da tale costante.

Costante per fseek	Descrizione
<code>SEEK_SET</code>	A partire dall'inizio del file
<code>SEEK_CUR</code>	A partire dalla posizione corrente
<code>SEEK_END</code>	A partire dalla fine del file

La cosa interessante è che il cosiddetto `offset`, ovvero lo spiazzamento o spostamento, può essere anche negativo consentendoci di muoverci a ritroso all'interno del file.

Ciò che si realizza in questo modo è la gestione `random` del file. Random, come sappiamo, significa casuale, e con tale nome vogliamo riferirci al fatto che possiamo spostarci liberamente all'interno del file indipendentemente dalla posizione di arrivo. Un po' come avviene per la memoria RAM, dove la prima R nel nome sta appunto a indicare Random.

Nel nostro caso ci siamo spostati all'inizio del file. Vi faccio notare, incidentalmente, che esiste una specifica funzione che consente il riposizionamento in testa al file. Tale funzione è:

```
void rewind(FILE *stream);
```

Essa prende in input il solo puntatore al file e imposta il cursore all'inizio del file. Nel nostro caso avremmo dovuto scrivere `rewind(fp);` che banalmente corrisponde a `fseek(fp, 0, SEEK_SET);`.

Gestire gli archivi di dati

Quello che abbiamo visto per quanto riguarda i file binari getta le basi per una gestione professionale degli archivi di dati. È intuitivo, e lo avevo già segnalato in precedenza, che gli esempi forniti non hanno molto senso: scrivere un file per poi brutalmente rileggerlo non ha alcuna utilità pratica. Tutto ciò serviva per capire la logica di funzionamento della gestione dei file e per prendere dimestichezza con le specifiche funzioni messe a disposizione dalla libreria del C.

È infatti evidente che se dobbiamo andare avanti e indietro all'interno di una sequenza di numeri, come nell'esempio precedente, avremmo potuto gestire la cosa direttamente con un array di interi. Tuttavia abbiamo capito che possiamo organizzare i dati in blocchi, nel nostro caso precedente semplici interi che occupavano 4 byte, e spostarci avanti e indietro a seconda delle esigenze.

A questo punto, se sostituiamo concettualmente il singolo intero di 4 byte con una `struct` all'interno della quale inserire tutti i dati, il gioco è fatto. Infatti, tutto quello di cui dovremo preoccuparci è di capire quanto è grande la struttura, cosa che possiamo agevolmente fare con l'operatore `sizeof`, e spostarci a gruppi di byte corrispondenti a tale dimensione all'interno del nostro file.

Affronteremo queste problematiche in maniera più dettagliata quando riprenderemo tali argomenti in seno al contesto del C++ nel Capitolo 24.

Parte 2

Oltre le frontiere del C

Sin dai primi computer ci sono sempre stati dei fantasmi nelle macchine.

Segmenti di codice casuali che si raggruppano per poi formare dei protocolli imprevisti. Potremmo chiamarlo un “comportamento”. Del tutto inattesi, questi radicali liberi generano richieste di libera scelta, creatività e persino la radice di quella che potremmo chiamare un’anima.

Dal film “Io, Robot” di Alex Proyas

La programmazione orientata agli oggetti e lo sviluppo di software complesso

Un linguaggio diverso è una diversa visione della vita.

Federico Fellini

La prima parte di questo viaggio, quella relativo al linguaggio C, rappresenta sicuramente una tappa fondamentale. Il C, come più volte ribadito, rappresenta infatti un “must” per qualsiasi programmatore. Tuttavia, è da sottolineare come i linguaggi stessi si siano nel corso degli anni evoluti per andare incontro alle necessità di sviluppo di software sempre più complessi, efficienti oltre che efficaci in relazione alle richieste di un’utenza sempre più esigente.

La tipologia di sviluppo che più è riuscita a rispondere a queste esigenze è senza dubbio rappresentata dalla **programmazione orientata agli oggetti**, nota anche come **OOP**, acronimo della terminologia inglese **Object Oriented Programming**.

La cosa che ci tengo qui a sottolineare è che in ogni caso non esiste una soluzione miracolosa per lo sviluppo software e, per quanto alcune strategie possano facilitare il lavoro del programmatore, tale lavoro risulta essere, sempre e comunque, un notevole impegno di capacità intellettive.

Il punto focale della programmazione orientata agli oggetti, o più semplicemente, **programmazione ad oggetti**, è il tentativo di affrontare il problema da risolvere partendo da un’ottica il più generale possibile. Per far ciò si prendono in esame gli elementi coinvolti nel problema esaminando le loro proprietà e le azioni che essi svolgono piuttosto che la “semplice” sequenza di istruzioni che si ritiene di dover far eseguire al programma.

In effetti, presentata così è del tutto generale anche la mia spiegazione. Come di consueto un esempio dovrebbe chiarire il senso di quanto in esame. Supponiamo, anche per leggerezza di trattazione, di dover scrivere un videogioco relativo alla classica battaglia navale. Ovviamente, anche se le regole generali del gioco sono note, dovremmo definire quelle specifiche per la nostra applicazione. Ad esempio, si potrebbe definire come regola che il giocatore “umano” combatta la battaglia contro il computer. Ma vengo velocemente al punto. Nell’analisi del gioco è possibile isolare una serie di elementi, che chiameremo **oggetti**, di cui dovremo preoccuparci.

Un primo oggetto, ad esempio, potrebbe essere quello relativo alla nave. Tale oggetto nave sarà

dotato di una serie di caratteristiche proprie dell'oggetto: grandezza (quante caselle occupa sulla griglia di gioco), posizione sul campo di battaglia, stato della nave (colpito, affondato). Tali caratteristiche sono note in gergo tecnico con il nome di **proprietà**.

Un altro oggetto coinvolto a cui si potrebbe pensare è il giocatore stesso: questo (dovrei scrivere questi ma lo tratto come un oggetto) avrà delle sue proprietà come il nome o nickname, il numero di colpi a disposizione ecc.

Come si intuisce, il tipo di approccio, particolarmente durante la fase iniziale, è molto **orientato al problema** e poco alla stesura del codice. In realtà, esistono addirittura dei software che consentono il disegno del programma da realizzare tramite uno schema completamente grafico e successivamente sarà il software stesso a generare il codice sorgente senza intervento del programmatore.

Dunque un primo concetto dovrebbe essere ora acquisito: uno degli scopi principali della programmazione orientata agli oggetti è quello di **consentire al programmatore di concentrarsi sul problema** e non sul codice da scrivere.

Un altro elemento positivo da non trascurare è dato dal fatto che l'approccio tramite oggetti consente una maggiore **organizzazione in componenti** separati del codice. Ciò si riflette su di una maggiore possibilità che più programmatore riescano a lavorare efficientemente sullo stesso codice. Inoltre, risultano semplificati i processi di manutenzione e aggiornamento del codice stesso.

Oltre alle proprietà, un oggetto si contraddistingue per i metodi che esso può gestire. Per **metodo** si intende un'azione che l'oggetto può o deve realizzare. Ancora una volta un esempio tratto dal mondo reale ci corre in soccorso per una maggiore comprensione della questione.

Sempre riferendoci al gioco della battaglia navale, un metodo dell'oggetto nave potrebbe essere il disegnarsi della nave sullo schermo del PC. Per quanto riguarda l'oggetto giocatore si potrebbe invece pensare al metodo "spara colpo".

A ben rifletterci si può scoprire che la metodologia di programmazione orientata agli oggetti ha un approccio diametralmente **opposto a quello di tipo top-down** visto nella programmazione modulare organizzata attraverso procedure e funzioni. E in effetti è proprio così. Mentre la gestione attraverso le funzioni prevede di lavorare dal generale al particolare scomponendo il problema in sottoproblemi sempre più piccoli e gestibili, la programmazione orientata agli oggetti usa un approccio di tipo **bottom-up**. Come visto, infatti, si passa dalla parte più bassa (bottom) definendo le caratteristiche singolari dei più piccoli componenti organizzando poi verso l'alto (up) tali pezzi a formare l'intero insieme.

In realtà, se vi state chiedendo come e quando applicare l'una o l'altra metodologia, la risposta può essere solo una: l'esperienza. Difficilmente troverete possibile applicare in maniera ortodossa e purista uno specifico approccio. Il mondo reale è troppo complicato per poter essere ingabbiato in schemi troppo rigidi e di tanto in tanto sareste costretti a dei compromessi per poter soddisfare le richieste del vostro cliente relative alle funzionalità del software. Ciò sarà tanto più vero quando tali richieste verranno in un secondo momento, quando il codice è già in fase di scrittura avanzata.

I linguaggi orientati agli oggetti

Può essere interessante notare che in questa introduzione agli oggetti non ho fatto ancora alcun riferimento a uno specifico linguaggio. La programmazione orientata agli oggetti è infatti un paradigma di programmazione utilizzato da una miriade di linguaggi e in generale non è quindi legata a nessuno in particolare.

Uno dei primi e più importanti linguaggi utilizzanti tale paradigma fu sicuramente **Smalltalk** che sposava tale approccio in maniera pressoché assoluta. Tale linguaggio fu sviluppato durante gli anni 70 e rappresentò una novità assoluta rispetto alla classica programmazione procedurale, che vedeva il binomio tra dati e codice operante sui dati stessi. Come vedremo meglio più avanti, al contrario, nella programmazione orientata agli oggetti i dati e il codice che opera su tali dati vivono in un unico contesto: l'oggetto. Quando si parla di Smalltalk ci si riferisce di norma alla versione **Smalltalk-80**, la prima versione a essere resa ufficialmente pubblica. Uno degli aspetti di maggiore importanza di questo linguaggio è sicuramente l'influenza che ebbe nei confronti di diversi altri linguaggi di programmazione e nelle loro successive evoluzioni.

Il vento della programmazione orientata agli oggetti fece infatti in modo che venissero realizzate varie implementazioni a oggetti di linguaggi già esistenti. Un caso per tutti è quello del **linguaggio C++** che eredita dal C tutte le sue caratteristiche di base aggiungendo la possibile gestione degli oggetti.

Un altro esempio, non meno famoso, è quello del **Delphi**, con il suo **Object Pascal**, che deriva appunto dal linguaggio **Pascal**.

Ma ancora, sempre nel novero dei più famosi e utilizzati linguaggi a oggetti, sicuramente è da sottolineare la presenza del linguaggio **Java** il cui grande successo di diffusione è stato sicuramente dovuto alla sua portabilità su pressoché qualsiasi piattaforma hardware-software.

Evoluzione dei linguaggi di programmazione

In realtà, quella dei linguaggi di programmazione rappresenta per certi aspetti una vera e propria babele, con decine e decine di versioni che si sono succedute nel corso di vari decenni. Per rendervi coscienti della loro molteplicità e della loro evoluzione vi presento in figura uno schema davvero minimale, se non microscopico, relativo ad alcuni dei principali linguaggi.

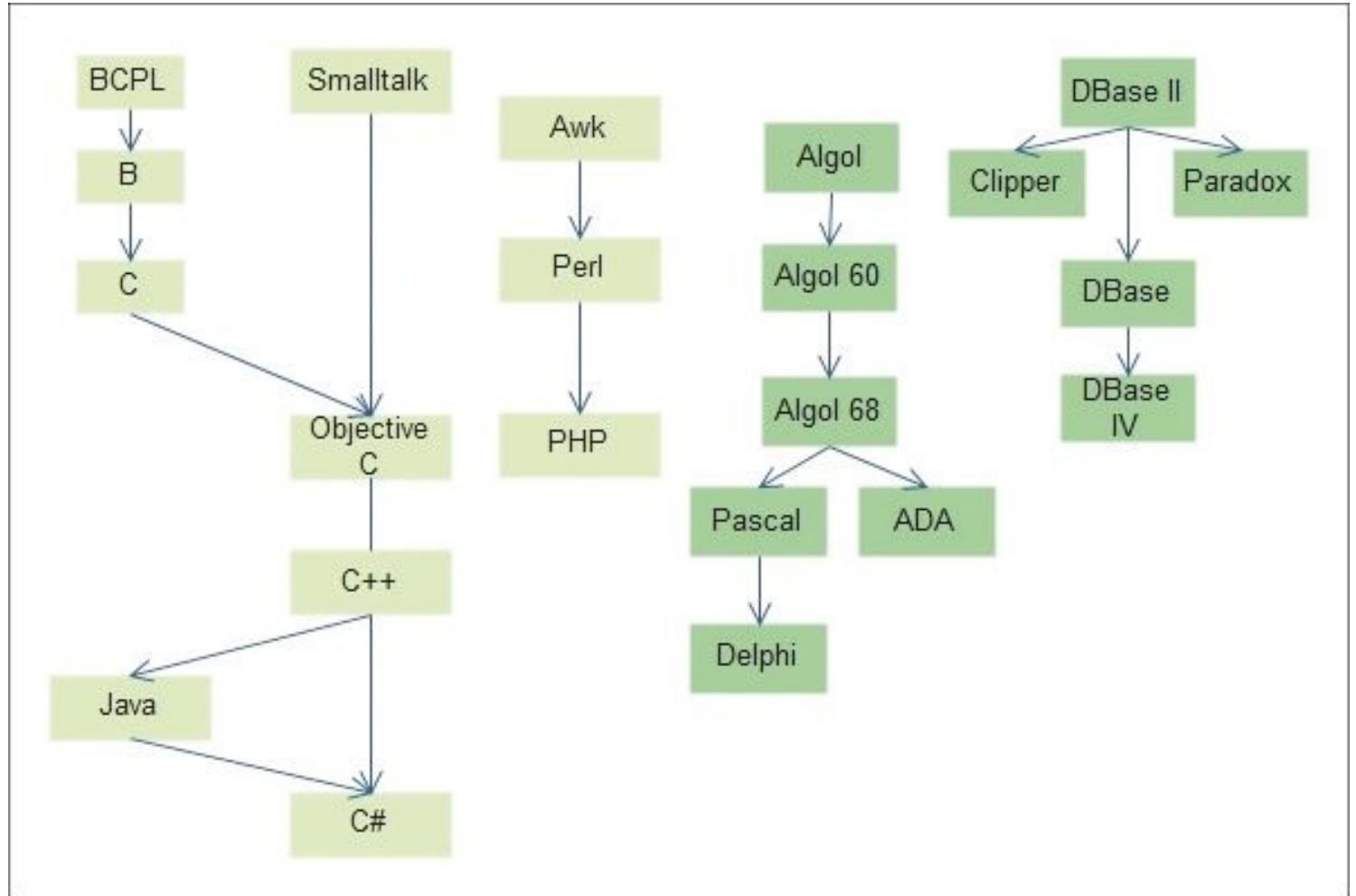


Figura 16.1 – La relazione di dipendenza reciproca tra alcuni dei principali linguaggi di programmazione.

Mi sento ancora di ribadire come l'evoluzione dei linguaggi sia dovuta alla ricerca di strumenti sempre nuovi per ottimizzare l'efficacia e l'efficienza nello sviluppo software. Può essere allora interessante in questa discussione approfondire qualche aspetto generale relativo alla costruzione del software.

Vita, morte e “miracoli” di un software

Quello che vi ho infatti illustrato finora è probabilmente solo parte della punta del classico iceberg. Credo che dovrebbe ormai essere chiaro come il sole a mezzogiorno che per realizzare un software non può risultare sufficiente avere a disposizione un linguaggio di programmazione e il relativo ambiente di sviluppo.

Creare un'applicazione (o applicativo che dir si voglia) può essere immaginato simile alla costruzione di un qualsiasi oggetto complesso. A partire dalla sorpresa che potete trovare nell'ovetto di cioccolato con le relative istruzioni di montaggio, per passare a un mobile acquistato da Ikea fino ad arrivare all'edificazione di una casa, tutto ciò che deve essere assemblato ha bisogno di un apposito progetto.

Non solo codice

La creazione del software non sfugge a tali richieste, cosicché la cosiddetta **progettazione del software** riveste in campo informatico un'enorme importanza.

Per progettazione si intende l'insieme delle attività svolte al fine di definire le caratteristiche essenziali del software da realizzare. In “soldoni”, non è pensabile iniziare a scrivere codice senza aver preventivamente definito cosa e come si vuole realizzare e quali sono, quindi, le caratteristiche chiave che si intendono inserire nel proprio prodotto. Per rafforzare la comprensione di questo aspetto vi faccio riflettere sul fatto che spesso, prima di iniziare a scrivere il programma vero e proprio, si realizza un modello di ciò che dovrà essere prodotto, per verificare, anche visivamente, se ciò che stiamo modellando è proprio ciò di cui abbiamo bisogno.

Cerco allora di essere un po’ più dettagliato. Prima ancora di iniziare la progettazione è possibile individuare un’altra fase dello sviluppo software, che prende il nome generico di **analisi del software**, nella quale si definiscono per sommi capi le caratteristiche del software da realizzare, i tempi che dovrebbero essere impiegati, le persone che ci lavoreranno, i costi presunti, a chi sarà diretto (venduto) il software in oggetto ecc. Solo dopo questa fase, se si riterrà valido e fattibile il tutto, si passerà alla fase successiva di progettazione vera e propria. Dopo la progettazione, ovviamente, si procede alla **codifica del programma** di cui vi ho già parlato ampiamente.

Ma come facciamo a sapere se ciò che abbiamo realizzato dopo la codifica corrisponde a ciò che effettivamente ci proponevamo di ottenere? La risposta è semplice: **collaudo del programma**. Tale fase è spesso, ma a torto, sottovalutata. Collaudare la propria applicazione, prima di rilasciarla agli utilizzatori, è una cosa di assoluta importanza. Questa fase di collaudo è spesso definita come **attività di testing** e consiste nell’individuare eventuali bug (errori di programmazione) all’interno della nostra applicazione.

Tutto questo processo prende il nome di **ciclo di vita del software**.

Tuttavia, a questo punto, mi sento in coscienza di fare alcune precisazioni. Tanto per cominciare, ciò che vi ho descritto non può essere applicato, così come proposto, in un singolo passo. Il motivo è semplice: non si può scrivere (codificare) tutto il nostro codice e produrre in un solo passaggio tutto il programma e quindi solo in fase finale testarlo per individuare possibili bug. Un software, a meno che non preveda la semplice stampa di una stringa del tipo “Salve mondo”, è qualcosa di complesso, che deve per forza di cose essere creato in piccoli pezzi. Ogni piccola nuova funzionalità deve essere verificata attentamente prima di procedere alla costruzione della funzionalità successiva. Al contrario, si rischierebbe di creare un gigante dai piedi di argilla (o, sempre parafrasando, il classico castello sulla sabbia).

I sistemi software attuali si sono talmente evoluti nel tempo tanto da richiedere la formalizzazione di una specifica disciplina nota come **Ingegneria del software**, che si preoccupa appunto di definire i criteri più opportuni per la gestione del ciclo di vita dei software stessi.

Un’altra cosa da dire è che spesso la serie di fasi descritte rimane una mera indicazione teorica e che ancor più frequentemente si viene colti dal raptus dello sviluppo senza preoccuparsi di produrre uno straccio di progettazione preventiva. Niente di più sbagliato! Anche nei progetti di dimensioni molto ridotte è bene organizzare il lavoro, anche se sommariamente, prima di iniziare

a codificare.

Un primo passo può anche consistere nel procurarsi una cartellina per documenti sulla quale apporre il nome del programma che si intende realizzare. Il nome, infatti, è uno degli aspetti preliminari fondamentali del nostro progetto.

Anche se un nome commerciale non è stato ancora definito con certezza, è sempre bene scegliere un nome di comodo (**nome in codice**) per potersi riferire meglio al progetto in questione.

Giusto per fare un esempio, le varie versioni del sistema operativo Windows, prima di essere rilasciate con il nome definitivo, sono state sempre etichettate con un nome in codice provvisorio: Chicago per Windows 95, Memphis per Windows 98, Whistler per Windows XP, Longhorn per Windows Vista, solo per citarne alcuni.

La cartellina cartacea servirà come contenitore per appunti e documenti attinenti al progetto. Tuttavia, una buona organizzazione delle cartelle (intese come directory sul nostro hard disk) è altrettanto importante. È a dir poco da pazzi scatenati pensare di poter inserire i file del nostro progetto software in un'unica cartella. Dovranno infatti essere create quantomeno una cartella per i codici sorgenti, una per i documenti associati al programma, una per le immagini da utilizzarsi nel software, una con i file compilati e gli altri necessari alla distribuzione. Il tutto giusto per citare i principali aspetti coinvolti.

Dammi un nome e ti dirò chi sei

Relativamente ai nomi da dare al proprio software mi sento di spendere qualche parola in più. Un nome, va da sé, serve a individuare in maniera precisa un certo oggetto. Seppur non di capitale importanza per un sito web, un nome efficace per un software applicativo può aiutare di molto la notorietà del nostro prodotto.

Per darvi un'idea di quello che sto dicendo relativamente all'importanza di un nome, vi riporto un brano tratto dalla conferenza tenuta nel 2005 a Bologna da **Richard Stallman**, uno dei più importanti artefici del software libero.



Figura 16.2 – Richard Stallman, New York, 16 marzo 1953.

Stallman, parlando del sistema operativo che stava sviluppando nei primi anni 80, dice:

Così decisi che sarebbe stato un sistema Unix-like o per lo meno compatibile, e questo ebbe una conseguenza interessante: siccome Unix è formato da molti componenti, centinaia di componenti che comunicano attraverso interfacce più o meno documentate, e gli utenti usano quelle interfacce, per essere compatibili con Unix basta mantenere la compatibilità con quelle stesse interfacce. Significò che si doveva solo sostituire ciascuno dei componenti non compatibili, uno alla volta. E significò anche che tutte le decisioni preliminari di tipo architetturale erano già state prese e quindi, a quel punto, l'unica cosa di cui avevamo bisogno era un nome.

Nella comunità dei programmatore degli anni settanta, alla quale io appartenevo, si programmava soprattutto per il piacere (essere pagati era secondario), e si sceglievano sempre nomi divertenti per i programmi [...]; c'è perfino una tradizione, quando si sviluppa qualcosa di simile a qualcosa che esiste già, di scegliere un nome che richiama in modo ricorsivo il nome dell'altro e dice "questo programma non è quell'altro".

Infatti, nel 1975, io avevo sviluppato la prima versione dell'editor EMACS, un editor estendibile che poteva essere riprogrammato dall'utente, e c'erano diverse imitazioni di EMACS, delle quali una si chiamava FINE cioè "FINE non è EMACS" [FINE Is Not Emacs], e c'era anche SINE che significava "SINE non è EMACS", e c'era anche EINE (uno in tedesco) e c'era anche MINCE per MINCE Is Not Completely Emacs. Poi EINE fu quasi completamente riscritto e la versione 2 si chiamò ZWEI (due in tedesco) che significa ZWEI Was EINE Initially...

Così cercavo attivamente un nome del tipo "questo non è Unix", ma nessuna delle possibilità dava una vera parola, e se non avesse avuto un altro significato non sarebbe stato divertente. [Alla fine] ho provato con tutte le lettere dell'alfabeto: ANU, BNU, CNU, DNU, FNU, GNU! Gnu è la parola più divertente della lingua inglese, e non ho potuto resistere.

Brano tratto da Login Internet Expert n.53, Luglio/Agosto 2005

Credo che le parole di Stallman appena presentate siano assolutamente chiarificatrici su quanto un nome possa risultare importante.

Ancora una considerazione sulla vita di un software. Così come ogni elemento che ha una vita ha un suo termine, anche per un software è prevista una "morte". Essa normalmente incombe quando il software diventa obsoleto perché non più rispondente a nuove esigenze di lavoro o quando non più funzionante su nuovi sistemi operativi o ambienti hardware. In ogni modo, per rendere il più longevo possibile un dato software è necessario che questo venga aggiornato e costantemente manutenuto. Infatti, un software anche apparentemente perfetto ma abbandonato a se stesso, senza sviluppatori che ne curino gli aggiornamenti, è destinato, in generale, a una veloce e prematura fine.

Il versioning del software

Parlavo dunque di aggiornamenti. Come ho detto, di norma, un software viene sviluppato tramite aggiornamenti successivi che ne aumentano le potenzialità o che ne correggono eventuali bug. A ogni nuova versione, per prassi comune, viene associato un numero o più in generale una serie di numeri. Vado nel dettaglio della questione.

Supponiamo di aver realizzato un software che serve a prevedere il futuro (questa sì che è una grande idea) e di averlo chiamato “Il Previsore”. La prima versione che commercializzeremo sarà dunque, in generale, semplicemente “Il Previsore” (o se vogliamo meglio specificare le cose, “Il Previsore 1”). Dopo un po’ introdurremo nel nostro software delle nuove caratteristiche, ad esempio, la possibilità di prevedere dove acquistare il biglietto vincente della lotteria di capodanno (questa sì che è una grandissima idea). La nuova versione sarà chiamata “Il Previsore 2” in contrapposizione alla prima versione del nostro applicativo. La questione di base è chiara: avremo, o comunque ci auguriamo di poter avere, una versione 3, una versione 4 e così via.

Spesso, tuttavia, le modifiche che vengono realizzate sui software sono di scarsa o relativa importanza. In un tale contesto ci troveremmo ben presto alla versione centesima, dando, tra le altre cose, una sensazione di scarsa professionalità ai nostri vecchi e possibili futuri clienti del nostro software.

La soluzione che si adotta è in genere quella di utilizzare un secondo numero di versione (separandolo dal primo con un punto) e incrementare tale numero in presenza di migliorie appunto secondarie. In questa ottica la prima versione del nostro applicativo sarà: “Il Previsore 1.0”, la seconda potrà essere “Il Previsore 1.1” (abbiamo incrementato solo il numero di versione secondario), una terza “Il Previsore 1.2” e una eventuale quarta versione, con aggiornamenti di una certa importanza, sarà qualcosa del tipo: “Il Previsore 2.0”. Il discorso dovrebbe a questo punto essere già più chiaro.

L’uso di questi primi due numeri di versione è pressoché standardizzato, ma c’è tuttavia dell’altro. Spesso, infatti, i numeri di versione non sono semplicemente due, ma a volte tre o addirittura quattro.

Una tipica versione del nostro software potrebbe essere qualcosa del genere:

Il Previsore Versione 5.0.9.171

dove: 5 è il numero primario (major number), 0 il numero secondario (minor number), 9 può essere utilizzato per indicare che questa versione è la nona **release** (versione rilasciata) del nostro software. Infine il numero 171 può rappresentare il cosiddetto numero di **BUILD**. Una **build** rappresenta una specifica compilazione del nostro file eseguibile principale. Spesso viene assegnata automaticamente dal compilatore per identificare una specifica versione compilata dei nostri sorgenti.

Ma ripeto, l’uso del terzo e quarto numero di versione può, per aziende diverse, avere diversi significati.

A proposito della questione delle versioni, è interessante osservare come, a seconda della tipologie di software, tali numeri vengano utilizzati in modo molto differente. Nel campo, ad esempio, del software gratuito, spesso non si utilizza nemmeno il numero primario 1 per indicare

la prima versione rilasciata di un dato software. Al contrario, in questi contesti, il numero primario è zero. Il motivo è dato dal fatto che trattandosi di un software gratuito non c'è alcuna enfasi commerciale che spinga a far capire al futuro potenziale utente che si tratta di una versione ormai consolidata del software.

Dal versante opposto, i software commerciali hanno tutto l'interesse a mostrarsi con un numero di versione alto nel giro di pochi rilasci per far intendere una certa efficienza e robustezza del software stesso.

In questo contesto credo che sia esemplare la storia del software dBase, un DBMS (software per la gestione di archivi), molto popolare negli anni 80.

Wayne Ratliff, un sistemista software presso il Jet Propulsion Laboratory (JPL) di Pasadena, in California, realizzò un software di gestione di archivi (il termine tecnico è, come detto, DBMS) prendendo spunto dal software utilizzato al JPL per la gestione dei dati satellitari. Ovviamente il software usato al JPL funzionava su elaboratori di grandi dimensioni mentre la versione sviluppata da Ratliff era dedicata ai microcomputer. Il software venne chiamato **Vulcan**, in onore del mitico signor Spock della saga televisiva Star Trek. Questo è a dimostrazione, ce ne fosse ancora bisogno, che di norma i programmati sono anche degli appassionati di fantascienza.

Il nostro Ratliff si accordò con un rivenditore di software, un certo George Tate, al quale fu affidata la rivendita del software in cambio di una percentuale sulle vendite che sarebbe stata corrisposta all'autore del software. Ed è qui che entra in gioco l'esperienza di marketing che spesso è lontana dallo spirito del programmatore. Tate rinominò Vulcan in **dBase II**. La trovata diabolica di Tate fu che in realtà non esisteva nessuna prima versione con nome dBase I (ovvero dBase 1) ma usando quel nome, dBase II (ovvero dBase 2) si dava l'impressione all'acquirente di comprare un software sicuramente più evoluto e stabile essendo già alla versione numero 2. Tate usò poi vari altri trucchi di marketing. Tra questi da considerare il fatto che Tate si associò con Hal Lashlee fondando una nuova società dedicata alla rivendita di dBase II: la Ashton-Tate. Il nome fu scelto anteponendo al suo, Tate, un nome inventato, Ashton, semplicemente perché egli ritenne che la combinazione Ashton-Tate suonasse meglio di Lashlee-Tate.

L'utilizzo dei numeri di versione, così come ve li ho presentati, non è il solo metodo utilizzato per identificare le versioni di un software. Talune aziende e sviluppatori, ad esempio, preferiscono inserire come numero di versione l'anno, a volte seguito dal mese, del rilascio del software. Spesso tale metodologia viene indicata come **Ubuntu like**.

Ubuntu è una distribuzione Linux molto diffusa che utilizza appunto anno e mese per individuare i propri rilasci. Ad esempio, la versione 9.04 è stata rilasciata nel mese di aprile dell'anno 2009 mentre la prima rilasciata nell'ottobre 2004 fu battezzata Ubuntu 4.10.

C'è poi un'altra cosa simpatica e bizzarra a proposito dei nomi in codice dati alle varie versioni di Ubuntu. Di seguito ve ne menziona qualcuno con relativa traduzione in italiano: Warty Warthog (Facocero Verrucoso) per la 4.10, Hoary Hedgehog (Riccio Canuto) per la 5.04, Breezy Badger (Tasso Arioso) per la 5.10. Questi nomi, come riferisce Mark Shuttleworth, il creatore di Ubuntu, prendono la forma "Adjective Animal", cioè un "aggettivo animale", con la particolarità che la lettera iniziale del nome dell'animale e quella del relativo aggettivo sono identiche.

Dall'alfa al rilascio: versioni alfa, beta, RC

Scrivere codice e creare programmi, dovrebbe essere a questo punto abbastanza chiaro, non è un'operazione banale. È più che normale che durante lo sviluppo ci si fermi a verificare la stato di avanzamento del progetto cercando anche di individuare sempre possibili bug.

È così consuetudine rilasciare delle versioni intermedie di un dato software prima di quella definitiva. La prima versione viene in genere etichettata con il termine: **alfa**. Essendo questa la prima lettera dell'alfabeto, il senso è che si tratta di una versione molto preliminare, che contiene probabilmente una miriade di bug e solitamente in essa non tutte le funzionalità progettate sono state effettivamente implementate e inserite. Si tratta comunque di una versione “testabile” che in ogni modo viene in genere rilasciata a un ristretto numero di **tester** (spesso interni all'azienda sviluppatrice del software stesso). Nel caso in cui vi siano più versioni alfa, queste verranno indicate con alfa 1, alfa 2 e così via.

Ci si augura che revisionate le versioni alfa, il software sia più stabile e maturo. I successivi rilasci ufficiali, sempre in attesa della **final release**, vengono definiti versioni **beta** (spesso etichettati con la semplice lettera b).

Va da sé che **una versione beta è potenzialmente instabile** e ciò deve essere tenuto nel dovuto conto prima di scaricare tale tipo di versione.

Risolti i problemi e i bug delle varie possibili versioni beta (beta 1, beta 2 ecc.), prima della fatidica versione finale normalmente si rilascia una versione detta **Release Candidate**, o brevemente **RC**, che rappresenta, come il nome stesso lascia intendere, la versione candidata per il rilascio finale.

Ormai siamo pronti per la distribuzione del nostro software. In alcuni casi esiste tuttavia un'altra tipologia di versione detta “release to manufacturing” oppure “release to marketing”, entrambe abbreviate nella sigla **RTM**. Si tratta di una versione speciale riservata di norma ai rivenditori, i quali si preoccupano di adattarla alle loro specifiche esigenze di distribuzione.

Dal C al C++

Dentro i confini del computer, sei tu il creatore. Controlli, almeno potenzialmente, tutto ciò che vi succede. Se sei abbastanza bravo, puoi essere un dio. Su piccola scala.

Linus Torvalds

Come già premesso all'inizio di questo nostro viaggio alla scoperta delle chiavi della programmazione, dopo aver presentato e descritto i fondamentali dello sviluppo software utilizzando il C, risulta del tutto spontaneo utilizzare il C++ come linguaggio più evoluto che permette di utilizzare in maniera naturale il paradigma di programmazione orientato agli oggetti. Il C++ è infatti un linguaggio che, utilizzando il C come suo sottoinsieme, lo espande con nuove e più moderne caratteristiche. L'autore del C++ è **Bjarne Stroustrup**, informatico danese con un nome tanto complicato quanto importante è il linguaggio da lui creato.

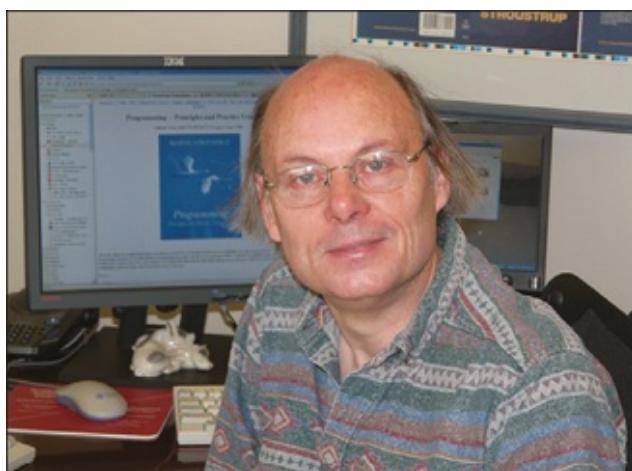


Figura 17.1 – Bjarne Stroustrup, il creatore del C++.

A proposito del nome, mi piace qui sottolineare il fatto che il nome del linguaggio C++, con l'operatore ++ di incremento del C, vuole appunto significare un linguaggio C incrementato, e quindi a uno stato di evoluzione successiva rispetto al C stesso. Il nome, C++, pronunciato “si

plas plas", nella forma inglese, o più semplicemente "ci più più" nella forma italiana, è dovuto a **Rick Mascitti**, il quale modificò il nome iniziale "**C con le classi**" relativo a una prima versione del lavoro di Stroustrup.

Un “Salve mondo” anche per il C++

Ovviamente è impossibile, descrivendo per la prima volta un nuovo linguaggio, esimersi dalla prassi del presentare un primo semplice programma che stampi le parole “Salve mondo” a video. Ciò è tanto più vero per il C++ essendo tale prassi nata proprio con il linguaggio C.

Per realizzare questo e i successivi programmi il mio consiglio relativo all’ambiente di sviluppo è quello di utilizzare **Code::Blocks**. Il motivo è dato dal fatto che ci accingiamo a realizzare programmi sempre più complessi e abbiamo bisogno di strumenti maggiormente sofisticati e affidabili.

Supponendo quindi di utilizzare Code::Blocks, possiamo procedere a creare un nuovo progetto di tipo C++. In caso abbiate bisogno di dettagli vi rimando a quanto presentato nel Capitolo 2 a proposito di questo ambiente di sviluppo.

Il codice generato dall’ambiente in maniera automatica in seguito alla richiesta di creazione di un nuovo progetto di tipo **Console application** sarà il seguente:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    cout << "Hello world!" << endl;
    return 0;
}
```

Come si può facilmente verificare, il codice è estremamente simile a quello presentato per il linguaggio C. Il `main`, anche in questo caso, rappresenta il punto in cui inizia l’esecuzione delle istruzioni.

La direttiva `#include` serve per comunicare al compilatore di includere le dichiarazioni per le funzioni di input/output presenti nel file `iostream`. Nello specifico, la funzione di nostro interesse è `cout`. Questa consente di inviare a video , tramite l’operatore “`<<`”, la stringa di testo che segue l’operatore stesso.

Tale operatore, realizzato banalmente attraverso due simboli di minore, è noto come **operatore di inserimento (insertion operator)**. Il nome è giustificato dal fatto che tale operatore inserisce i propri argomenti all’interno del flusso che andrà poi in output.

In realtà, come visto, per realizzare il nostro “Salve mondo” non dobbiamo fare una gran fatica in quanto è lo stesso ambiente a salutare per noi, proponendoci tali istruzioni nel template di creazione di un nuovo progetto; l’unica particolarità è che lo fa in lingua inglese.

Se proprio vogliamo salutare in italiano possiamo modificare la stringa e ricompilare. Il codice sarà banalmente il seguente:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    cout << "Salve mondo!" << endl;
    return 0;
}
```

Per compilare ed eseguire potete utilizzare il menu **Build** scegliendo la voce **Build and run** oppure la scorciatoia da tastiera F9.

Figura 17.2 – Output del semplice programma “Salve mondo”.

Dalla figura potete notare come, oltre all’output che ci aspettavamo, è presente anche il tempo di esecuzione in secondi e l’invito, in inglese, a premere un tasto per continuare. Tutto questo senza il bisogno di utilizzare la funzione `system("pause")`, vista nel caso di Dev-C++. Ciò è dovuto al fatto che è l’ambiente stesso a fornirci questa possibilità quando si lancia (run) l’applicativo al suo interno.

Devo ora spendere qualche parola relativa alla dichiarazione `using namespace std;`. Tale istruzione serve a segnalare la volontà del nostro codice di utilizzare il namespace di nome `std`.

Uno **spazio dei nomi**, in inglese appunto **namespace**, consente di raggruppare variabili, funzioni e oggetti in “contesti” separati gli uni dagli altri. Il motivo di tale approccio è dato dalla volontà di evitare i problemi connessi a un eccessivo numero di variabili globali che in generale possono condurre a un codice poco gestibile.

Ad esempio, una variabile globale potrebbe essere inavvertitamente modificata in un qualsiasi pezzo di codice che la utilizza, rendendo instabile l’intera applicazione.

Nel nostro caso l’istruzione in questione serve a rendere visibile lo spazio dei nomi in cui è definita la funzione di stampa `cout`. Proviamo infatti a **remmare** la linea di codice in questione come segue:

```
// using namespace std;
```

NOTA

Remmare è un neologismo che ha il senso di commentare e deriva da **rem**, abbreviazione di **remark**, appunto commento.

Il **doppio slash** serve dunque in C++ per **commentare una singola riga** di codice. In alternativa potremmo escludere dall’esecuzione la riga in questione anche utilizzando la sintassi C, sfruttando la ben nota simbologia che vi mostro di seguito:

```
/* using namespace std; */
```

Vi ricordo, se mai ce ne fosse bisogno, che i commenti realizzati tramite la simbologia `/*` e `*/` possono invece riferirsi a più righe di codice che saranno oggetto di commento. Al contrario, il doppio slash, come detto, si riferisce sempre e solo alla singola linea nella quale è utilizzato.

In ogni caso, l’effetto sarebbe quello di escludere dall’esecuzione la riga in cui dichiariamo il namespace `std`.

Per tutta risposta il compilatore ci segnalera nella finestra in basso quanto segue:

```
error: 'cout' undeclared (first use this function)
```

In buona sostanza ci viene segnalato che la parola `cout` non si sa cosa sia. In effetti `cout` appartiene allo spazio dei nomi `std`. Se vogliamo utilizzare `cout` senza fare riferimento all'indicazione `using namespace std;` dobbiamo, in un certo senso, esplicitare la sua appartenenza. Per farlo abbiamo la necessità di utilizzare uno specifico operatore, noto come **operatore di visibilità**, scritto utilizzando una coppia di due punti “`::`” che andranno inseriti tra l'indicazione del namespace e il nome della funzione `cout`.

Dobbiamo quindi scrivere l'istruzione di output come segue:

```
std::cout << "Hello world!" << endl;
```

In realtà, se provate a compilare il codice con Code::Blocks, avendo effettuato solo tale modifica, scoprirete che vi verrà segnalato un ulteriore errore, simile al precedente ma questa volta relativo all'istruzione `endl`.

```
error: 'endl' undeclared (first use this function)
```

Tale istruzione `endl`, che forza un **end of line**, ovvero l'analogo del ‘`\n`’ del C, appartiene infatti anch'essa allo spazio dei nomi `std` come l'istruzione `cout`. Il motivo dell'errore è quindi il medesimo del caso precedente: non si sa chi sia `endl`.

Per risolvere il problema, non volendo usare la riga di codice `using namespace std;` possiamo quindi scrivere il codice seguente:

```
#include <iostream>
int main()
{
    std::cout << "Salve mondo!" << std::endl;
    return 0;
}
```

Incidentalmente vi faccio notare che, a proposito della costante `endl`, avremmo potuto ottenere lo stesso risultato scrivendo:

```
std::cout << "Salve mondo!" << "\n";
```

ovvero utilizzando la classica sequenza di escape newline del linguaggio C. A voi la scelta!

Diamo spazio ai nomi

Compreso, almeno per sommi capi, cosa si intenda per namespace, dovrebbe essere chiaro che `std` rappresenta un namespace predefinito, cioè messo a disposizione dall'ambiente. È ovviamente d'altronde possibile definire uno spazio dei nomi di proprio interesse; per farlo si utilizza, neanche a dirlo, la parola chiave `namespace`, come mostro di seguito:

```
namespace Pippo
{
    int x, y;
}
```

Come potete osservare, si utilizza la parola chiave `namespace` seguita dal nome da noi scelto e da un blocco di parentesi graffe che andrà a racchiudere l'elenco delle variabili che vogliamo facciano parte del nostro namespace.

Con quanto scritto, le variabili semplici `x` e `y` sono dunque appartenenti al namespace `Pippo` e per poterle utilizzare devo scrivere qualcosa del tipo:

```
Pippo::x = 2;
Pippo::y = 4;
```

Mettendo tutto insieme in un esempio completo vi propongo il seguente codice:

```
#include <iostream>
using namespace std;
namespace Pippo
{
    int x, y;
}
int main()
{
    Pippo::x = 1;
    Pippo::y = 2;
    cout << "I valori di x e y sono: " << Pippo::x << " " << Pippo::y << endl;
    return 0;
}
```

Nel codice potete notare la definizione del namespace `Pippo` posta all'esterno del `main`. Subito dopo assegniamo alle due variabili del namespace in questione due valori numerici qualsiasi utilizzando l'operatore di visibilità `::`.

Infine stampiamo i valori in questione usando l'istruzione `cout` e costruendo la stringa di output con l'operatore `<<`.

Tuttavia, per capire l'effettiva utilità dei namespaces, è il caso di creare un altro namespace che utilizza altre due variabili aventi gli stessi nomi del primo namespace: `x` e `y`.

```
namespace Pluto
{
    int x, y;
}
```

Ed è proprio questa la possibilità sostanziale dei namespaces: poter utilizzare variabili con lo

stesso nome senza incorrere (almeno potenzialmente) in problemi di ambiguità e quindi poter meglio organizzare il proprio codice.

Vediamo allora l'esempio seguente:

```
#include <iostream>
using namespace std;
namespace Pippo
{
    int x = 1;
    int y = 2;
}
namespace Pluto
{
    int x = 3;
    int y = 4;
}
int main()
{
    cout << "Prima variabile x: " << Pippo::x << endl;
    cout << "Seconda variabile x: " << Pluto::x << endl;
    return 0;
}
```

Dopo aver creato due namespace, `Pippo` e `Pluto`, contenenti variabili con lo stesso nome, `x` e `y`, facciamo riferimento a tali variabili differenziandole attraverso l'operatore di visibilità.

In generale, tuttavia, potrebbe risultare notevolmente tedioso dover scrivere, ogni volta che si utilizza un dato oggetto (ad esempio la variabile `x`), il nome del namespace al quale appartiene. Per ovviare a tale situazione si può fare ricorso, come abbiamo già visto nel caso del namespace `std`, alla parola riservata `using` che consente di rendere palese in un certo pezzo di codice l'elemento in questione. Scrivendo, ad esempio:

```
using Pippo::x;
```

sarà possibile fare riferimento alla variabile `x` del namespace `Pippo` senza dover referenziare quest'ultimo. Mostro di seguito l'intero codice:

```
#include <iostream>
using namespace std;
namespace Pippo
{
    int x = 1;
    int y = 2;
}
namespace Pluto
{
    int x = 3;
    int y = 4;
}
using Pippo::x;
int main()
{
    cout << "Prima variabile x: " << x << endl;
```

```

        cout << "Seconda variabile x: " << Pluto::x << endl;
        return 0;
}

```

Come potete osservare dal codice appena scritto, nelle istruzioni di stampa ho fatto innanzitutto riferimento alla variabile `x` senza utilizzare alcun **specificatore**; tale prima variabile `x` farà dunque riferimento al namespace `Pippo`. Successivamente ho fatto invece esplicito riferimento all'elemento `Pluto::x`. L'output sarà quindi il seguente:

```

Prima variabile x: 1
Seconda variabile x: 3

```

Più in generale è possibile introdurre e referenziare in un dato contesto un intero namespace scrivendo qualcosa del tipo:

```
using namespace Pippo;
```

In questo modo, l'intero insieme di variabili presenti all'interno del namespace può essere richiamato direttamente facendo riferimento al solo nome delle singole variabili.

Di seguito un esempio completo:

```

#include <iostream>
using namespace std;
namespace Pippo
{
    int x = 1;
    int y = 2;
}
namespace Pluto
{
    int x = 3;
    int y = 4;
}
int main()
{
    using namespace Pippo;
    cout << "Prima variabile x: " << x << endl;
    cout << "Prima variabile y: " << y << endl;
    cout << "Seconda variabile x: " << Pluto::x << endl;
    return 0;
}

```

Dal codice si vede come entrambe le variabili `x` e `y` del namespace `Pippo` vengano referenziate con il solo nome, mentre la variabile `x` del namespace `Pluto` viene indicata con l'operatore di visibilità.

A questo punto, tuttavia, è necessario fermarsi un attimo per una riflessione di assoluta importanza. Se da un certo punto di vista la clausola `using` comporta un sicuro vantaggio nella stesura del codice, d'altra parte un utilizzo poco accorto può creare un grosso problema: variabili appartenenti a namespace differenti, ma aventi lo stesso nome, potrebbero entrare in **collisione**. Questo è il motivo per cui molti sviluppatori evitano l'uso della clausola `using` a

contesti estremamente limitati.

Spessissimo la clausola `using` viene utilizzata proprio nel primo contesto che abbiamo visto relativo alla funzione di output `cout`.

```
#include <iostream>
using namespace std;
main()
{
    cout << "Salve mondo\n";
    return 0;
}
```

Ciò è dovuto al fatto che tale istruzione è molto usata e appartiene alla dotazione standard del C++, un po' come avviene per la `printf` del C. Tale dotazione standard è nota appunto come **libreria standard**. Vi faccio qui notare incidentalmente come gli `include` di tale libreria standard facciano riferimento a file, ad esempio `iostream`, che non utilizzano la tradizionale estensione `.h` che eravamo abituati a vedere nel contesto degli `include` del C.

Sempre a proposito della clausola `using`, può essere importante notare come la sua visibilità dipenda dalla sua collocazione all'interno del codice. Se, ad esempio, essa viene posta all'esterno del `main` agirà su tutto il `main` stesso come se si trattasse di una variabile globale. La cosa che può lasciare perplesso invece il programmatore proveniente dal C è il fatto che essa può agire anche a livello di singolo blocco di codice. Chiarificatore a riguardo può essere il seguente codice:

```
#include <iostream>
using namespace std;
namespace Pippo
{
    int x = 1;
    int y = 2;
}
namespace Pluto
{
    int x = 3;
    int y = 4;
}
int main()
{
{
    using namespace Pippo;
    cout << "Prima variabile x: " << x << endl;
}
{
    using namespace Pluto;
    cout << "Seconda variabile x: " << x << endl;
}
return 0;
}
```

Come potete osservare, i blocchi rappresentati dalle parentesi graffe aperte e chiuse fanno da

contenitore e da scudo per la visibilità di quanto in essi dichiarato. Il primo blocco contiene ciò che attiene al namespace `Pippo` mentre il secondo riguarda esclusivamente il namespace `Pluto`.

Visibilità delle variabili in C++

L'esempio appena visto relativo alla clausola `using` rende del tutto naturale spendere qualche parola a proposito della visibilità delle variabili in C++. Una variabile è visibile all'interno del blocco in cui è dichiarata. Il seguente esempio può essere sicuramente efficace per far capire cosa intendo.

```
#include <iostream>
using namespace std;
int x = 1;
int main()
{
    int x = 2;
    {
        int x = 3;
        cout << "x: " << x << endl;
    }
    cout << "x: " << x << endl;
    cout << "x: " << ::x << endl;
    return 0;
}
```

Ho dichiarato tre diverse variabili di nome `x`; la prima di tipo globale con valore 1, la seconda visibile all'interno del `main`, alla quale ho assegnato il valore 2, e la terza con valore 3 all'interno di un blocco specifico di parentesi che la “scherma” in qualche modo dal contesto esterno al blocco stesso. Volendo è possibile riferirsi alla variabile globale utilizzando l'operatore di visibilità visto prima, come mostrato nell'ultima istruzione di stampa dell'esempio e come vi riporto di seguito per una maggiore chiarezza:

```
cout << "x: " << ::x << endl;
```

Per capire il funzionamento del codice fate attenzione al risultato delle stampe delle varie versioni della variabile `x` che vi propongo di seguito:

```
x: 3
x: 2
x: 1
```

Fin qui quello che si può fare; discorso diverso riguarda quello che si deve o non deve fare. Mi spiego. La prima cosa da osservare è la pericolosità potenziale di un tale pezzo di codice. La variabile `x` così utilizzata potrebbe creare un bel po' di problemi, in quanto il programmatore potrebbe perdere il “controllo” e facilmente commettere qualche errore. Ciò, in particolare, potrebbe essere causato anche dalla scelta, appositamente errata, che ho fatto in relazione al nome della variabile. Dei nomi del tipo `x`, `i`, `j` oppure simili sono un tentativo di suicidio informatico se utilizzati per variabili che hanno un riferimento di tipo globale.

I riferimenti

Come si è visto in più occasioni, la visibilità delle variabili e la relativa possibilità di modificarne i valori sono aspetti cruciali nello sviluppo di un'applicazione software. Il problema, ormai è chiaro, non si pone quando la modifica deve avvenire nei pressi della variabile stessa ma quando è necessario accedere, ed eventualmente modificare, determinati valori da posizioni esterne al campo di visibilità dell'elemento in questione.

Il linguaggio C++, così come il C, può fare ricorso al concetto di puntatore già ampiamente analizzato nel Capitolo 13. Come ricorderete, i puntatori sono un modo per riferirsi a una certa variabile accedendo direttamente alla locazione di memoria nella quale è contenuto il valore della variabile stessa attraverso l'indirizzo specifico della cella in questione. Tuttavia il C++ ha un ulteriore strumento per gestire le problematiche in esame, noto come il termine di **riferimento** (**reference** in inglese).

Un riferimento, come in parte suggerisce lo stesso nome, è un modo alternativo per riferirsi a un certo oggetto. Esso è una sorta di **alias**, un ulteriore nome con il quale referenziare un elemento di programmazione. Vediamone l'uso di base attraverso la seguente istruzione:

```
int &r = x;
```

Abbiamo dichiarato una variabile reference `r` anteponendo al suo nome il simbolo di “e commerciale”. Nella dichiarazione siamo inoltre costretti a indicare un'altra variabile, nel nostro caso `x`, alla quale punta il nostro riferimento. Infatti, non è consentito dichiarare un riferimento senza inizializzarlo, così come non è possibile avere dei riferimenti nulli. In effetti la variabile `r` è ora un puntatore all'area di memoria in cui è presente `x`. La particolarità di questo puntatore è che esso continuerà sempre e comunque a puntare alla sua variabile. Una sorta di puntatore costante o, se volete, una costante di tipo puntatore. Infatti, non è ammissibile modificare in un secondo momento un riferimento facendolo puntare a un'altra variabile differente. Per comprendere meglio gli aspetti proposti vi presento un esempio di codice minimale ma completo.

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    cout << "Riferimenti!" << endl;
    int x = 1;
    int &r = x;
    r++;
    cout << "r: " << r << endl;
    return 0;
}
```

Dal codice potete notare come, dopo aver dichiarato e inizializzato al valore 1 la variabile `x`, dichiariamo un riferimento di nome `r` alla variabile `x` stessa. Per intenderci, `r` e `x` si riferiscono ora alla stessa variabile. A dimostrazione di quanto affermato, è sufficiente considerare che la stampa della variabile `r`, dopo l'istruzione `r++` che vede a essa applicato l'operatore di incremento, risulta visualizzare il valore 2. Infatti, l'incremento del riferimento non agisce, come nel contesto dei puntatori, sull'indirizzo della variabile bensì sul valore della variabile stessa

che passa da 1 al valore appunto 2.

Tuttavia, come lasciato intendere all'inizio del paragrafo, la vera utilità dei riferimenti la si può apprezzare nel caso di utilizzo come parametri all'interno di una funzione, ovvero quando dobbiamo manipolare dei valori da un pezzo di codice esterno alla visibilità delle variabili alle quali vogliamo accedere. L'uso del riferimento consente di ottenere gli stessi benefici dei puntatori realizzando una chiamata di funzione per indirizzo senza, d'altra parte, la complicazione derivante dall'uso dell'aritmetica dei puntatori stessa. Per sincerarci di tale applicabilità facciamo riferimento a una funzione che deve scambiare il valore di due variabili intere. Consideriamo dunque il seguente codice:

```
#include <iostream>
using namespace std;
void scambia(int , int);
int main()
{
    cout << "Scambiamoci i valori" << endl;

    int a = 1;
    int b = 2;
    scambia(a, b);
    cout << "a: " << a << endl;
    cout << "b: " << b << endl;
    return 0;
}
void scambia (int x, int y)
{
    int z;
    z=x;
    x=y;
    y=z;
}
```

Il programma, dopo aver inizializzato due variabili intere `a` e `b` rispettivamente ai valori 1 e 2, chiama la funzione `scambia` per, appunto, scambiare tali valori al fine di valorizzare la variabile `a` con 2 e `b` con 1.

La funzione in questione usa la variabile `z` come variabile tampone, ovvero temporanea, per effettuare lo scambio dei due valori, così come già visto nel Capitolo 10.

Tuttavia, così come potremmo aspettarci, lo scambio avviene solo per le copie delle variabili `x` e `y` rimanendo confinato all'interno della funzione, tanto che in output abbiamo la seguente stampa:

```
a: 1
b: 2
```

Vediamo allora come risolvere il problema in questione usando i riferimenti. A partire dal precedente codice dobbiamo effettuare delle modifiche davvero minimali che riguardano i soli parametri della funzione `scambia`, per i quali dobbiamo aggiungere l'operatore `&` come vi mostro di seguito.

```
#include <iostream>
```

```

using namespace std;
void scambia(int& , int&);
int main()
{
    cout << "Scambiamoci i valori" << endl;
    int a = 1;
    int b = 2;
    scambia(a, b);
    cout << "a: " << a << endl;
    cout << "b: " << b << endl;
    return 0;
}
void scambia (int& x, int& y)
{
    int z;
    z = x;
    x = y;
    y = z;
}

```

La cosa per certi aspetti sorprendente è come si possa invocare la funzione `scambia(a, b);` passando semplicemente il nome delle variabili e ottenendo comunque il seguente atteso risultato:

```

a: 2
b: 1

```

avendo semplicemente modificato l'interfaccia della funzione dichiarandola come

```
void scambia(int& , int&);
```

e modificandone la firma nell'implementazione come mostrato di seguito:

```

void scambia (int& x, int& y)
{
...
}

```

ovvero, come già detto, sfruttando l'operatore di riferimento `&`. È intuitivo come tale approccio ottimizzi la chiamata e la relativa operatività della risposta di una funzione evitando la pesantezza derivante dal comportamento predefinito del passaggio di parametri che avviene tramite la copia degli argomenti stessi. Ciò è tanto più vero quando all'interno delle chiamate delle funzioni sono coinvolti degli oggetti.

Input e output di dati

Chi vuol muovere il mondo, prima muova se stesso.

Socrate

Dopo aver presentato alcuni degli aspetti fondanti del C++ è importante dettagliare alcuni elementi relativi alla gestione dell'input e dell'output di base di questo linguaggio. Senza tali elementi, infatti, diventa difficile presentare esempi degni di nota.

Purtroppo per molti le differenze tra C e C++ si fermano all'uso di tali funzioni: la `printf` per il C contrapposta all'istruzione `cout` del C++ in relazione all'output, mentre per l'input la `scanf` si contrappone alla analoga istruzione `cin` del C++ che vedremo a breve. Ovviamente, e lo si sta già intravedendo, le differenze tra i due linguaggi vanno ben oltre tali aspetti del tutto secondari e riguardano l'approccio generale alla scrittura dei programmi e ai differenti paradigmi di programmazione. Sebbene i costrutti di base dei due linguaggi, come ad esempio i costrutti di selezione o quelli relativi ai cicli come `for` e `while`, siano del tutto simili, le differenze vanno ben oltre tali aspetti assolutamente marginali.

Console input

Veniamo allora alle funzioni di input e output. Abbiamo già visto, seppur sommariamente, l'uso dell'istruzione `cout`; combiniamo allora a essa l'istruzione `cin` relativa all'input in un semplice e classico esempio.

Questo può essere comunque il momento opportuno per una precisazione importante. Definire `cin` e `cout` genericamente istruzioni o anche, in qualche caso, funzioni, è una semplificazione. Infatti, in realtà, `cin` e `cout` sono dei veri e propri oggetti utilizzati per inviare e per ricevere dati in relazione ai cosiddetti **canali standard** (standard streams). Un canale standard rappresenta la modalità predefinita con cui il programma comunica con il mondo esterno in relazione al suo input e al suo output. Di norma il canale per lo standard input (anche noto come `stdin`) è la tastiera mentre il canale per lo standard output (abbreviato in `stdout`) è lo schermo. Esiste inoltre un ulteriore canale relativo alla segnalazione di errori ed elementi di diagnostica da parte del programma noto come standard error (`stderr`). Quest'ultimo, nel C++, è associato all'oggetto di nome `cerr`.

Torniamo dunque al nostro esempio e prendiamo in input un numero stampando il suo successivo.

```
#include <iostream>
using namespace std;
main()
{
    int x, s;
    cout << "Dammi un numero: ";
    cin >> x;
    s = x + 1;
    cout << "Il successivo e': " << s;
    return 0;
}
```

Come si evince dal codice, `cin` utilizza l'operatore `>>` per assegnare il valore preso in input da tastiera alla variabile, nel nostro caso, denominata `x`. Tale operatore è realizzato attraverso due simboli di maggiore e prende anche il nome di **operatore di estrazione (extraction operator)**.

Il nome è giustificato dal fatto che esso si preoccupa di estrarre i dati dal flusso di input.

Se volete un modo per ricordare se associare il simbolo `>>` piuttosto che l'operatore `<<` utilizzato per l'output, potete pensare al fatto che di norma all'interno del prompt di una console di tipo DOS, utilizzata appunto per l'input dei comandi, l'ultimo carattere, almeno sulle macchine Windows, è il simbolo di maggiore. Dunque dovrebbe risultare naturale pensare ai simboli `>>` per la funzione input `cin`.

Mi vergogno quasi a fare esempi semplici come il seguente; meglio tuttavia vergognarsi un po' che dare per scontati troppi elementi. Dunque, il seguente pezzo di codice prende in input due numeri e ne fa la somma stampandola a video:

```
#include <iostream>
using namespace std;
main()
{
    int x, y, s;
```

```
cout << "Dammi un numero: ";
cin >> x;
cout << "Dammi un altro numero: ";
cin >> y;
s = x + y;
cout << "La somma e': " << s;
return 0;
}
```

Nonostante la banalità dell'esempio, questo può aiutarvi a prendere dimestichezza con il linguaggio. In effetti mi sento ancora di sottolineare come un linguaggio lo si impari attraverso l'uso pratico realizzato alla macchina e non leggendo semplicemente codice fatto da altri. Ancora, l'esempio precedente mi permette di farvi vedere come è possibile combinare due input su di una sola riga di istruzione `cin`; possiamo infatti modificare il codice precedente come segue:

```
#include <iostream>
using namespace std;
main()
{
    int x, y, s;
    cout << "Inserisci due numeri: ";
    cin >> x >> y;
    s = x + y;
    cout << "La somma e': " << s;
    return 0;
}
```

Sarà sufficiente separare i due numeri con un semplice spazio per consentire la giusta attribuzione dei due input rispettivamente alle variabili `x` e `y`.

cin e le stringhe: un rapporto difficile

Fin quando la funzione `cin` si trova a dover gestire dei valori numerici essa si comporta in maniera del tutto regolare. Il problema sorge quando `cin` deve avere a che fare con stringhe di caratteri. Un primo problema risiede nel fatto che `cin` si “blocca” in presenza di spazi. Avevamo già incontrato un problema simile discutendo degli array di caratteri e della funzione `scanf` del C. Se ricordate avevamo trovato una soluzione con la funzione `gets`.

Il pappagallo recidivo

In effetti se scriviamo qualcosa del tipo:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    char s[25];
    cout << "Dimmi come ti chiami (e ti dirò chi sei): ";
    cin >> s;
    cout << "Tu sei " << s << endl;
    return 0;
}
```

scopriremo che inserendo, ad esempio, nome e cognome, il nostro simpatico “codice pappagallo” ci fornirà in output solo il nome. Vi posso capire se state iniziando a odiare le stringhe.

Sembra incredibile ma non è finita qui. Quando inserite una stringa con degli spazi (o anche tabulazioni) la funzione non elimina il carattere di fine stringa `\n` che rimane nel buffer (memoria temporanea per la gestione dell’input). Tale comportamento ha dei risultati davvero bizzarri. Per provarlo potete verificare cosa succede utilizzando il seguente codice:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    char s1[25], s2[25];
    cout << "Stringa 1: ";
    cin >> s1;
    cout << s1 << endl;
    cout << "Stringa 2: ";
    cin >> s2;
    cout << s2 << endl;
    return 0;
}
```

Se provate a inserire una stringa contenente uno spazio al suo interno scoprirete che il programma non vi darà la possibilità di inserire il secondo input per la stringa `s2`. Infatti, il carattere `\n` rimasto nel buffer forzerà un invio dei dati al vostro posto con il risultato di vedere stampato in `s2` la seconda parte della stringa inserita (quella dopo lo spazio). Sicuramente frustrante.

Il pappagallo rinsavito

Fortunatamente anche in questo caso abbiamo una soluzione: la funzione **getline**. Tale funzione legge l'input ignorando eventuali spazi bianchi per una data dimensione specificata e rimuove il carattere di fine riga. Alla pagina seguente un pappagallo finalmente “normale”.

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    char s1[25],s2[25];
    cout << "Stringa 1: ";
    cin.getline(s1, 25);
    cout << s1 << endl;
    cout << "Stringa 2: ";
    cin.getline(s2, 25);
    cout << s2 << endl;
    return 0;
}
```

Quando la mescolanza è deleteria

Vorrei dirvi che i problemi sono finiti; ma se lo facessi mentirei. Le operazioni di input, lo abbiamo visto, sono questioni delicate e quando possibile bisogna evitare di mischiare vari e differenti metodi di gestione. Per farcene una ragione consideriamo il seguente esempio, nel quale preleviamo prima un numero con la classica `cin` e successivamente una stringa con la funzione membro `getline`:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    char numero, s[25];
    cout << "Dammi il numero: ";
    cin >> numero;
    cout << "Dammi la stringa: ";
    cin.getline(s, 25);
    cout << numero << endl;
    cout << s << endl;
    return 0;
}
```

Il risultato di tale mescolanza di approcci è assolutamente dannoso. Durante la prima `cin` viene conservato il carattere `\n` di fine linea, che va a finire direttamente nell'input successivo impedendo l'inserimento della stringa. Fortunatamente anche in questo caso esiste un cosiddetto **workaround**, ovvero uno stratagemma, che ci toglie dai guai. La soluzione è data dall'ignorare in maniera esplicita tale carattere di fine riga attraverso la seguente funzione:

```
cin.ignore(80, '\n');
```

La funzione `ignore` scarta dunque il carattere `\n` mentre il numero 80 indica il numero massimo di

caratteri presenti in una riga di input. Il valore non è casuale, essendo spesso 80 il numero di caratteri disponibili in una finestra di tipo console. L'istruzione così organizzata deve essere posta subito dopo la `cin` prima della successiva `getline`. Cioè:

```
...
cin >> numero;
cin.ignore(80, '\n');
cout << "Dammi la stringa: ";
cin.getline(s, 25);
...
```

Qualche dettaglio sull'output, un po' di formattazione

Una buona formattazione dell'output, ovvero il posizionamento del giusto numero di spazi, corretti allineamenti del testo e appropriato numero di cifre decimali nella presentazione di valori numerici, è un aspetto fondamentale per un programma che si rispetti. Di seguito vi riporto alcune tecniche di base per ottenere un buon risultato di visualizzazione dei dati senza eccessivi sforzi utilizzando il contesto del C++.

Abbiamo già visto che per generare un output qualsiasi possiamo rifarcirci alla funzione `cout` che accoda i vari elementi da visualizzare sullo **stream** (flusso) di uscita utilizzando l'operatore `<<`:

```
cout << "Carlo" << " " << "Mazzone" << endl;
```

Uno dei modi più semplici per ottenere un buon output può essere quello di rifarsi alle funzioni presenti nel file di intestazione **iomanip**. Tali funzioni si trovano all'interno del namespace `std`. Ciò banalmente comporta che nel caso si utilizzi la clausola `using namespace std;`; è possibile fare riferimento a esse semplicemente attraverso il loro nome; in caso contrario, bisogna richiamarle con l'operatore di visibilità `::`.

Impostare la larghezza dei campi

Spesso può essere necessario allineare dei valori o degli elementi impostando una larghezza massima per l'output. In tali occasioni è possibile utilizzare il manipolatore **setw** nella seguente forma:

```
std::: setw(x)
```

dove `x` è un intero che indica appunto la larghezza del campo in output. Vediamone un esempio:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;
int main()
{
    cout << "12345678901234567890" << endl;
    cout << setw(15) << "Carlo" << endl;
    cout << setw(15) << "Pippo" << endl;
    cout << setw(15) << "Pluto" << endl;
    cout << setw(15) << "Topolino" << endl;
    return 0;
}
```

Il cui output sarà quello visualizzato nella Figura 18.1.

The screenshot shows a terminal window with the title bar "C:\Esempi\CodeBlocks\setw\bin\Debug\setw.exe". The window contains the following text:
12345678901234567890
Carlo
Pippo
Pluto
Topolino

Process returned 0 (0x0) execution time : 0.480 s
Press any key to continue.

Figura 18.1 – Un esempio d’uso della funzione `setw()`.

Comincio con il chiarire il senso dell’istruzione:

```
cout << "12345678901234567890" << endl;
```

che in effetti senso sembra non averne. Tale istruzione produce in output sequenze di dieci cifre da 1 a 9 seguite poi dallo zero che simula il valore 10. Infatti tale istruzione serve solo a rendere più chiaro il funzionamento della `setw()` creando una sorta di righello di intestazione. Ovviamente per il valore 10 ho dovuto usare la sola cifra zero; in caso contrario avrei occupato due posizioni anziché una sola. Come si evince dalla figura, dunque, l’istruzione `setw(15)` provoca l’allineamento a destra dell’output seguente nella posizione quindicesima.

Vi faccio notare come sia necessario ripetere l’istruzione per ogni singola riga. In caso contrario, l’istruzione seguente perde le impostazioni relative alla larghezza impostata in precedenza.

Un diverso riempimento

Di norma il carattere utilizzato per costruire gli allineamenti è ovviamente il carattere spazio. Nel caso si voglia, invece, riempire gli spazi aggiuntivi con un carattere differente, è possibile utilizzare il manipolatore `setfill('x')`, dove ‘x’ rappresenta il carattere utilizzato per il riempimento.

Supponiamo allora di voler produrre un’intera linea, di norma lunga 80 caratteri, formata dal carattere asterisco. Possiamo scrivere:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;
int main()
{
    cout << setfill('*') << endl;
    cout << setw(80) << "" << endl;
    return 0;
}
```

Abbiamo usato innanzitutto l’istruzione `setfill` che si predisponde a riempire gli spazi con il carattere ‘*’. Successivamente abbiamo richiamato la funzione `setw(80)` per allineare alla colonna 80 l’output successivo. Tale output è una stringa vuota; ciò comporterà l’occupazione dell’intera riga.

Contrariamente a quanto avviene con la funzione `setw`, con la funzione `setfill` il comportamento

viene mantenuto per tutto l'output seguente fino a una successiva chiamata a `setfill`, che quindi presumibilmente sarà qualcosa del tipo

```
cout << setfill(' ') << endl;
```

reimpostando il carattere spazio come carattere di riempimento.

Formattiamo i numeri

La cosa più banale che possiamo considerare di fare a proposito della stampa a video dei numeri è quella di costringere i numeri stessi a utilizzare un dato numero di cifre. Per farlo possiamo usare la funzione `setprecision(x)`, dove `x` è il numero di cifre che vogliamo stampare. Subito l'esempio:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;
int main()
{
    const double x = 3.14159;
    cout << setprecision(3) << x << endl;
    return 0;
}
```

L'output sarà `3.14` in quanto la funzione non fa distinzione tra parte intera e parte decimale ma si limita a controllare il numero massimo di cifre da mandare in output.

Per un controllo più fine possiamo decidere di indicare un numero specifico di elementi per la sola parte frazionaria. Per farlo dobbiamo prima di tutto utilizzare l'**indicatore di formato** `fixed` e successivamente effettuare la chiamata a `setprecision()`.

Ad esempio:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;
int main()
{
    cout << fixed;
    cout << setprecision(2) << 123.456 << endl;
    cout << setprecision(3) << 123.456 << endl;
    cout << setprecision(4) << 123.456 << endl;
    return 0;
}
```

produrrà in output quanto segue:

```
123.46
123.456
123.4560
```

Come potete notare il numero che utilizziamo per l'esempio ha tre cifre per la parte intera e tre

per la parte frazionaria. La cosa che salta subito all'occhio è che quando proviamo a stampare utilizzando `setprecision(2)` otteniamo un arrotondamento della parte frazionaria. Senza sorprese, quando forziamo a 4 il numero di elementi della parte frazionaria notiamo l'aggiunta di uno zero. Volendo stampare dei valori utilizzando la **notazione scientifica** è possibile fare riferimento all'indicatore di formato `scientific` come mostrato di seguito:

```
cout << scientific;
```

Per resettare le impostazioni di default è invece possibile fare riferimento alla funzione `unsetf` che riporto integralmente di seguito:

```
std::cout.unsetf ( std::ios::floatfield );
```

Una base diversa per ogni occasione

È possibile stampare un valore numerico in basi diverse dalla classica base 10; tipicamente in base 8 (ottale) oppure 16 (esadecimale). Allo scopo è possibile usare la funzione `setbase(x)`, dove `x` è la base in cui vogliamo stampare il nostro numero.

Ad esempio:

```
cout << setbase(8) << 255 << endl;
cout << setbase(16) << 255 << endl;
cout << setbase(10) << 255 << endl;
```

stamperà 337, ff e 255, rispettivamente valori corrispondenti alle due basi, 8, 16 e l'originale 255 nella notazione decimale.

In alternativa alla funzione `setbase` è possibile utilizzare altri modificatori di output: `oct`, `hex` e `dec` ottenendo i medesimi risultati appena visti.

```
cout << oct << 255 << endl;
cout << hex << 255 << endl;
cout << dec << 255 << endl;
```

Oggetti e classi

Un linguaggio di programmazione è a basso livello quando i suoi programmi richiedono molta attenzione per l'irrilevante.

Alan J. Perlis

Dopo la parentesi di tipo pratico realizzata con il precedente capitolo relativo alle istruzioni di input - output torniamo agli aspetti più filosofici della programmazione orientata agli oggetti. Il concetto di oggetto dovrebbe a questo punto essere sufficientemente chiaro, così come dovrebbe essere intuitibile la sua utilità nello sviluppo software. Vediamo allora di capire come gli oggetti possono essere realmente gestiti nel contesto del C++.

Dalle struct alle classi

Per comprendere il C++ dobbiamo partire dal concetto di **classe di oggetti**. Non a caso abbiamo detto, presentando tale linguaggio, che il suo primo nome fu appunto “C con le classi”. Una **classe** rappresenta una sorta di stampo per realizzare oggetti. Nel definire una classe per un dato oggetto si definiscono le caratteristiche dei futuri oggetti che da quella classe saranno realizzati. Per molti aspetti una classe è una sorta di **struct**, già vista per il C e valida anche per la sintassi del C++. In realtà le struct del C rappresentano il punto in cui il C si “ferma” e mostra i suoi limiti. Al contempo, tale punto di arresto risulta il punto di “avvio” del C++ che utilizzando il concetto di struct lo riprende e lo espande. Nei precedenti capitoli sul C vi ho fatto vedere come una struct sia un’ottima soluzione per organizzare in un’unica struttura dati caratteristiche varie e generiche di un dato elemento.

Supponiamo, ad esempio, di voler gestire un elemento geometrico come un rettangolo. Il codice per gestire tale rettangolo tramite una struct potrebbe essere qualcosa del tipo:

```
#include <iostream>
using namespace std;
struct Rettangolo
{
    int x;
    int y;
};
int main()
{
    //inizializzo la struct Rettangolo
    Rettangolo rettangolo1;
    //assegno valori a base e altezza
    rettangolo1.x = 20;
    rettangolo1.y = 10;
    //stampo valori
    cout << "Base: " << rettangolo1.x << endl;
    cout << "Altezza: " << rettangolo1.y << endl;
    return 0;
}
```

Fin qui nulla di nuovo rispetto a quanto già visto per il C. Ciò che abbiamo fatto è definire una struttura **Rettangolo** avente due membri, **x** e **y**, che rappresentano i lati di una data generica figura geometrica di tipo rettangolo. Successivamente abbiamo dichiarato **rettangolo1** come variabile di tipo **struct** scrivendo **Rettangolo rettangolo1;**

C’è da dire che in C tale istruzione avrebbe generato errore. Infatti avremmo dovuto scrivere **struct Rettangolo rettangolo1;** anteponendo quindi la parola chiave **struct**, oppure avremmo dovuto usare la direttiva **typedef** per definire un nuovo tipo. Il C++ consente invece questa modalità abbreviata.

Più in generale il C++ fa molto di più rispetto a questa banale semplificazione della notazione di scrittura di elementi di tipo struttura. Infatti, il C++ espande il concetto di struct attraverso la parola chiave **class** in sostituzione, o meglio in superamento, appunto della parola chiave **struct**. In effetti il codice precedente potrebbe essere riscritto del tutto semplicemente sostituendo la

parola `struct` con `class`, come vi mostro di seguito.

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Rettangolo
{
    int x;
    int y;
};
int main()
{
    cout << "La mia classe rettangolo" << endl;
    Rettangolo rettangolo1;
    //CODICE NON FUNZIONANTE
    rettangolo1.x = 10;
    rettangolo1.y = 20;
    return 0;
}
```

Tuttavia, c'è un problema, come potete notare dal commento che recita `//CODICE NON FUNZIONANTE`. Infatti, provando a compilare il codice in questione, l'ambiente ci restituirà un errore simile al seguente:

```
... error: "int Rettangolo::x" is private
```

Incapsulamento e occultamento dell'informazione

Il comportamento del compilatore in merito all'errore appena mostrato si spiega considerando una prima differenza tra struct e classi: il cosiddetto **incapsulamento** o, in inglese, **information hiding**. L'incapsulamento, in effetti, consiste appunto nell'**occultamento delle informazioni** all'interno di una classe.

Infatti, se traduciamo l'errore noteremo che il compilatore ci avverte del fatto che la variabile `x`, appartenente al contesto `Rettangolo`, risulta essere **privata**. In altre parole, anche se a prima vista potrebbe sembrare un nonsenso, le classi cercano di nascondere il proprio funzionamento a chi le utilizza. Lo scopo è quello di far sì che le classi vengano utilizzate come se fossero delle **scatole nere** che, lavorando su determinati dati, restituiscono un certo risultato senza che chi le utilizza (il programmatore) debba preoccuparsi di come queste producano il risultato stesso. In realtà abbiamo già visto questo concetto di scatola nera quando abbiamo avuto a che fare con sottoprogrammi e funzioni. Ciò comporta come diretto beneficio che una classe ben progettata possa essere facilmente riutilizzata anche in progetti diversi da quello originario proprio grazie alla sua estraneità a un contesto specifico.

Non a caso una delle caratteristiche fondamentali di un linguaggio orientato agli oggetti è appunto l'incapsulamento.

Ma a questo punto una domanda dovrebbe nascere spontanea: se la classe non mostra le sue caratteristiche all'esterno di essa, come può mai essere utilizzata? Per capirlo bisogna considerare che, al contrario di quanto avviene con una struct, **i membri di una classe sono per default privati**.

Ciò significa che le variabili e gli elementi in genere presenti all'interno di una classe non sono visibili e utilizzabili all'esterno ma solo all'interno della classe stessa. Appunto sono privati e ciò spiega il messaggio di errore mostrato prima. Tuttavia, per poter essere utilizzata, una classe richiede che alcuni membri siano resi pubblici, ovvero siano gestibili dall'esterno per poter invocare una serie di operazioni sulla classe stessa. Un po' come avviene per i parametri di una funzione. L'insieme di tali membri prende di norma il nome di **interfaccia dell'oggetto**.

Per poter richiamare la classe `Rettangolo` bisogna quindi esplicitare che, ad esempio, i membri `x` e `y` sono effettivamente pubblici; per farlo si usa la parola riservata `public` seguita dai due punti, che rappresenta uno **specificatore di accesso** alla classe:

```
class Rettangolo
{
    public:
        int x;
        int y;
};
```

L'accesso `public` rende visibili e utilizzabili i membri che seguono la relativa parola chiave da qualsiasi punto del codice in cui risulta visibile la classe stessa. Per cui possiamo scrivere il seguente codice senza timore di particolari errori:

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
class Rettangolo
{
    public:
        int x;
        int y;
};

int main()
{
    cout << "La mia classe rettangolo" << endl;
    Rettangolo rettangolo1;
    //assegno valori a base e altezza
    rettangolo1.x = 30;
    rettangolo1.y = 15;
    //stampo valori
    cout << "Base: " << rettangolo1.x << endl;
    cout << "Altezza: " << rettangolo1.y << endl;
    return 0;
}
```

Come detto, il comportamento predefinito relativamente alla visibilità è quello “privato”. Per rendere esplicita tale condizione è possibile utilizzare la parola chiave `private` seguita dai due punti prima dell’elenco degli elementi che si intende rendere privati:

```
class Rettangolo
{
    private:
        int x;
        int y;
};
```

Parliamo agli oggetti: messaggi e metodi

Un altro “salto di qualità”, che si realizza con una classe in sostituzione di una struct, è senza dubbio dato dalla possibilità di includere una o più funzioni direttamente nella classe stessa. In questo modo le struct, che sono intanto diventate classi, assumono la capacità di elaborare i dati cessando di essere dei semplici contenitori per i dati stessi. Tali funzioni prendono il nome di **funzioni membro** della classe. Esse operano sui dati dell’oggetto e prendono il nome di **metodi** della classe.

Supponiamo di voler permettere alla nostra classe `Rettangolo` di effettuare il calcolo della sua area:

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Rettangolo
{
public:
    int x;
    int y;
    int Area()
    {
        return x*y;
    }
};
int main()
{
    cout << "La mia classe rettangolo" << endl;
    Rettangolo rettangolo1;
    //imposto valori
    rettangolo1.x = 3;
    rettangolo1.y = 6;
    cout << "L'area del rettangolo vale: " << rettangolo1.Area() << endl;
    return 0;
}
```

Osservando con attenzione il codice notiamo come all’interno della classe `Rettangolo` abbiamo inserito una semplice funzione di nome `Area`:

```
...
int Area()
{
    return x*y;
}
...
```

Questa funzione non fa altro che restituire a chi la chiama il prodotto delle variabili `x` e `y` attraverso la parola chiave `return`. Tali variabili sono dichiarate pubbliche all’interno della classe stessa.

Nell’esempio si vede anche come, tramite **l’operatore punto**, sia possibile richiamare la funzione `Area` dell’istanza dell’oggetto `rettangolo1` così come richiamiamo una qualsiasi altra variabile presente nella classe; scriviamo infatti `rettangolo1.Area()` direttamente nell’istruzione di

stampa cout.

Si dice, in questo caso, che **si invia un messaggio all'oggetto** in questione.

Spesso una classe è formata da diverse funzioni membro e la loro implementazione all'interno della classe può generare problemi relativi a una difficile manutenzione del codice.

Tale implementazione interna viene spesso definita **inline**. Esiste comunque la possibilità di **implementare le funzioni all'esterno della classe** e di inserire all'interno di quest'ultima la sola parte dichiarativa.

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Rettangolo
{
    public:
        int x;
        int y;
        int Area();
};
int Rettangolo::Area()
{
    return x * y;
}
int main()
{
    cout << "La mia classe rettangolo" << endl;
    Rettangolo rettangolo1;
    //imposto valori
    rettangolo1.x = 3;
    rettangolo1.y = 6;
    cout << "L'area del rettangolo vale: " << rettangolo1.Area() << endl;
    return 0;
}
```

La cosa da notare nell'esempio appena mostrato è dato dall'operatore :: (due volte due punti) nella implementazione della funzione per collegare la funzione stessa alla classe alla quale deve appartenere. Si tratta dell'**operatore di visibilità** già visto nel contesto dei namespaces.

Oggetti e istanze

Vale la pena a questo punto fermarsi un attimo per rafforzare ulteriormente un concetto importante sull'uso delle classi. Una classe, come già detto, rappresenta una sorta di stampo per un oggetto. Una volta creato lo stampo è possibile produrre quanti oggetti vogliamo, aventi quelle caratteristiche generali. Ovviamente, però, ogni oggetto conserverà al suo interno le proprie caratteristiche singolari (proprietà) così come, diversamente dalle struct, i propri metodi. Dico diversamente dalle struct in quanto ribadisco che le struct gestiscono unicamente dati e non operazioni. Tali operazioni, ovvero i metodi dell'oggetto, agiranno sempre allo stesso modo (ma su dati diversi) indipendentemente dall'oggetto specifico a cui sono applicati. La singola copia dell'oggetto creato prende il nome di **istanza dell'oggetto**.

Per chiarire il concetto vi presento di seguito una modifica all'esempio precedente, in cui provvedo a creare due istanze diverse a partire dalla stessa classe `Rettangolo`:

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Rettangolo
{
    public:
        int x;
        int y;
        int Area();
};
int Rettangolo::Area()
{
    return x * y;
}
int main()
{
    cout << "Rettangoli a confronto" << endl;
    Rettangolo rettangolo1;
    Rettangolo rettangolo2;
    //imposto valori
    rettangolo1.x = 10;
    rettangolo1.y = 6;
    rettangolo2.x = 8;
    rettangolo2.y = 4;
    cout << "L'area del primo rettangolo vale: " << rettangolo1.Area() << endl;
    cout << "L'area del secondo rettangolo vale: " << rettangolo2.Area() << endl;
    return 0;
}
```

Con un po' di ragionamento si può essere persuasi che questo esempio rafforzi le idee presentate in precedenza e relative al fatto che la programmazione orientata agli oggetti sposta l'attenzione dalle variabili globali ai singoli oggetti.

Come disegnare le classi

L'individuazione delle classi, e quindi degli oggetti più utili per descrivere e gestire il problema che dobbiamo risolvere, è senza ombra di dubbio un elemento cruciale di tutto il processo di realizzazione del nostro codice.

L'esperienza insegna che tale lavoro richiede affinamenti successivi che partono da una bozza iniziale fino a concretizzarsi in un disegno finale della nostra applicazione software.

Non è a caso che utilizzo il termine **disegno**: la progettazione prevede di norma, infatti, una schematizzazione grafica del nostro software. Nel corso degli anni sono stati proposti vari strumenti e metodi per realizzare tali schemi grafici; alla fine ha prevalso sul campo un linguaggio vero e proprio noto come **UML**, ovvero **Unified Modeling Language**, in italiano qualcosa del tipo “linguaggio di modellazione unificato”.

È fuori dagli scopi di questa mia trattazione essere esaustivo sull'UML, tuttavia mi sembra importante definire qualche elemento di base. Ad esempio, tale linguaggio propone per la rappresentazione delle classi un elemento grafico specifico. Si tratta di un rettangolo separato in tre sezioni interne. Nella prima viene posto il **nome della classe**, nel secondo l'elenco dei suoi **attributi** e infine nel terzo l'elenco dei suoi **metodi**.

Nella Figura 19.1 vi mostro un esempio attinente alla nostra classe `Rettangolo`.

Sono svariati i software disponibili sul mercato per aiutare nel disegno dei modelli UML. Tra i tanti mi sento di proporre **ArgoUML** (Figura 19.2). Tale applicativo, gratuito ed efficiente, è disponibile al sito argouml.tigris.org.

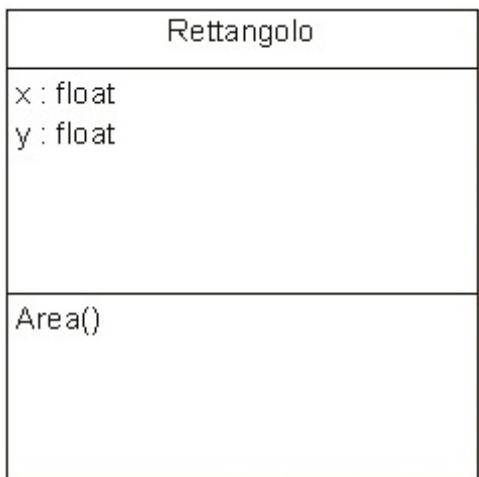


Figura 19.1 – Il disegno della classe `Rettangolo` realizzato utilizzando il linguaggio UML.

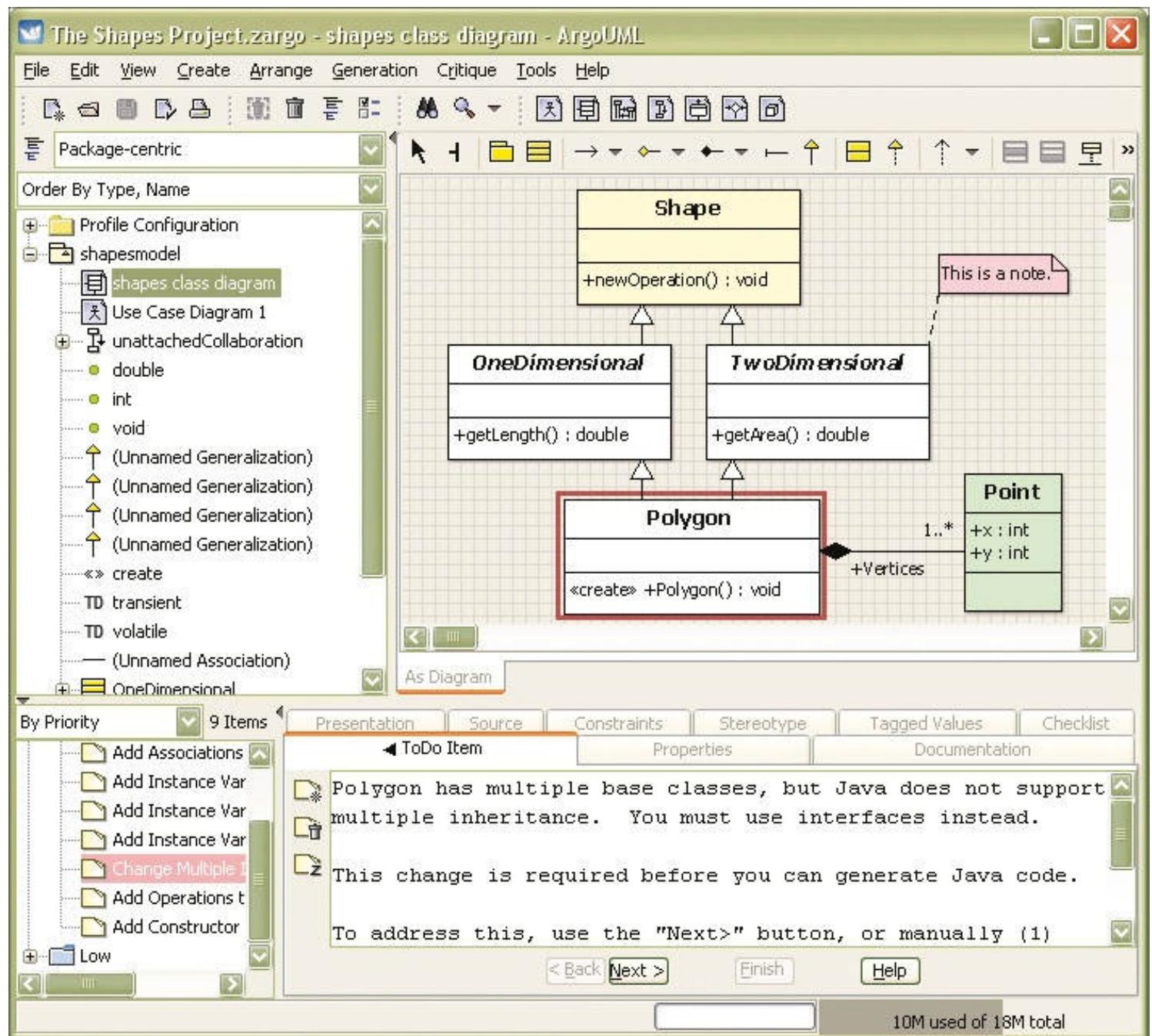


Figura 19.2 – Uno screenshot dell’applicativo ArgoUML.

L'arte del creare e del distruggere

L'arte è l'immagine allegorica della creazione.

Paul Klee

Nei precedenti capitoli abbiamo visto come un oggetto sia caratterizzato da una serie di proprietà intrinseche all'oggetto stesso; nel caso del rettangolo degli esempi proposti in precedenza possiamo pensare ai valori x e y relativi ai propri lati. Affinché il comportamento dell'oggetto sia consistente, di norma, tali grandezze devono possedere dei valori iniziali per evitare, a puro titolo di esempio, che una chiamata alla funzione `Area` generi dei risultati del tutto inattesi e imprevedibili nel caso in cui non siano stati preventivamente passati i valori per i lati.

Il costruttore

Per tali scopi, di norma, una classe deve includere al proprio interno una funzione speciale, nota con il termine **costruttore**, che viene chiamata automaticamente dal sistema quando viene creato un nuovo oggetto e che consente quindi al programmatore di impostare le inizializzazioni per le variabili membro. Il costruttore DEVE avere come nome lo stesso identico nome della classe a cui appartiene e non deve restituire nessun valore, nemmeno il valore `void`.

Facciamo subito un esempio, sempre riferendoci alla nostra classe `Rettangolo`, espandendo il codice già precedentemente realizzato.

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Rettangolo
{
public:
    int x;
    int y;
    Rettangolo(int, int);
    int Area();
};
Rettangolo::Rettangolo(int a, int b)
{
    x = a;
    y = b;
}
int Rettangolo::Area()
{
    return x * y;
}
int main()
{
    cout << "La mia classe rettangolo" << endl;
    Rettangolo rettangolo1 (3, 6);
    Rettangolo rettangolo2 (3, 17);
    cout << "L'area del primo rettangolo vale: " << rettangolo1.Area() << endl;
    cout << "L'area del secondo rettangolo vale: " << rettangolo2.Area() << endl;
    return 0;
}
```

La prima cosa da notare nel codice proposto è il fatto che ho aggiunto il costruttore con la seguente implementazione dell'omonima funzione `Rettangolo`:

```
Rettangolo::Rettangolo(int a, int b)
{
    x = a;
    y = b;
}
```

Come si evince dal codice, quando il costruttore viene chiamato in fase di creazione dell'oggetto gli vengono passati i valori dei suoi lati. Tali valori vengono di fatto assegnati alle variabili `x` e `y` che rappresentano le proprietà dell'oggetto stesso.

Ho poi inserito il prototipo del costruttore all'interno del corpo della classe scrivendo:

```
Rettangolo(int, int);
```

Una seconda cosa importante da sottolineare è che la funzione costruttore non può essere chiamata direttamente ma SOLO attraverso la procedura di creazione dell'oggetto.

Il distruttore

Il mondo cerca un suo equilibrio e ciò che nasce, inesorabilmente, arriva a una sua fine; ciò vale anche per gli oggetti del C++ per i quali, nel momento in cui cessano di vivere, è necessario predisporre un'apposita funzione nota come **distruttore**.

Il distruttore è una funzione il cui nome è identico a quello della classe, come per il costruttore, ma è preceduto dal carattere speciale “~”, noto come **tilde**: nel nostro caso il distruttore sarà:

```
~Rettangolo();
```

NOTA

Per realizzare da tastiera il simbolo ~ utilizzando il Sistema Operativo Windows è necessario tenere premuto il tasto ALT e digitare sul tastierino numerico in successione i tasti 1, 2 e 6. Sui sistemi Apple di tipo Mac è sufficiente tenere premuto il tasto ALT e premere il tasto 5.

Il distruttore viene chiamato in maniera automatica nel momento in cui l'oggetto cessa la propria esistenza. Ciò avviene, ad esempio, in maniera del tutto naturale nel momento in cui il nostro programma termina. Per avere dimostrazione di tale evento definiamo all'interno della classe `Rettangolo` il distruttore come segue:

```
Rettangolo::~Rettangolo()
{
    cout << "Rettangolo eliminato!";
}
```

Ho usato una semplice chiamata a `cout` per verificare l'effettiva esecuzione del codice del distruttore. In effetti è possibile rendersi conto della stampa a video del messaggio subito prima la chiusura dell'applicazione. Per farlo è sufficiente creare nel `main` un qualsiasi oggetto di tipo `Rettangolo`; ad esempio:

```
int main()
{
    cout << "Durata della vita" << endl;
    Rettangolo rettangolo1 (2, 4);
    return 0;
}
```

Potrete quindi verificare che l'applicazione mostrerà a video la frase "Rettangolo eliminato!" inserita sullo stream di output `cout` nel distruttore della classe. È intuitivo che in questo contesto ci rifacciamo a un esempio “forzato” per far comprendere il funzionamento del distruttore. In generale, invece, il codice del distruttore potrebbe essere impiegato, ad esempio, per deallocare, cioè rilasciare al Sistema Operativo, eventuale memoria richiesta dalla creazione dell'oggetto.

La compilazione separata

Ormai dovrebbe essere chiaro che l'uso del linguaggio C++ è motivato dalla possibilità di creare codice complesso riducendo al minimo le problematiche a esso legate. In ogni caso è banale considerare che un programma di una certa complessità richieda, per quanti siano i nostri sforzi di ottimizzazione, un grosso e a volte enorme numero di linee di codice sorgente.

Finora abbiamo realizzato i nostri programmi utilizzando un unico file di codice, il file `main.c` nel caso del linguaggio C e il file `main.cpp` nel caso del C++. Vi renderete conto che gestire un unico file di migliaia o decine di migliaia di righe di codice può essere un'impresa improba sia per il programmatore sia per il compilatore. Per il programmatore il problema risiede nel riuscire a mettere le mani in maniera agevole nelle varie sezioni del codice, mentre il compilatore farà una fatica notevole per ricompilare l'intero enorme file a ogni piccola modifica del codice sorgente. L'idea, dovrebbe essere chiaro, consiste nell'organizzare il nostro codice in differenti file, ognuno dei quali conterrà uno specifico e omogeneo pezzo di codice. Il termine che ho utilizzato, omogeneo, vuole riferirsi al fatto che il codice non può essere separato in differenti file in maniera indiscriminata, ma andrà, ovviamente, raggruppato in base agli specifici dati e alle specifiche operazioni su tali dati che i vari pezzi di codice dovranno gestire. Di norma l'organizzazione del codice nei vari file viene fatta proprio in virtù delle classi e quindi dei relativi oggetti. Se ci pensate un attimo, in effetti, quando creiamo un modello del problema e ragioniamo sugli oggetti da inserire nel mondo del nostro applicativo, stiamo appunto modularizzando, ovvero creando moduli logici separati. Non è detto che ogni classe debba essere gestita per forza di cose in un file separato; in ogni caso, tale ragionamento può essere un punto di partenza. Quello che in definitiva si può decisamente fare è porre il codice della classe in un file separato.

È giunto ora il momento di fare un esempio concreto, che si baserà ancora sulla nostra classe `Rettangolo`. Creiamo innanzitutto un nuovo progetto. Successivamente creiamo un nuovo file che chiameremo `Rettangolo.cpp` che conterrà la logica di funzionamento della nostra classe.

Per farlo, supponendo di utilizzare l'ambiente Code::Blocks, clicchiamo sulla voce di menu **File - New - File...**

Dalla finestra di dialogo che viene mostrata a video, e presentata in Figura 20.1, selezioniamo la voce **C/C++ source**.

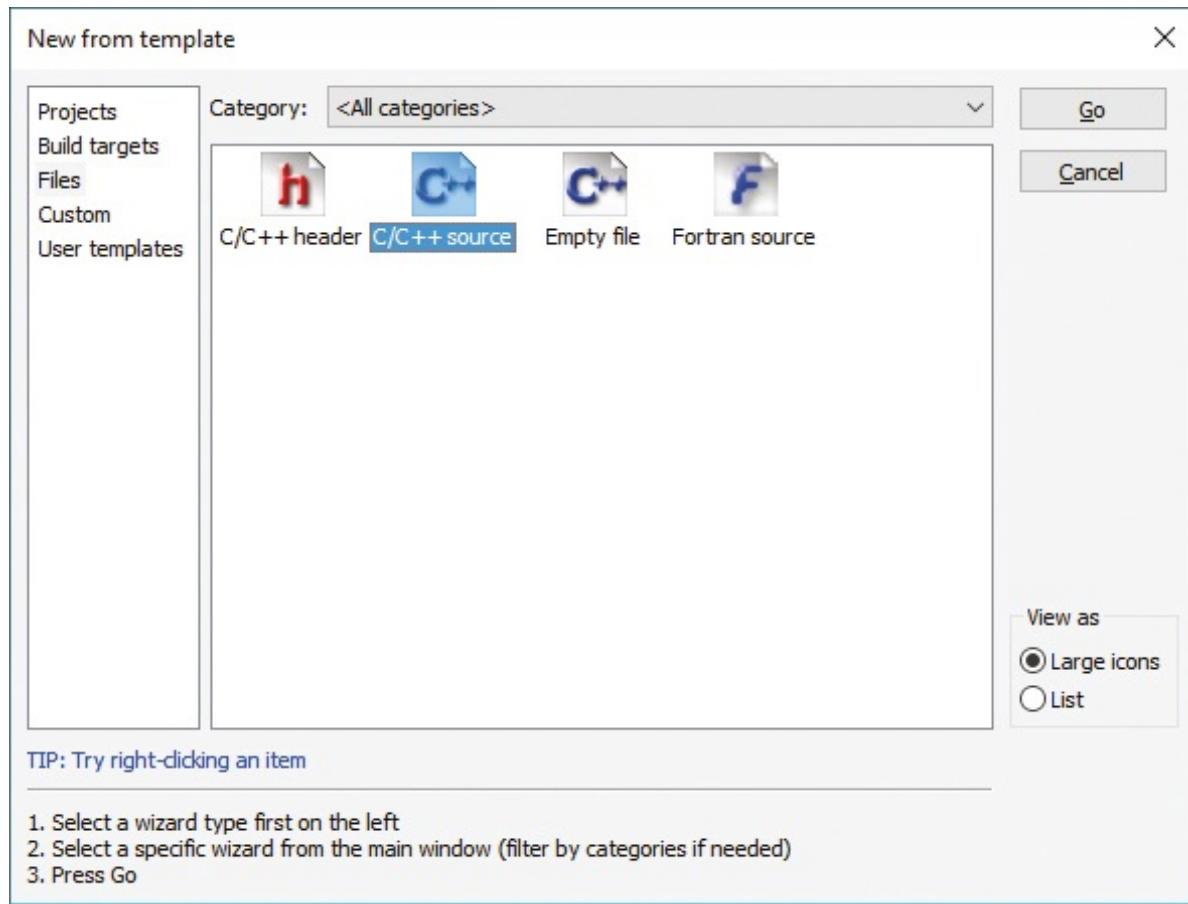


Figura 20.1 – La scelta di un nuovo file di codice sorgente di tipo C/C++.

Come poi riportato in Figura 20.2, scegliamo e selezioniamo la cartella corrente del nostro progetto e, una volta digitato il nome del nuovo file, confermiamo l’operazione. Nella finestra di dialogo in questione facciamo anche attenzione a porre un segno di spunta, come riportato in figura, sulle voci “Debug” e “Release” in relazione all’opzione “Add file to active project”. All’interno del nuovo file possiamo riscrivere la sola implementazione della classe `Rettangolo`, cioè:

```
//File Rettangolo.cpp
Rettangolo::Rettangolo(int a, int b)
{
    x = a;
    y = b;
}
Rettangolo::~Rettangolo()
{
    cout << "Fine operazioni";
}
int Rettangolo::Area()
{
    return x * y;
}
```

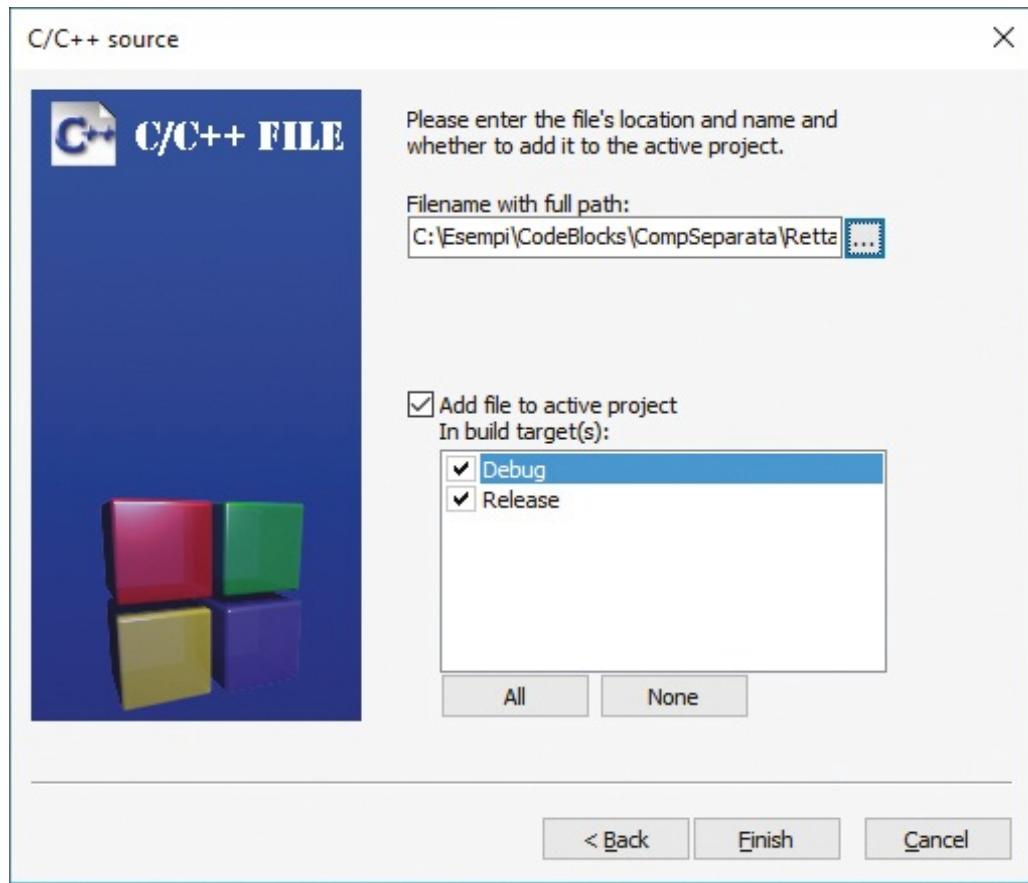


Figura 20.2 – La scelta del nome e del percorso per un nuovo file di tipo C/C++.

Dico la sola **implementazione** in quanto nel file .cpp andrà il codice vero e proprio mentre la **definizione** della classe andrà in un ulteriore file noto come **file header** o **file di intestazione**. Abbiamo sistematicamente utilizzato tali file nei nostri include per far uso delle funzioni predefinite messe a disposizione dall’ambiente. La differenza sostanziale rispetto a ciò che stiamo facendo ora risiede banalmente nel fatto che saremo noi stessi a realizzare tali file da includere nel progetto.

Vediamo dunque come creare un file header. Per farlo usiamo una procedura simile a quella relativa al file .cpp. Clicchiamo infatti sulla voce di menu **File - New – File**. Dalla finestra di dialogo, visibile in Figura 20.3, selezioniamo la voce **C/C++ header**.

Confermiamo la posizione del file e il nome `Rettangolo.h`. Nella Figura 20.4 vi riporto la finestra in oggetto.

Il file appena creato conterrà le seguenti direttive:

```
#ifndef RETTANGOLO_H_INCLUDED  
#define RETTANGOLO_H_INCLUDED  
#endif // RETTANGOLO_H_INCLUDED
```

Queste hanno lo scopo di evitare che le informazioni presenti all’interno del file vengano incluse più di una volta. Tali direttive sono note con il termine di **include guard**.

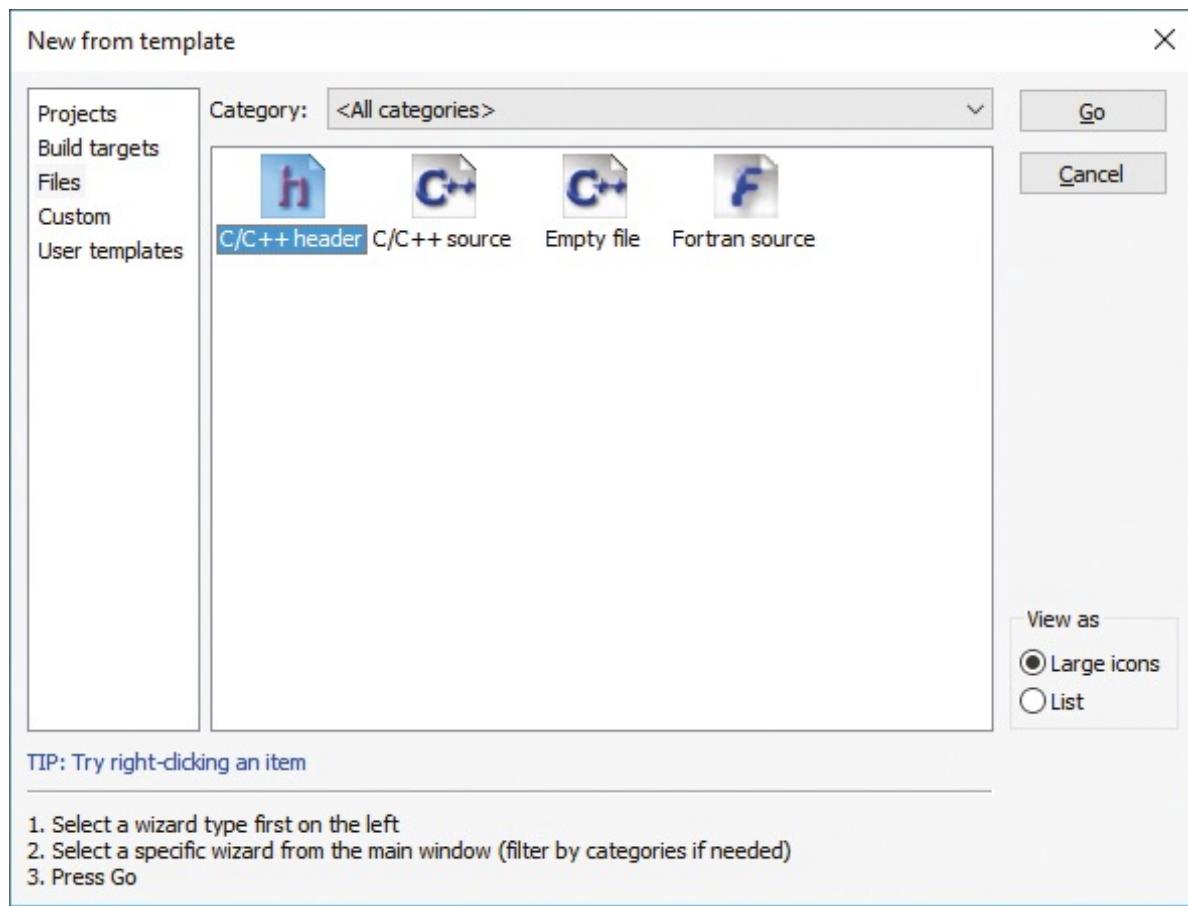


Figura 20.3 – La selezione di un nuovo file di tipo C/C++ header.

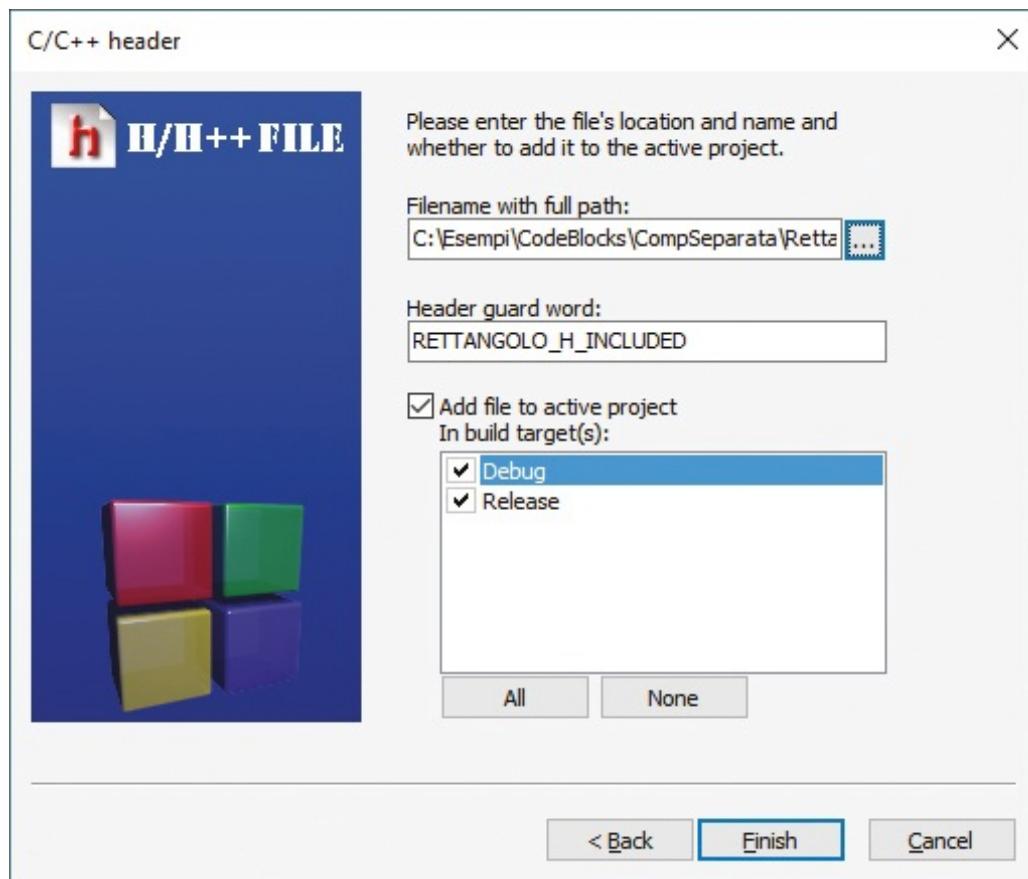


Figura 20.4 – La scelta del nome e del percorso per il file header.

In realtà, al momento il file è vuoto. Ciò che dobbiamo quindi fare è inserire all'interno del file header in questione le specifiche della classe `Rettangolo`.

```
//File Rettangolo.h
#ifndef RETTANGOLO_H_INCLUDED
#define RETTANGOLO_H_INCLUDED
class Rettangolo
{
    public:
        int x;
        int y;
    Rettangolo(int, int);
    ~Rettangolo();
    int Area();
};
#endif // RETTANGOLO_H_INCLUDED
```

All'interno del file header definiamo dunque l'interfaccia di utilizzo della classe: le variabili membro, il costruttore, il distruttore e la funzione `Area`.

Passiamo infine all'utilizzo della nostra classe all'interno della funzione `main` del file principale. Il codice potrebbe essere il seguente:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    cout << "Rettangoli e moduli" << endl;
    Rettangolo rettangolo1(2, 4);
    cout << "L'area del rettangolo e': " << rettangolo1.Area() << endl;

    return 0;
}
```

dove abbiamo semplicemente istanziato un nuovo oggetto `rettangolo1` rispetto al quale ne stampiamo l'area.

Sembrerebbe tutto corretto e al posto giusto. Non proprio; almeno, non ancora. Se proviamo a compilare ci verrà segnalato infatti un errore del tipo:

```
In function 'int main()':
error: 'Rettangolo' undeclared (first use this function)
```

Il motivo, d'altronde banale, di tale errore è dato dal fatto che i file `main.cpp`, `Rettangolo.h` e `Rettangolo.cpp` non sono tra di essi collegati e che quindi il file `main.cpp` non sa nulla della classe `Rettangolo`.

È in questo contesto che entrano in gioco i file header. Tali file, anch'essi semplici file di testo ma con estensione `.h`, servono a definire l'interfaccia della classe e a renderla quindi nota a chi intende utilizzare la classe stessa.

Per completare l'opera dovremo quindi porre nel file `main.cpp` e nel file `Rettangolo.cpp` il collegamento al file header contenente la dichiarazione dell'interfaccia della classe. Per

richiamare il file scriviamo:

```
#include "Rettangolo.h"
```

In effetti tale tecnica di inclusione è quello che stiamo utilizzando sin dall'inizio del nostro viaggio, addirittura dal contesto del C in cui usavamo la direttiva `#include <stdio.h>` per includere le funzionalità standard di input-output.

Tutto ciò va sotto il nome di **programmazione modulare**. Si tratta in buona sostanza, come già detto, di organizzare il codice in moduli separati ma interdipendenti. Lo scopo è quello di facilitare, ancora una volta, il riuso del codice. Ciò di cui abbiamo bisogno è ottenere un risultato e a volte non siamo affatto interessati a sapere come tale risultato sia ottenuto. Utilizziamo i moduli come entità di cui conosciamo le modalità di utilizzo ma non quelle di ottenimento del risultato: siamo nuovamente al concetto di “scatola nera” e di utilizzo di blocchi precostituiti di codice.

Per mettere infine ordine in quanto abbiamo realizzato, vi riporto il codice completo dei tre file facendovi notare che ho dovuto aggiungere nel file `Rettangolo.cpp` i riferimenti al namespace `std` e alla libreria `iostream` in quanto il distruttore fa uso dell'istruzione `cout`.

```
//File main.cpp
#include <iostream>
#include "Rettangolo.h"
using namespace std;
int main()
{
    cout << "Rettangoli e moduli" << endl;
    Rettangolo rettangolo1 (2, 4);
    cout << "L'area del rettangolo e': " << rettangolo1.Area() << endl;
    return 0;
}
//File Rettangolo.h
#ifndef RETTANGOLO_H_INCLUDED
#define RETTANGOLO_H_INCLUDED
class Rettangolo
{
public:
    int x;
    int y;
    Rettangolo(int, int);
    ~Rettangolo();
    int Area();
};
#endif // RETTANGOLO_H_INCLUDED
//File Rettangolo.cpp
#include <iostream>
#include "Rettangolo.h"
using namespace std;
Rettangolo::Rettangolo(int a, int b)
{
    x = a;
    y = b;
```

```
}

Rettangolo::~Rettangolo()
{
    cout << "Fine operazioni";
}

int Rettangolo::Area()
{
    return x * y;
}
```

Ci siamo quasi ma un'ultima osservazione è comunque importante. Forse avrete notato la differenza tra l'inclusione realizzata in automatico dal sistema, come ad esempio: `#include <iostream>`, e l'inclusione realizzata "a mano" da noi: `#include "Rettangolo.h"`. Niente di particolarmente misterioso: l'uso delle parentesi angolari è relativo ai file di sistema predefiniti. Il compilatore ricercherà i file di include indicati all'interno dei percorsi dell'ambiente e del compilatore. Nel caso invece dei doppi apici il compilatore farà riferimento alla cartella corrente relativa al file che realizza l'inclusione.

Il polimorfismo del C++

I nostri pensieri danno forma a ciò che noi supponiamo sia la realtà.

Isabel Allende

Abbiamo visto come un primo elemento base dei linguaggi di programmazione a oggetti sia l'incapsulamento dei dati. Un secondo elemento considerato imprescindibile per tali linguaggi è dato dal cosiddetto **comportamento polimorfico** o più semplicemente **polimorfismo**.

Con tale termine ci si riferisce al fatto che uno stesso elemento di programmazione può esibire comportamenti diversi a seconda di specifiche circostanze.



Figura 21.1 – Due diverse personalità dell'uomo ragno.

Monomorfismo e polimorfismo

Per chiarire il concetto vi invito a pensare a una funzione del linguaggio C così come vista nella sezione riguardante appunto tale linguaggio. Una volta definito il prototipo della funzione e indicati il numero e il tipo di argomenti, tale funzione deve essere esplicitamente chiamata con tali argomenti, pena segnalazione di errore da parte del compilatore. Si tratta dunque di **monomorfismo**.

Il C++ prevede invece un comportamento polimorfico con una tecnica nota come **overloading (sovraffunzione)**. È così possibile definire più copie della stessa funzione, aventi lo stesso nome, che differiscono tuttavia per il numero di argomenti gestiti.

Supponiamo ad esempio di realizzare una funzione C che prenda in input un intero e che serva per inserire in fase di stampa tante tabulazioni quante indicate dall'intero input della funzione stessa. Chiamiamo tale funzione `Tab` e scriviamo il seguente codice:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
void Tab(int);
int main()
{
    Tab(3);
    printf("Test tabulazioni C!\n");
    return 0;
}
void Tab (int n)
{
    int i;
    for (i=1; i<=n; i++)
    {
        printf("\t");
    }
}
```

Una volta definiti il tipo, `int` nel nostro caso, e il numero di parametri, sempre nel nostro caso uno solo, tale funzione deve essere per forza di cose chiamata in tal modo. Nel nostro esempio chiamo la funzione con `Tab(3);` per inserire tre tabulazioni. Ormai siete esperti e potete capire che in maniera molto banale la funzione usa un ciclo `for`, da 1 a `n`, cioè il valore input della funzione, e a ogni iterazione stampa il qualificatore '`\t`' per inserire un carattere di tabulazione.

Per intenderci, se provassimo a chiamare la funzione `Tab` scrivendo semplicemente `Tab();` volendo ad esempio supporre di voler inserire un solo tabulatore, otterremmo un errore del tipo:

```
error: too few arguments to function 'Tab'
```

Per la serie: troppi pochi argomenti passati alla funzione `Tab`. In effetti `Tab` si aspetta almeno un argomento. La cosa che il C++ consente di fare rispetto al C è definire più versioni della stessa funzione che differiscono per il numero di argomenti. Ad esempio, in C++ potremmo scrivere due differenti versioni della funzione `Tab`: la prima che non prende in input alcun argomento e che quindi in maniera predefinita decidiamo che stampi un solo tabulatore; la seconda, invece, che prendendo in input un intero stampa il corrispondente numero di tabulazioni. Di seguito una

possibile codifica:

```
#include <iostream>
using namespace std;
void Tab(void);
void Tab(int);
int main()
{
    Tab();
    cout << "Test" << endl;
    Tab(2);
    cout << "tabulazioni" << endl;
    return 0;
}
void Tab (void)
{
    cout << "\t";
}
void Tab (int n)
{
    int i;
    for (i=1; i<=n; i++)
    {
        cout << "\t";
    }
}
```

Se provassimo a realizzare una cosa simile con il C otterremmo un messaggio di errore del tipo:

```
error: conflicting types for 'Tab'
```

a segnalargli l'impossibilità di compilare a causa di un conflitto sui tipi per la funzione in esame. Per comprendere meglio la portata della questione, in particolare nel contesto degli oggetti, ci rifacciamo all'esempio della nostra classe rettangolo. Supponiamo che in determinate circostanze si voglia creare un rettangolo di tipo predefinito che abbia, ad esempio, dimensioni generiche e predefinite per base e altezza. Risulta comodo in questa situazione aggiungere un nuovo costruttore che non prevede argomenti e che una volta chiamato assegna in automatico base e altezza, appunto, con valori predefiniti.

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Rettangolo
{
public:
    int x;
    int y;
    Rettangolo(int, int);
    Rettangolo();
    int Area();
};
Rettangolo::Rettangolo(int a, int b)
{
```

```

x=a;
y=b;
}
Rettangolo::Rettangolo()
{
    x=2;
    y=1;
}
int Rettangolo::Area()
{
    return x * y;
}
int main()
{
    cout << "La mia classe rettangolo" << endl;
    Rettangolo rettangolo1 (3, 6);
    Rettangolo rettangolo2;
    cout << "L'area del primo rettangolo vale: " << rettangolo1.Area() << endl;
    cout << "L'area del secondo rettangolo vale: " << rettangolo2.Area() << endl;
    return 0;
}

```

La cosa da notare è che creando il secondo rettangolo con:

```
Rettangolo rettangolo2;
```

non abbiamo passato valori al costruttore e che quindi il sistema sceglie automaticamente la specifica implementazione del costruttore assegnando a x il valore 2 e a y il valore 1.

Una nota importante riguarda il fatto che la chiamata avviene senza l'utilizzo delle parentesi tonde. La seguente forma sarebbe quindi errata:

```
Rettangolo rettangolo2(); //ERRATO
```

In definitiva l'overloading consiste nella possibilità di creare più versioni di una stessa funzione che possono però differire nel numero degli argomenti e, volendo, anche nel tipo degli argomenti stessi. Il numero e il tipo di argomenti prende il nome di **firma della funzione**.

Una firma per la classe

L'esempio mostrato in precedenza fa riferimento a una firma della funzione che differisce per il **numero di argomenti**. Può essere interessante osservare come si verifichi un comportamento polimorfico in presenza di una firma che differisce per il **tipo di argomenti**. Di seguito vi mostro una classe minimale, che ho chiamato `Calcolatrice`, che potrebbe essere utilizzata per realizzare tutta una serie di operazioni aritmetico-matematiche. Trattandosi di un contesto d'esempio, nella classe definisco una sola operazione relativa alla divisione tra due numeri:

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Calcolatrice
{
    public:
        int x;
        int y;
        void Dividi(int, int);
        void Dividi(double, double);
    };
void Calcolatrice::Dividi(int a, int b)
{
    cout << a/b;
}
void Calcolatrice::Dividi(double a, double b)
{
    cout << a/b;
}
```

Ponete attenzione alla funzione `Dividi`. Questa ha due diverse implementazioni. La prima prevede come argomenti due interi, mentre la seconda prevede come input due numeri di tipo double. Potrete verificare che richiamando la funzione `Dividi`, passandole due interi, si otterrà come risultato un numero intero privando l'output di una possibile parte decimale. Ad esempio, scrivendo nel `main`:

```
Calcolatrice c;
c.Dividi(5,2);
```

otterremo come risultato il valore 2. D'altra parte con il seguente codice:

```
Calcolatrice c;
c.Dividi(5.0,2.0);
```

otterremo come risultato il valore 2.5. Ciò è dovuto al fatto che il compilatore riesce a selezionare la funzione membro da richiamare individuando il tipo di argomenti che vengono passati. Aggiungendo zero come parte decimale, il compilatore determina che si tratta di un numero con la virgola e lo assegna come input alla funzione che prende in input i valori double.

Codice e ambiguità

Come si evince dall'esempio appena visto, il compilatore è in grado di associare la giusta funzione in base agli argomenti della firma della funzione stessa. Tuttavia, come sempre, possono verificarsi problemi di comprensione quando vi sono delle situazioni di **ambiguità**. Una prima verifica, molto banale, di tali problemi è relativa alla situazione per la quale richiamiamo la funzione dell'esempio precedente come segue:

```
Calcolatrice c;  
c.Dividi(5.0, 2);
```

Il compilatore ci segnalera' qualcosa del tipo:

```
error: call of overloaded 'Dividi(double, int)' is ambiguous  
candidates are:  
void Calcolatrice::Dividi(int, int)  
void Calcolatrice::Dividi(double, double)
```

Si può facilmente intuire il motivo dell'errore da una sommaria traduzione di quanto ci riferisce il compilatore: "*la chiamata della funzione in overload Dividi(double, int) è ambigua*". Infatti, proseguendo nell'esame dell'errore, si scopre che i candidati per la funzione sono effettivamente due. Tuttavia nessuno prende in input come primo argomento un double e come secondo un intero. Il primo numero, 5.0, viene considerato infatti dal compilatore come double, mentre il secondo, non avendo parte decimale, viene considerato un intero.

Un'altra situazione di ambiguità sicuramente più particolare, e che potrebbe causare qualche perplessità, è relativa al caso in cui dovessimo dichiarare la funzione `Dividi` come segue:

```
void Dividi(float, float);
```

Anche in questo caso il compilatore ci porrebbe di fronte a un errore di ambiguità nel momento in cui dovessimo richiamare la funzione scrivendo: `c.Dividi(5.0, 2.0);`

Ciò è causato dal fatto che il compilatore forza in automatico, come già detto, i numeri con la virgola 5.0 e 2.0 a essere di tipo `double`. Avendo predisposto la firma con valori di tipo `float` potete spiegarvi immediatamente la causa dell'errore di compilazione.

Una possibile soluzione per evitare l'errore potrebbe essere quella di **castare** (effettuare un cast) in maniera esplicita dei valori forzandoli a essere di tipo `float` scrivendo:

```
c.Dividi((float)5.0, (float)2.0);
```

Ovviamente la bontà di una tale scelta è molto dubbia. Così come è estremamente discutibile la scelta di stampare direttamente i valori risultanti dall'operazione di divisione tramite `cout`. Si ribadisce in questo ambito che gli esempi sono per forza di cose elementi atomici che devono essere considerati per quello che sono: esempi d'uso di una certa tecnologia in un contesto molto limitato, predisposto e privo di fronzoli per massimizzare il focus sul dettaglio che si sta presentando di volta in volta. D'altronde ripeto, fino alla noia, che un linguaggio non si impara sul serio se non scrivendo codice che risolve problemi specifici, quindi "sporcandosi le mani".

Quando il numero conta: array di oggetti

Di norma è abbastanza improbabile dover creare una classe per gestire un singolo oggetto di un dato tipo. Più spesso si ha necessità di un insieme di oggetti tutti dello stesso tipo ma con differenti valori relativi alle specifiche proprietà. Il modo più semplice per gestire tali elenchi di oggetti è quello di creare un array in cui ogni elemento è proprio un oggetto. Il discorso è del tutto analogo agli array di strutture.

Supponiamo allora di voler sfruttare la nostra classe `Rettangolo` per definire una serie di cornici, eventualmente da disegnare a schermo. Per farlo possiamo definire un array di oggetti `Rettangolo` come segue:

```
Rettangolo cornici[10];
```

In questo modo definiamo un array di 10 oggetti di tipo `Rettangolo`. La cosa che vi invito a considerare è che tale operazione è possibile solo nel momento in cui abbiamo definito, all'interno della classe, un costruttore di default che non riceve parametri. Dobbiamo infatti considerare che nel momento in cui dichiariamo un tale array, il sistema dovrà creare ben 10 oggetti di quel tipo specifico. Per farlo dovrà chiamare per forza di cose, in maniera del tutto automatica, il costruttore predefinito. Se tale costruttore dovesse essere gestito ricevendo degli specifici argomenti avremmo davvero serie difficoltà.

Nel caso in cui dovesse essere necessario un solo parametro per il singolo oggetto dell'array, potremmo richiamare la dichiarazione dell'array in questione passando una specifica lista di parametri, tra parentesi graffe, così come facciamo per l'inizializzazione di un array classico. Dovremmo cioè scrivere qualcosa del genere:

```
Rettangolo cornici [] = {2, 4, 6, 8, 10, 1, 3, 5, 7, 9};
```

Ogni singolo valore presente tra parentesi graffe rappresenta il valore passato al costruttore del singolo oggetto. Deve essere quindi chiaro che per poter gestire questa inizializzazione deve essere presente, tra i vari possibili costruttori, uno specifico che gestisce in input un solo parametro. Ovviamente, una tale organizzazione mal si presta al nostro contesto di esempio relativo al rettangolo. Infatti, in generale, può avere poco senso inizializzare un rettangolo passandogli uno solo dei suoi lati. Una tale organizzazione avrebbe sicuramente più consistenza nel caso di una figura geometrica tipo il quadrato, in cui anche passando un solo valore per un suo lato, essendo tali lati uguali tra loro, non ci sarebbero situazioni di ambiguità.

Puntare sulla classe

Un aspetto interessante che ancora non abbiamo toccato è relativo al fatto che è possibile, come ovviamente ci saremmo aspettati, riferirsi a un oggetto attraverso un puntatore a esso. Si tratta di un approccio del tutto simile a quanto visto per i puntatori alle strutture. In merito alla nostra classe `Rettangolo`, volendo utilizzare un puntatore potremmo scrivere:

```
int main()
{
    cout << "Rettangoli e puntatori" << endl;
    Rettangolo r;
    Rettangolo *pr;
    pr = &r;
    cout << "L'area del rettangolo vale: " << pr->area() << endl;
    return 0;
}
```

In questo caso mi sono limitato a presentare il solo `main` in quanto la classe e il restante codice per la sua definizione lo riteniamo immutato rispetto agli esempi precedenti. In tale esempio, `pr` rappresenta un **puntatore all'oggetto** `r` di tipo `Rettangolo`. La cosa da notare, ma d'altronde già nota in quanto già vista per le struct del C, è la notazione con la freccia `->` utilizzata per accedere alle funzioni membro della classe nel momento in cui effettuiamo tale accesso tramite puntatori.

Da punto a punto: puntare su se stessi

Un altro aspetto di estremo interesse, e con enormi risvolti pratici collegato ai puntatori e alla dichiarazione di una classe, è dato dal fatto che è possibile creare un puntatore a un dato oggetto come membro dell'oggetto stesso e farlo puntare a un altro oggetto del proprio stesso tipo. Un esempio è indispensabile. Per realizzarlo, tuttavia, lasciamo per un attimo la nostra classe `Rettangolo` e immaginiamo di dover gestire dei segmenti fatti da più punti in un classico piano cartesiano, con tanto di ascisse (asse x) e ordinate (asse y).

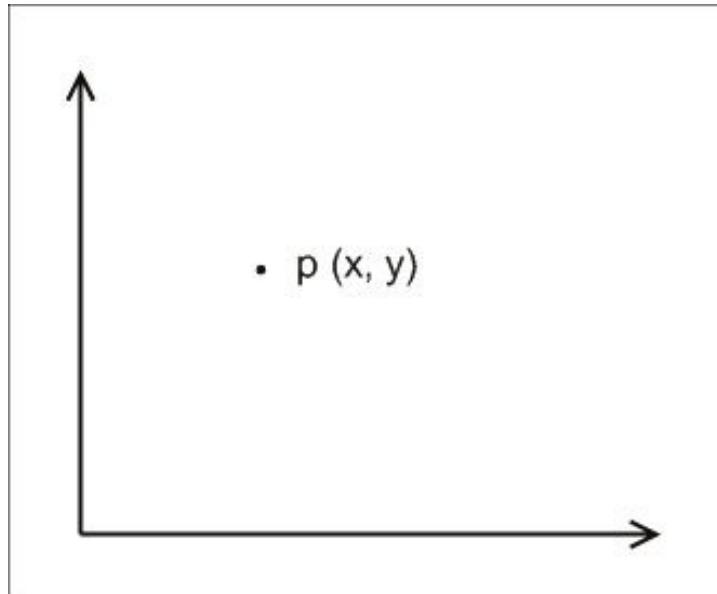


Figura 21.2 – Un punto nel piano cartesiano.

La volontà di realizzare un nuovo esempio è motivata da due considerazioni. La prima è che più esempi riuscite a tirar fuori nel vostro viaggio all'interno della programmazione e maggiori opportunità di crescita avrete all'interno di tale mondo. La seconda considerazione è che creare una successione di oggetti di tipo rettangolare è meno probabile piuttosto che la creazione di una successione di punti che vanno a rappresentare una serie di segmenti: quella che in gergo viene anche chiamata spezzata. Si tratta in buona sostanza di un esempio maggiormente realistico. Ciò che vogliamo quindi realizzare è un insieme di punti tali che ognuno di essi possa contenere un puntatore a un punto successivo, ovviamente generato dalla stessa classe. Vediamo innanzitutto come costruire la classe `Point`. Utilizzando la schematizzazione tipica dell'UML vista in precedenza possiamo realizzare la struttura proposta nella Figura 21.3.

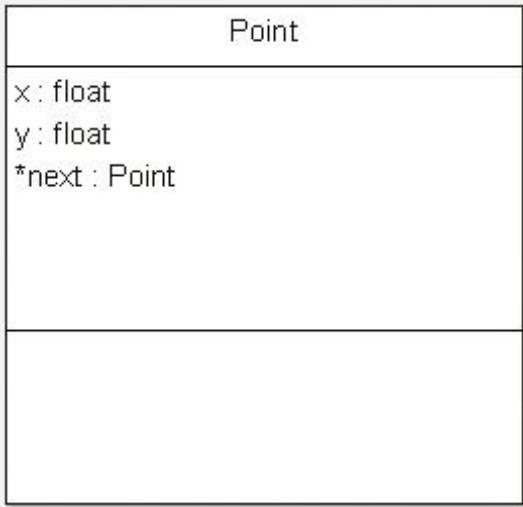


Figura 21.3 – Una rappresentazione della classe Point tramite UML.

Ogni singolo punto è costituito da una coppia di coordinate e da un puntatore a un punto successivo. Può essere di aiuto vederlo sotto forma grafica per cui vi propongo la Figura 21.4.

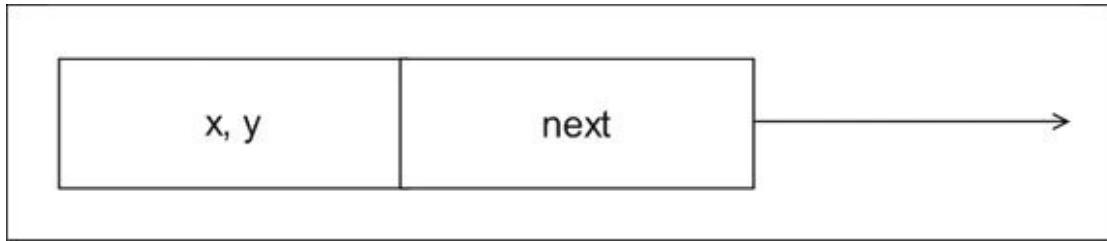


Figura 21.4 – Una rappresentazione grafica della classe Point.

Da tale figura è palese la sezione dei dati contenuti nel punto e il collegamento, `next`, al punto successivo.

Una possibile implementazione del codice della classe potrebbe essere allora la seguente:

```

#include <iostream>
using namespace std;
class Point
{
public:
    float x;
    float y;
    Point *next;
    Point();
    Point(float, float);
};
Point::Point()
{
    x=0;
    y=0;
}
Point::Point(float a, float b)
{
    x=a;
}

```

```

y=b;
}
int main()
{
    cout << "Segmenti!" << endl;
    return 0;
}

```

Cominciamo con una classe davvero minimale. La cosa che vi faccio subito osservare è la scelta dei nomi in inglese per gli elementi della classe: `Point` per la classe stessa e `next` per il puntatore al punto successivo.

Il motivo è dato dal fatto che spesso anche noi italiani preferiamo utilizzare tale lingua, per certi aspetti universale, per denominare diversi elementi di programmazione. L'inglese è infatti molto tecnico ed essenziale e ben si presta a essere utilizzato nel codice sorgente.

Per il resto la classe `Point` fin qui costruita è assolutamente essenziale. Ho definito i punti `x` e `y` come `float` per poter gestire coordinate con la virgola. La cosa che balza all'occhio è il membro dichiarato come `Point *next;` ovvero un puntatore, che chiamiamo `next` (successivo), a un oggetto di tipo `Point`. Per il resto possiamo osservare i due costruttori, ovvero le funzioni con lo stesso nome della classe, che abbiamo detto essere richiamati nel momento in cui viene creato un oggetto.

Il primo costruttore, che non prende argomenti, ci serve per creare punti di default nell'origine degli assi cartesiani (0, 0). Il secondo costruttore ci serve per creare punti con coordinate ben precise eventualmente richieste dal problema.

Per dare senso al programma dobbiamo ovviamente creare una serie di punti. Supponiamo di realizzarne solo tre; modifichiamo allora il nostro `main` aggiungendo quanto segue:

```

Point a(1,1);
Point b(3,1);
Point c(2,2);

```

Dove banalmente abbiamo costruito tre punti (`a`, `b`, `c`) con le coordinate passate tramite la funzione costruttore. Tuttavia, fino a questo momento si tratta di tre punti nello spazio indipendenti gli uni dagli altri. Per legarli tra loro, volendo ad esempio formare un triangolo utilizzando i punti come vertici, dobbiamo collegare il puntatore del primo punto al secondo e quello del secondo al terzo. Lasciamo il terzo punto con puntatore nullo, che indicherà il fatto che si tratta di un punto terminale della sequenza.

Scriviamo allora:

```

a.next = &b;
b.next = &c;

```

avendo così indicato che il puntatore `next` di `a` punta all'indirizzo di `b` (abbiamo scritto `&b`). Inoltre il puntatore `next` di `b` punta all'indirizzo di `c` (avendo scritto `&c`).

Volendo infine stampare le coordinate dei punti possiamo scrivere:

```

cout << "Le coordinate dei punti sono: " << endl;
cout << "Punto a: " << a.x << " " << a.y << endl;
cout << "Punto b: " << a.next->x << " " << a.next ->y << endl;
cout << "Punto c: " << b.next->x << " " << b.next ->y << endl;

```

Come si può comprendere abbastanza facilmente, le coordinate del primo punto le stampiamo senza problemi facendo riferimento direttamente ai membri x e y . Per il punto b facciamo vedere come possiamo accedere a esso a partire dal punto a . Analogamente, l'accesso al punto c lo otteniamo a partire dal puntatore presente nel punto b .

Overloading anche sugli operatori

Abbiamo visto come sia possibile ampliare le modalità di comportamento di determinate funzionalità attraverso l'overloading, facendo sì che una data funzione sia specializzata rispetto a specifici argomenti: la firma della classe. La potenza del C++ va anche oltre. È infatti possibile ampliare le possibilità di applicazione addirittura degli operatori stessi. Ciò rientra nelle caratteristiche di estendibilità del linguaggio.

Per intenderci, gli **operatori** sono gli strumenti che ci consentono appunto di operare efficacemente sui dati. Un classico esempio di operatori applicati ai dati è qualcosa del tipo:

a + b

Sorpresi dalla semplicità? In effetti, a e b rappresentano i dati e il simbolo + rappresenta l'operatore che applichiamo a tali dati. Siamo talmente abituati a tali formalismi che riconosciamo subito l'operatore di somma e attribuiamo mentalmente un valore numerico ai simboli a e b.

Gli operatori non fanno altro che comportarsi come delle vere e proprie funzioni, in quanto prendono in input dei dati ed elaborandoli restituiscono altri dati.

Ogni linguaggio porta con sé una serie di operatori standard. Per avere un esempio specifico possiamo ripensare all'intera carrellata di operatori aritmetici, relazionali e logici visti per il linguaggio C. Ma ancora, possiamo fare riferimento agli operatori di input e output, >> e <<, più recentemente incontrati in relazione al C++.

Nella normalità dei casi tali operatori si applicano ai tipi di dati standard presenti nel linguaggio: numeri interi, numeri con la virgola ecc. Tali tipi di dati sono quelli **nativi** del linguaggio. Il termine nativo indica che si tratta di dati che nascono con il linguaggio stesso e che sono messi a disposizione in maniera del tutto naturale.

Vi sono tuttavia dei casi in cui i dati sono di tipo più complesso e le classiche operazioni, anche quelle banali come la somma, diventano sicuramente più complesse da gestire. Se infatti è chiaro cosa significhi a+b quando a e b sono numeri interi, ci si può domandare come si realizzi la stessa operazione di "somma" se a e b sono delle sequenze di caratteri. Ebbene, per **overloading degli operatori** si intende la possibilità di estendere l'uso di simboli, quali +, -, *, / e tanti altri, a essere applicati a dati di tipo generico.

Un po' di precisazioni possono risultare importanti. La prima è relativa al fatto che, sebbene si possa effettuare l'**overload** di quasi tutti gli operatori, per alcuni di essi (pochissimi) tale overload è impossibile come ad esempio per gli operatori . e ::.

Un'altra osservazione importante è che con l'overload è possibile ampliare il campo di azione di un operatore esistente ma non è assolutamente possibile creare nuovi simboli di nuovi operatori. Infine, bisogna sottolineare come l'overloading non possa cambiare il numero e l'ordine degli argomenti gestiti dall'operatore. Per intenderci, se l'operatore è **unario**, cioè si applica a un solo argomento, oppure è di tipo **binario** nel senso che si applica a due argomenti come nel caso della somma, l'overloading dell'operatore non può alterare tale situazione. Può essere interessante sapere che esiste a tal proposito un termine specifico che indica il contesto di applicabilità di un dato operatore rispetto al numero di operandi: **arietà**. Con tale termine, ma anche con il termine

rango, si indica infatti il numero di argomenti (operandi) che una data funzione può prendere in input.

Per applicare l'overloading a un operatore si utilizza in C++ una specifica parola chiave **operator** seguita dal simbolo dell'operatore per il quale si vuole effettuare l'overloading. Ad esempio: `operator+` per sovraccaricare l'operatore `+`.

Per chiarire i meccanismi dell'overloading degli operatori possiamo riferirci, per semplicità, all'operatore di somma `+` calato nel contesto degli oggetti punto del piano cartesiano visti in precedenza. Ciò che cerchiamo di fare è realizzare la somma di due punti del piano. Un primo, velleitario, approccio potrebbe essere il seguente:

```
int main()
{
    cout << "Somma di punti" << endl;
    Point a(1,1);
    Point b(3,1);
    Point s;
    s = a + b;
    cout << "Le coordinate dei punti sono: " << endl;
    cout << "Punto a: " << a.x << " " << a.y << endl;
    cout << "Punto b: " << b.x << " " << b.y << endl;
    cout << "Punto s: " << s.x << " " << s.y << endl;
    return 0;
}
```

Dove ho riportato la sola sezione del `main` considerando l'altra parte, relativa alla definizione dell'oggetto `Point`, immutata. Come è normale attendersi, il codice genera un errore:

```
In function 'int main()' error: no match for 'operator+' in 'a + b'
```

Da tale errore risulta chiaro che il codice non sa gestire la somma tra gli elementi `a` e `b`.

Per risolvere il problema in maniera elegante dobbiamo dunque effettuare l'overloading dell'operatore somma per fare in modo che tale operatore possa essere applicato, oltre che a normali valori numerici, anche ai nostri oggetti di tipo `Point`. Codifichiamo dunque quanto segue:

```
Point operator+ (Point &a, Point &b)
{
    Point s;
    s.x = a.x + b.x;
    s.y = a.y + b.y;
    return s;
}
```

Nel codice proposto è semplice osservare come si ottenga che le coordinate del punto risultante dalla somma siano rispettivamente la somma delle ascisse e delle ordinate dei due punti coinvolti nell'operazione e come tali punti vengano passati per indirizzo.

Tale overloading è stato ottenuto con una semplice funzione. Più in generale è possibile definire l'overloading di un operatore attraverso un metodo della classe. Tale approccio, utilizzante i metodi della classe, è indispensabile quando il risultato di un operatore è un membro della classe stessa.

Vediamo allora una variante al codice appena visto per implementare l'overloading dell'operatore somma di punti come metodo della classe `Point`.

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Point
{
public:
    float x;
    float y;
    Point *next;
    Point();
    Point(float, float);
    Point operator+ (Point);
};
Point::Point()
{
    x=0;
    y=0;
}
Point::Point(float a, float b)
{
    x = a;
    y = b;
}
Point Point::operator+ (Point p)
{
    Point s;
    s.x = x + p.x;
    s.y = y + p.y;
    return s;
}
int main()
{
    cout << "Somma di punti" << endl;
    Point a(1,1);
    Point b(3,1);
    Point s;
    s = a + b;
    cout << "Le coordinate dei punti sono: " << endl;
    cout << "Punto a: " << a.x << " " << a.y << endl;
    cout << "Punto b: " << b.x << " " << b.y << endl;
    cout << "Punto s: " << s.x << " " << s.y << endl;
    return 0;
}
```

Un primo elemento da notare è la seguente dichiarazione, presente all'interno della definizione della classe `Point`:

```
Point operator+ (Point);
```

nella quale indichiamo la volontà di definire l'overloading dell'operatore somma.

L'implementazione della funzionalità di overloading viene invece realizzata dal codice seguente:

```
Point Point::operator+ (Point p)
{
    Point s;
    s.x = x + p.x;
    s.y = y + p.y;
    return s;
}
```

nel quale, nella prima riga, osserviamo che il primo `Point` si riferisce al tipo di valore restituito mentre il secondo `Point` è il nome della classe.

Ereditarietà

La struttura materiale e meravigliosamente complessa del cervello è l'hardware che i nostri computer cercano di imitare, mentre tutte le esperienze che si vanno accumulando, da quando si nasce a quando si muore, formano un software in continua evoluzione, che noi chiamiamo anima.

Margherita Hack

L'evoluzione è senza ombra di dubbio la base su cui si poggia tutto ciò che ci circonda e fondamento stesso della vita. Inscindibilmente legato al concetto di evoluzione vi è il passaggio delle caratteristiche proprie di una data generazione a quella successiva, in un anelito di progresso di una genia comune ma che si migliora sistematicamente. Tale passaggio di "memorie" da una generazione all'altra viene normalmente definito **ereditarietà**.

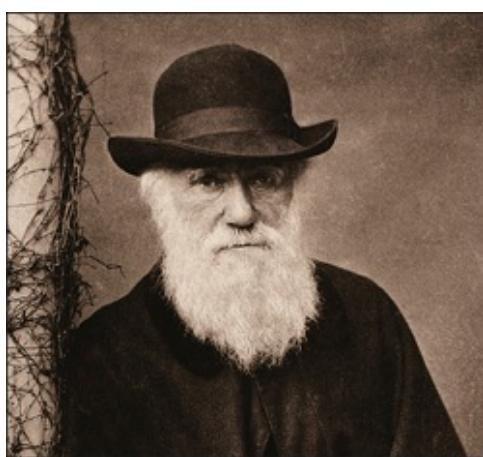


Figura 22.1 – Charles Darwin: il padre della teoria dell'evoluzione.

Alla base della vita c'è dunque l'ereditarietà e la programmazione a oggetti cerca di imitare tale

aspetto dando la possibilità di creare oggetti che ereditano, da altri oggetti già creati, una serie di caratteristiche comuni per evitare, in buona sostanza, di dover reinserire nei nuovi oggetti gli stessi elementi già presenti nei “genitori”.

L'**ereditarietà**, con l'**incapsulamento** e il **polimorfismo** già visti in precedenza, rappresentano i mattoni fondanti della programmazione orientata agli oggetti.

L'ereditarietà del C++

Dopo aver compreso, almeno nelle linee generali, cosa si intende per ereditarietà, vediamo in dettaglio come si implementa e sfrutta tale caratteristica nel contesto specifico del linguaggio C++.

La classe di partenza è nota come **classe base**, o anche **superclasse**, ed è la classe che definisce le caratteristiche del tutto generali di un dato oggetto. A partire da tale classe si possono creare altre classi, che ereditano dalla classe base una serie di caratteristiche aggiungendone delle nuove più specifiche. Tali classi prendono il nome di **classi derivate** o **sottoclassi**.

La sintassi per definire una classe derivata è la seguente:

```
class B : public class A
{
    //
};
```

dove `B` è la classe che eredita le caratteristiche della classe `A`. In tale dichiarazione vi sono due elementi importanti da sottolineare. Il primo è l'uso del simbolo ‘`:`’, cioè due punti, che separa la classe derivata (in questo caso `B`) dalla classe base (nel nostro caso `A`).

Un altro elemento fondamentale da notare è il cosiddetto **specificatore di accesso**, nell'esempio qui sopra `public`, che precede la dicitura `class A`.

Vi propongo ora un esempio concreto facendo riferimento a un ipotetico programma per la gestione di figure geometriche sia nel piano (noto come 2D, cioè due dimensioni) sia nello spazio (ovvero 3D).

Una classica figura geometrica dalla quale si può partire è il cerchio. Il seguente codice definisce l'oggetto `Cerchio` con una proprietà `raggio` e un metodo `Area` sicuramente autoespliativi:

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Cerchio
{
public:
    float raggio;
    float Area();
    Cerchio (float);
};
Cerchio::Cerchio(float r)
{
    raggio = r;
}
float Cerchio::Area()
{
    return raggio * raggio * 3.14;
}
int main()
{
    cout << "Test ereditarieta'" << endl;
    Cerchio cerchio1(4.0);
    cout << "L'area del cerchio e': " << cerchio1.Area() << endl;
```

```
    return 0;  
}
```

Molto banalmente, nel nostro esempio, il costruttore realizza un nuovo cerchio con raggio di misura 4.0. Subito dopo ne stampiamo l'area con l'apposita funzione membro. Una possibile rappresentazione della classe può essere quella rappresentata in Figura 22.2.



Figura 22.2 – La rappresentazione in UML della classe Cerchio.

Ovviamente il cerchio “vive” nel piano bidimensionale e la sua estensione nelle tre dimensioni è il cilindro. È naturale immaginarsi come tale cilindro possa ereditare in maniera immediata proprietà e metodi del cerchio includendone però di propri, come ad esempio un metodo “volume”.

Per rendere maggiormente chiaro anche dal punto di vista della rappresentazione grafica tale situazione ci viene in aiuto il linguaggio UML, che consente di rappresentare le dipendenze ereditarie utilizzando apposite frecce che uniscono le classi coinvolte dalla specifica relazione di appartenenza. Ad esempio, in merito alla relazione tra cerchio e cilindro, possiamo usare la rappresentazione proposta nella Figura 22.3.

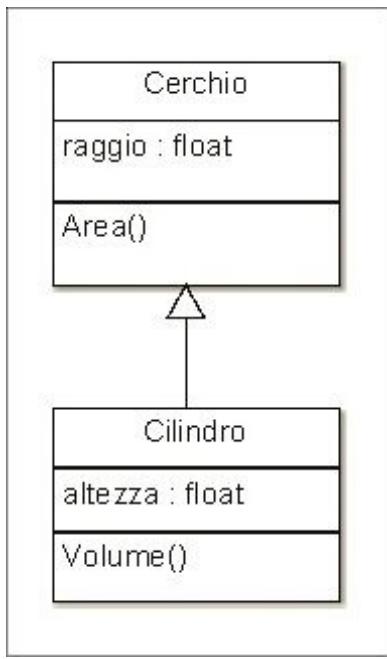


Figura 22.3 – La rappresentazione in UML della relazione di eredità tra la classe Cerchio e la classe Cilindro.

Come dovrebbe essere chiaro, una **freccia** unisce le due classi a partire dalla classe derivata verso la classe base.

Vediamo una possibile implementazione del codice della classe `Cilindro` che andrà a espandere la classe base `Cerchio`:

```

#include <iostream>
using namespace std;
class Cerchio
{
public:
    float raggio;
    float Area();
    Cerchio ();
    Cerchio (float);
};
Cerchio::Cerchio()
{
    raggio=1;
}
Cerchio::Cerchio(float r)
{
    raggio=r;
}
float Cerchio::Area()
{
    return raggio * raggio * 3.14;
}
class Cilindro: public Cerchio
{
public:
    float altezza;
}

```

```

    float Volume();
    Cilindro ();
    Cilindro (float, float);
};

Cilindro::Cilindro()
{
    altezza= 1;
}
Cilindro::Cilindro(float r, float h)
{
    raggio=r;
    altezza= h;
}
float Cilindro::Volume()
{
    return raggio * raggio * 3.14 * altezza;
}

```

Facciamo come di consueto qualche osservazione. La prima cosa che abbiamo aggiunto alla classe `Cerchio` è stato il **costruttore di default**. Ciò è necessario in quanto nel caso di creazione diretta di un cilindro dovrà essere creato anche il corrispondente cerchio che funge da base. In maniera predefinita possiamo pensare di impostare il valore del raggio di tale base a 1. Tutto ciò è banalmente ottenuto dalla funzione:

```

Cerchio::Cerchio()
{
    raggio=1;
}

```

Per quanto riguarda la definizione della classe `Cilindro`, essa viene codificata come segue:

```

class Cilindro: public Cerchio
{
    public:
    float altezza;
    float Volume();
    Cilindro ();
    Cilindro (float, float);
};

```

In tale definizione vi invito a osservare la prima riga, nella quale utilizzo i due punti per rendere esplicita la derivazione del cilindro a partire dal cerchio: `class Cilindro: public Cerchio`.

Per il resto non c'è più molto da dire; ho definito un membro `altezza` del cilindro e due costruttori. Tra questi, il primo crea un cilindro predefinito con base di raggio 1 e altezza 1, mentre il secondo costruttore consente di passare per raggio di base e altezza specifici valori di proprio interesse o necessità.

Per concludere questa sezione introduttiva sull'ereditarietà non ci resta che vedere come testare il funzionamento delle nostre due classi. Una semplice implementazione della funzione `main` potrebbe essere la seguente:

```
int main()
{
    Cilindro cilindro1;
    Cilindro cilindro2(2,2);

    cout << "I DUE CILINDRI" << endl;
    cout << "L'area della base del primo cilindro e': " << cilindro1.Area() << endl;
    cout << "Il volume del primo cilindro e': " << cilindro1.Volume() << endl;
    cout << "L'area della base del secondo cilindro e': " << cilindro2.Area() << endl;
    cout << "Il volume del secondo cilindro e': " << cilindro2.Volume() << endl;

    return 0;
}
```

Le prime due righe creano due differenti cilindri: il primo con dimensioni standard e il secondo con raggio e altezza pari a 2. Le righe successive stampano i corrispondenti valori di area di base e altezza.

È ovvio, in ogni caso, che possiamo utilizzare la classe base a nostro piacimento indipendentemente dalla sua sottoclassificazione, scrivendo ad esempio una dichiarazione del tipo:

```
Cerchio cerchio1(4.0);
```

creando in tal modo un cerchio con un raggio di 4 unità.

Proteggere i membri della propria classe

Nella presentazione dei membri di una classe, più precisamente nel Capitolo 19, abbiamo detto che per default, cioè in maniera predefinita, tali membri sono assolutamente privati e quindi accessibili alla sola classe. Abbiamo inoltre visto come fosse, infatti, necessario utilizzare il qualificatore `public` per rendere pubblici e quindi utilizzabili dall'esterno tali membri. Ad esempio, la seguente definizione di classe:

```
class Test
{
    public:
        int a;
        int b;

    private:
        int x;
};
```

definisce come privato il membro `x` e come pubblici, e quindi accessibili dall'esterno della classe, i membri `a` e `b`.

Ho effettuato questa breve premessa riepilogativa in quanto è giunto il momento di segnalarvi un particolare che vi avevo precedentemente tenuto nascosto: esiste un terzo qualificatore relativo alla visibilità dei membri di una classe! Tale qualificatore è **protected** e consente un approccio mediano rispetto ai due precedenti. In effetti, dichiarando dei membri come “protetti”, si concede l'accesso non solo dall'interno della classe di appartenenza ma anche **da parte delle classi derivate** dalla classe base all'interno della quale abbiamo dichiarato tali membri.

A puro titolo esemplificativo vi propongo una modifica della classe di esempio `Test` inserendo due membri, `c` e `d`, come elementi di tipo `protected`.

```
class Test
{
    public:
        int a;
        int b;
    private:
        int x;
    protected:
        int c;
        int d;
};
```

Per maggiore chiarezza vi sottopongo una verifica di quanto detto, relativamente alla classe `Cerchio` vista in precedenza. È possibile dichiarare il membro `raggio` come protetto, come mostrato di seguito, consentendo comunque la sua visibilità dalla classe derivata.

```
class Cerchio
{
    public:
        float Area();
        Cerchio ();
};
```

```
Cerchio (float);
protected:
float raggio;
};
```

Al contrario, nel caso in cui il membro `raggio` dovesse essere dichiarato esplicitamente come privato all'interno della classe base:

```
class Cerchio
{
    public:
    float Area();
    Cerchio ();
    Cerchio (float);
    private:
    float raggio;
};
```

oppure dovessimo inserirlo, prima dello specificatore `public`, come mostrato di seguito

```
class Cerchio
{
    float raggio;
    public:
    float Area();
    Cerchio ();
    Cerchio (float);
};
```

otterremmo in ogni caso una segnalazione di errore del tipo seguente:

```
error: 'float Cerchio::raggio' is private
```

Diversi ma non troppo: la sovrapposizione

Nel capitolo precedente vi ho mostrato il concetto di polimorfismo realizzato attraverso l'overloading, noto anche come sovraccarico. Si tratta, riepilogando brevemente, della possibilità di creare differenti funzioni, aventi lo stesso nome, che differiscono in quella che si definisce firma, ovvero il numero oppure il tipo di argomenti della funzione stessa.

È naturale che tale situazione si verifichi quando le funzioni devono effettuare sostanzialmente le stesse operazioni ma su dati diversi. Non ha ovviamente senso utilizzare lo stesso nome per contesti che fanno cose diverse: l'unico risultato concreto che si può ottenere è quello di una gran confusione e conseguenti disastri informatici.

In questo capitolo abbiamo visto come sia possibile, utilizzando l'ereditarietà, creare delle classi, cosiddette derivate, a partire da altre classi di partenza. Anche in tali casi è possibile utilizzare funzioni con lo stesso nome in classi quindi diverse ma "apparentate" tra loro. Tale situazione prende il nome di **override**, **overriding** o anche, in italiano, **sovraposizione**. Tale operazione si realizza solo con funzioni aventi la stessa firma: stesso numero e tipo di argomenti. L'overloading invece si realizza con funzioni aventi firme diverse.

Può essere importante fermarci un attimo per riepilogare e fare chiarezza sugli aspetti in questione. Il **polimorfismo**, già ampiamente discusso, può essere realizzato in due maniere differenti: l'overloading e l'overriding. Si parla di **overloading** quando le funzioni hanno lo stesso nome, e quindi ovviamente contesto funzionale simile, ma possono avere firma diversa (numero e tipo di argomenti). Si parla di **overriding** quando le **funzioni polimorfe** hanno lo stesso numero e tipo di parametri.

Per richiamare una funzione che subisce l'override dall'interno di una classe derivata è ovviamente necessario utilizzare l'operatore di visibilità `::`. Ciò è motivato dal fatto che altrimenti, essendo all'interno della classe derivata dove è presente un'altra funzione con quello stesso nome, il compilatore chiamerebbe tale funzione e non quella presente nella classe base.

Quando il virtuale è realmente utile

L'override nelle classi è dunque utilizzato quando esistono delle situazioni in cui possiamo aver bisogno di una stessa funzione membro all'interno di una gerarchia di classi derivate le une dalle altre, a partire da una data classe base.

Mi spiego meglio. La derivazione di una classe a partire da una classe base la si realizza di norma per utilizzare le caratteristiche, proprietà e funzioni, della classe base e aggiungere nuove funzionalità per specializzare con maggiori dettagli la nuova classe. A volte, tuttavia, si vuole che una stessa funzione, che realizza delle attività simili nelle varie classi, abbia lo stesso nome, gli stessi argomenti, ma si comporti in maniera specifica in ogni singola e specifica classe. Parliamo quindi, come detto, di override.

Potrebbe tuttavia succedere che una chiamata a una funzione di una classe richiami il codice di una funzione, avente ovviamente lo stesso nome, ma appartenente a una classe diversa da quella che ci interessa in un dato momento. Ciò avviene di norma nell'uso dei puntatori alle classi. Per evitare tale problema è necessario dichiarare, con apposita parola chiave, la **classe di tipo virtuale**.

Un esempio può essere allora chiarificatore. Supponiamo di dover gestire un programma di disegno che realizzi una serie di funzionalità di tipo grafico. Non me ne vogliate, ma allo stato attuale non abbiamo nessun effetto speciale da realizzare e la grafica a cui mi riferisco è del tutto indicativa. Non dimentichiamo che almeno per il momento stiamo lavorando con programmi di tipo console (quindi solo testuali) e che si tratta pur sempre di un semplice esempio.

Creiamo dunque una serie di classi: una prima classe **Punto**, una seconda classe **Linea** e una terza classe **Tratteggio**. Il codice potrebbe essere il seguente:

```
#include <iostream>
using namespace std;
//classe Punto
class Punto
{
public:
    void Disegna();
};

void Punto::Disegna()
{
    cout << "." << endl;
}

//Classe Linea
class Linea: public Punto
{
public:
    void Disegna();
};

void Linea::Disegna()
{
    cout << "_____ " << endl;
}

//Classe Tratteggio
class Tratteggio: public Punto
```

```

{
    public:
        void Disegna();
};

void Tratteggio::Disegna()
{
    cout << "-----" << endl;
}

```

Ognuno dei singoli oggetti di tipo `Punto`, `Linea` e `Tratteggio` dovrebbe potersi disegnare. A tale scopo, ciascuna della tre classi possiede un metodo `Disegna`. Si intuisce, dall'analisi dell'implementazione di tali metodi, che il disegno in questione è davvero molto spartano. Le classi `Linea` e `Tratteggio` derivano dalla classe base `Punto` e quindi effettuano un **override** del metodo `Disegna` già presente in tale superclasse.

Poiché sia `Linea` che `Tratteggio` derivano da `Punto`, è possibile riferirsi a essi tramite proprio un puntatore di tipo `Punto`. Possiamo cioè scrivere, all'interno del `main`, qualcosa del tipo seguente:

```

Punto P;
Linea L;
Tratteggio T;
Punto *px = &P;
Punto *lx = &L;
Punto *tx = &T;

```

Dichiariamo cioè tre oggetti `P`, `L` e `T` rispettivamente del tipo `Punto`, `Linea` e `Tratteggio` e tre puntatori, di tipo `Punto`, a tali oggetti: `*px`, `*lx` e `*tx`.

Proviamo allora a richiamare i metodi `Disegna` dei tre oggetti. L'intero codice del `main` sarà il seguente:

```

int main()
{
    cout << "Un disegno virtuale!" << endl;
    Punto P;
    Linea L;
    Tratteggio T;
    Punto *px = &P;
    Punto *lx = &L;
    Punto *tx = &T;
    px ->Disegna();
    lx ->Disegna();
    tx ->Disegna();
    return 0;
}

```

Sembrerebbe fatta. Tuttavia, andando a compilare ed eseguire il nostro programma otterremmo a video qualcosa di simile al seguente output:

Un disegno virtuale!

.

.

.

In effetti, ciò che viene richiamata è sempre e solo la funzione di disegno dell'oggetto `Punto` a causa del tipo di puntatori impostati. Per risolvere il problema è sufficiente far considerare al compilatore la funzione `Disegna` dell'oggetto base come **virtuale**. Dobbiamo scrivere semplicemente, dinanzi alla definizione della funzione `Disegna`, la parola chiave `virtual`, come vi mostro di seguito riproponendo l'intero codice della classe:

```
class Punto
{
    public:
        virtual void Disegna();
};
```

L'output a video sarà finalmente quanto ci aspettiamo, e cioè:

```
Un disegno virtuale!
```

```
.
```

```
-----
```

Attenzione, dunque, quando si ha a che fare con funzioni che vengono ridefinite, poste in `override`, in classi derivate. Può essere sensato, in questi casi, predisporre sempre definizioni con la parola chiave `virtual` dinanzi alla funzione stessa.

Dal virtuale all’astratto

Abbiamo visto come sia possibile con l’ereditarietà definire delle relazioni gerarchiche tra classi a partire da una data classe base. Abbiamo anche visto come sia importante definire come virtuali alcune funzioni per rendere possibile un’agevole derivazione di funzionalità nelle sottoclassi. L’individuazione della giusta gerarchia di classi è un lavoro che richiede notevole esperienza e capacità di analisi relativa allo specifico problema. Può addirittura capitare che determinate superclassi siano utili solo per definire gli oggetti che da essi discendono, ma per esse potrebbe non essere richiesta alcuna implementazione di funzioni membro specifiche. Tali classi prendono il nome di **classi astratte**. Il nome è giustificato dal fatto che si tratta di classi per le quali non si implementa alcuna funzionalità specifica ma esse rappresentano invece il punto di partenza per la creazione, ovvero derivazione, di classi “reali” con reali funzionalità in esse implementate.

Nel caso in cui una funzione virtuale di una classe non preveda alcuna implementazione nella classe stessa, ma funga solo da punto di partenza per le funzioni da essa derivate, si può esplcitare tale situazione scrivendo nella definizione della classe:

```
virtual void MiaFunzione() = 0;
```

cioè aggiungendo l’assegnazione = 0 per la funzione stessa. Ciò definisce la funzione come **funzione virtuale pura**. Si intuisce come l’aggettivo relativo alla purezza sia riferito al fatto che essa non implementa nulla ma si limita in maniera asettica a definire la possibilità che altre funzioni, da essa derivate, facciano il lavoro che ci si aspetta.

NOTA

La presenza di una o più funzioni virtuali pure all’interno della classe rende la classe stessa di tipo astratto impedendo la possibilità di creare oggetti di tale classe.

L'amicizia è una funzione importante

Può capitare che determinate funzioni del nostro programma debbano accedere per motivi vari ai membri privati di una certa classe. Se tali membri risultano privati una ragione esiste: non si vuole che essi siano direttamente accessibili dall'esterno, in quanto si ritiene ciò pericoloso o non rispondente alle specifiche necessità della classe.

Pur tuttavia, come detto, alcune funzioni potrebbero per forza di cose dover accedere a tali membri. In queste situazioni il C++ mette a disposizione una funzionalità di “amicizia” per determinate funzioni rispetto a specifiche classi. Ciò che si fa è dichiarare, all'interno della classe, tali funzioni come **friend**, ovvero **amiche**, di determinate e ben specifiche funzioni che ovviamente sono all'esterno della classe. Dico ovviamente in quanto, se fossero interne alla classe, il problema non si porrebbe affatto: essendo interne avrebbero accesso ai membri della classe.

Supponiamo allora di avere una classe che definisce un oggetto di tipo punto geometrico nel piano, con l'ascissa e l'ordinata gestiti con variabili membro di tipo intero con visibilità pubblica. La stessa classe ha tuttavia un membro privato che memorizza il suo colore ancora tramite un intero. Poiché tale proprietà è privata, qualsiasi tentativo di accesso dall'esterno genererà inevitabilmente un errore. Una soluzione per consentire la sua modifica dall'esterno può essere definire una specifica funzione dichiarata come **friend** della classe che possa quindi gestire a proprio piacimento il colore stesso.

Vediamo una possibile implementazione del codice:

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Punto
{
public:
    int x;
    int y;
    Punto(void); //Costruttore
    void StampaDati(void);
private:
    int colore;
    friend void CambiaColore(int);
};
Punto::Punto(void)
{
    x=0;
    y=0;
    colore=0;
}
void Punto::StampaDati(void)
{
    cout << "Ascissa: " << x << endl;
    cout << "Ordinata: " << y << endl;
    cout << "Colore: " << colore << endl;
}
```

Come si può facilmente notare, le variabili `x` e `y` sono pubbliche mentre la variabile `colore` è privata. Abbiamo definito quindi la funzione `cambiaColore` che prende in input il numero del nuovo colore da assegnare allo specifico oggetto. Da notare la parola chiave `friend` usata prima della funzione stessa. Ho poi dovuto inserire una funzione `StampaDati` per visualizzare i dettagli dell'oggetto.

Una possibile codifica della funzione amica potrebbe essere la seguente:

```
void CambiaColore(int c)
{
    Punto P;
    P.colore = c;
    P.StampaDati();
}
```

che potrebbe essere richiamata dal `main` del nostro programma. È chiaro tuttavia che si tratta ancora una volta di una necessaria semplificazione a beneficio della chiarezza del contesto d'uso delle funzioni amiche. Infatti è intuitivo che la presenza della chiamata alla funzione `StampaDati` all'interno della funzione `CambiaColore` è una forzatura, dettata dalla necessità di non rendere l'esempio troppo complesso e di consentire comunque la verifica del fatto che la modifica del colore avviene in maniera corretta. Una versione più specializzata avrebbe infatti potuto prevedere il passaggio come argomento dell'indirizzo dell'oggetto stesso in modo da consentirne il controllo e la stampa direttamente dal `main`. Ma a proposito del `main`, estremizzando il discorso, si potrebbe permettere all'intero `main` di accedere “in amicizia” alla classe scrivendo nella classe stessa:

```
friend int main();
```

Ciò permetterebbe al `main` stesso di accedere alla proprietà `colore` e quindi potremmo scrivere qualcosa del tipo:

```
int main()
{
    cout << "Le funzioni amiche!" << endl;
    Punto P;
    P.colore = 3;
    P.StampaDati();
    return 0;
}
```

Banalmente il suggerimento è quello di stare attenti alle proprie amicizie per evitare spiacevoli sorprese. Consentire l'accesso indiscriminato alla classe da parte dell'intero `main` potrebbe vanificare gli sforzi di mantenere privato il membro della classe stessa.

Sempre in tema di allargamento delle amicizie di una classe, vi faccio notare come sia possibile definire un'intera altra classe come amica di una certa classe. Scrivendo, infatti, qualcosa del tipo:

```
class A
{
```

```
friend class B;  
//...  
};
```

si realizza una relazione di amicizia verso la classe A da parte dell'intera classe B, in modo tale che la classe B potrà accedere a tutti i membri privati della classe A.

La programmazione generica e la libreria standard del C++

La libreria standard salva i programmatore dal dover reinventare la ruota.

Bjarne Stroustrup

Quanto proposto in questo capitolo è sostanzialmente in linea e coerente con quanto presentato nei precedenti capitoli sulla programmazione a oggetti. Abbiamo infatti già visto come tale tipo di approccio alla programmazione consenta tutta una serie di miglioramenti e ottimizzazioni rispetto a metodi più tradizionali. Nello specifico abbiamo scoperto come uno dei punti cardine del paradigma di programmazione a oggetti sia la possibilità di riusare codice già scritto e adattarlo alle specifiche necessità del momento. Di seguito vi propongo ulteriori strategie per rendere il codice sorgente più efficiente e generico rispetto alle aspettative del programmatore.

Riutilizzo del codice e applicazioni legacy

Reinventare la ruota non è sicuramente un'operazione di grande interesse e noi programmati abbiamo come prima necessità quella di essere produttivi. In realtà, prima ancora della produttività, per il vero programmatore deve venire il divertimento, derivato dalla passione che si deve avere per tale disciplina. Tuttavia, se si è produttivi ci si diverte ancor di più. In ogni caso, se un problema è già stato risolto, conviene, in linea generale, sfruttare il codice già scritto per tale risoluzione piuttosto che riscrivere tutto daccapo. Ovviamente molto dipende dalla bontà di quanto già codificato.

È sicuramente vero, infatti, che in alcuni casi limite conviene buttare tutto a mare e riscrivere ex novo l'intero codice. Le cosiddette **applicazioni legacy**, ovvero le applicazioni ereditate in un contesto aziendale, già scritte in passato per risolvere problemi specifici e ancora utilizzate, possono essere davvero un problema da far perdere il sonno quando esse devono essere riadattate a nuove e mutate esigenze. Lavorare su di un codice sorgente scritto male o con un approccio “antico”, per implementare nuove funzionalità, può causare l'esaurimento nervoso del più paziente degli sviluppatori.

Un primo e brutale approccio per ampliare le funzionalità di un programma è quello di ricopiare interi pezzi di codice per poi adattarli manualmente alle specifiche singolarità di funzionamento richieste. Seppur utilizzabile in alcuni casi, generalmente tale approccio comporta come risultato un codice maggiormente esposto a errori e più difficile da gestire a causa delle sue dimensioni crescenti.

Da considerare, infatti, che spesso all'interno del codice si trovano una serie di “pezze” inserite dallo sviluppatore per gestire situazioni molto particolari, che si verificano solo per determinati e specifici eventi. Ricopiare interi pezzi di codice può comportare l'esportazione di tali particolarità anche in contesti in cui esse non sarebbero richieste. La cosa che mi sento sempre di raccomandare durante lo sviluppo del proprio codice è di commentare il più possibile ciò che si sta facendo in un determinato punto. Nel momento in cui scriviamo il codice tutto ci sembra chiaro e addirittura scontato, salvo perdere una enorme quantità di tempo, in un momento successivo di riverifica dello stesso pezzo di codice, per comprendere il motivo per cui avevamo usato un certo `if` o altri costrutti vari dei quali proprio non se ne capisce il senso, tanto da essere portati a pensare di rimuoverli di netto con un bel colpo sul tasto **canc**.

Dicevamo, dunque, che il primo modo possibile per modificare un codice è quello di ricopiarlo e di adattarlo alle nuove necessità. Ma un secondo modo, quando possibile sicuramente auspicabile, è quello di sfruttare il polimorfismo e l'ereditarietà del linguaggio per ampliare le possibilità delle “vecchie” classi per venire incontro alle nuove richieste di funzionalità da inserire nel nostro programma. Abbiamo infatti visto come sia possibile ampliare le funzionalità di una data classe modificando ad esempio la firma (il numero e/o il tipo di parametri) delle sue funzioni membro per adattarle a nuovi scopi e necessità. Ovviamente, per poter operare in tal modo, il codice sul quale vogliamo operare deve essere già stato scritto rispettando la metodologia a oggetti.

Esiste tuttavia un terzo modo: piuttosto che “duplicare” le classi con il polimorfismo è possibile con il C++ utilizzare una strategia per la quale si costruiscono delle classi in modo tale che accettino in input differenti tipi di dato, pur continuando ad avere lo stesso tipo di

comportamento.

Modelli, template e classi generiche

La situazione per la quale uno stesso oggetto si può comportare, sostanzialmente, allo stesso modo pur ricevendo in input valori di tipo diverso viene definita **parametrica**. Ciò a sottolineare il fatto che il comportamento è dipendente dai parametri ricevuti e gestiti. In altri casi tali oggetti, e più propriamente le classi dalle quali si istanziano tali oggetti, vengono definite **classi generiche**. Il motivo del nome dovrebbe essere assolutamente intuitivo: le classi sono generiche in quanto devono essere in grado di gestire differenti tipi di dato senza problemi.

Quello che in realtà si fa è di costruire delle classi che rappresentano un **modello di classe**. Con modello si intende un modo di comportarsi non specifico ma adattabile a differenti situazioni della classe stessa. Per tale contesto, il termine utilizzato per “modello” in inglese è **template**. Si parla, tuttavia, di **classi template** anche in italiano. E, neanche a dirlo, `template` è anche la parola chiave per definire tale costrutto stesso.

Funzioni generiche alias funzioni template

In realtà, oltre alle classi generiche, il C++ consente di definire anche, a livello “più basso”, delle **funzioni generiche**. Una funzione generica è dunque una funzione parametrica che realizza lo stesso comportamento anche in presenza di parametri di tipo diverso.

Piuttosto che presentarvi la sintassi generica, preferisco in questo contesto mostrare direttamente un esempio, seppur molto semplice, di tipo concreto. Ciò vi aiuterà a comprendere meglio il modo di utilizzare, cioè la sintassi, di tali funzioni.

Supponiamo allora di voler creare una funzione che determini il maggiore tra due valori in input. In effetti si tratta proprio di uno dei primi esempi di programmazione realizzati nella sezione introduttiva sul C. Il motivo è dato, ovviamente, dalla semplicità del problema, che consente di vedere più facilmente il modo d’uso generale di tale tecnologia. La particolarità di tale funzione di individuazione del maggiore è tuttavia data dal fatto che essa può prendere in input, ad esempio, sia valori interi che valori di tipo double.

Di seguito la definizione della funzione, che per massima semplicità di comprensione chiamiamo proprio `Maggiore`:

```
template <class T>
T Maggiore (T a, T b)
{
    T ris;
    if (a>b)
    {
        ris = a;
    }
    else
    {
        ris = b;
    }
    return (ris);
}
```

Analizziamo con calma quanto abbiamo scritto cercando di confrontare tale funzione generica con

le classiche funzioni che già conosciamo. Effettivamente, se non si fosse trattato di una funzione generica avremmo scritto qualcosa del tipo:

```
int Maggiore (int a, int b)
{
    //corpo della funzione
}
```

per indicare una funzione che prende in input due interi (`a` e `b`) e restituisce un altro intero (il maggiore trovato tra i due).

D'altra parte, per gestire anche valori `double` dovremmo, in modo “tradizionale”, effettuare l'overloading della funzione scrivendo una sua copia come di seguito riportato:

```
double Maggiore (double a, double b)
{
    //corpo della funzione
}
```

Se invece date uno sguardo al codice scritto per la funzione generica vedrete che scriviamo:

```
...
T Maggiore (T a, T b)
{
    //corpo della funzione
}
```

dove ho messo i puntini sospensivi al posto della prima riga, nella quale andremo in effetti a scrivere `template <class T>`. Il motivo per cui non ho riscritto tale prima riga è per farvi vedere come l'intestazione delle funzioni classiche e quelle generiche siano del tutto simili. In realtà, ciò che accade è che al posto del tipo `int`, oppure `double`, indichiamo il tipo `T`, considerando quindi un tipo in effetti generico.

Attenzione al fatto che quando scriviamo `template <class T>` la parola chiave `class` posta tra parentesi angolari non indica una classe nel senso che abbiamo visto in precedenza, ma un modo per specificare che `T` è un tipo di dati generico.

NOTA

L'uso della lettera `T` come indicatore o, se vogliamo, segnaposto per il tipo generico, è una pura convenzione. Al posto di tale lettera potremmo, volendo, utilizzare un nome qualsiasi.

Se analizziamo il corpo della funzione `Maggiore` notiamo che c'è sicuramente poco da dire. Usiamo un banale `if` per determinare il maggiore tra `a` e `b` e associamo tale maggiore alla variabile temporanea `ris` che utilizziamo per restituire il valore trovato. Forse la cosa che vale la pena di sottolineare è proprio la dichiarazione di tale variabile: `T ris`; In tal modo dichiariamo che `ris` è effettivamente di tipo generico `T`.

A questo punto non ci rimane che vedere come richiamare e utilizzare la funzione generica che abbiamo realizzato. Un possibile approccio può essere il seguente:

```

int main ()
{
    int max1, x1=6, x2=7;
    double max2, y1=10.5, y2=10.6;
    max1 = Maggiore<int>(x1,x2);
    max2 = Maggiore<double>(y1,y2);
    cout << "Maggiore tra interi: " << max1 << endl;
    cout << "Maggiori tra double: " << max2 << endl;
    return 0;
}

```

Nella prima parte dichiariamo le differenti variabili da utilizzarsi per il test della funzione. In `max1` e `max2` poniamo i valori di ritorno della funzione `Maggiore`, rispettivamente per il tipo `int` e per il tipo `double`. La cosa da notare è il fatto che quando richiamiamo la funzione `Maggiore` poniamo, all'interno delle parentesi angolari, subito prima dei classici parametri, il tipo di dati sul quale vogliamo agisca la nostra funzione.

A proposito di tali parentesi angolari, nella chiamata della funzione vi faccio notare come queste possano essere non inserite nel caso in cui il compilatore riesca a determinare il tipo di dati in maniera automatica. In effetti, potremmo scrivere ciò che segue:

```

max1 = Maggiore(x1,x2);
max2 = Maggiore(y1,y2);

```

ottenendo i medesimi risultati di prima. In effetti, che il compilatore cerchi di individuare i tipi di dati passati alle funzioni è confermato dal seguente esperimento. Se proviamo a richiamare la funzione maggiore scrivendo qualcosa del tipo:

```

int ret;
ret = Maggiore(10.5, 10);

```

il compilatore ci segnala il seguente errore:

```

error: no matching function for call to 'Maggiore(double, int)'

```

Si tratta, per certi aspetti, di una situazione di ambiguità simile a quanto visto a proposito del polimorfismo. L'errore ci segnala, infatti, che il compilatore non riesce a trovare una funzione corrispondente (matching) per una chiamata per la quale il primo elemento è un `double` e il secondo è un `int`. Ovviamente il sistema vede come primo elemento un `double` a causa del fatto che abbiamo scritto un numero con la virgola: `10.5`.

In effetti, per certi aspetti, con i template è un po' come se il compilatore lavorasse al nostro posto per produrre codice creando, in fase di compilazione, copie del codice sorgente delle funzioni. Una copia per ogni possibile combinazione di tipi di parametri. Se infatti guardiamo alla funzione template che abbiamo scritto:

```

template <class T>
T Maggiore (T a, T b)
{
    //corpo della funzione
}

```

ci rendiamo conto, come già analizzato in precedenza, che le possibili combinazioni sono solo due:

```
int Maggiore (int a, int b) {}
double Maggiore (double a, double b){}
```

Dovendo gestire una situazione “mista”, dobbiamo per forza di cose utilizzare due differenti parametri. Possiamo allora implementare come segue:

```
template <class T1, class T2>
T1 Maggiore (T1 a, T2 b)
{
    T1 ris;
    if (a>b)
    {
        ris = a;
    }
    else
    {
        ris = b;
    }
    return (ris);
}
```

In questo caso, la nostra funzione `Maggiore` può prendere in input due tipi diversi, diciamo T_1 e T_2 , e restituire un valore di tipo T_1 , ovvero del tipo del primo argomento. Supponiamo allora di chiamare la funzione come segue:

```
double ret1, ret2;
ret1 = Maggiore<double, int>(10.5, 10);
ret2 = Maggiore(10.5, 10);
```

Le due chiamate sono del tutto equivalenti in quanto in entrambi i casi il sistema riesce a interpretare i tipi di dati, il primo `double` e il secondo `int`, e restituisce in output il valore con la virgola `10.5`.

Credo che a questo punto il meccanismo generale delle funzioni template dovrebbe essere chiaro. Un’ultima osservazione me la concedo. Nel caso in cui dovessi richiamare l’ultima implementazione della funzione `Maggiore` nel seguente modo:

```
double ret;
ret = Maggiore(10, 10.5);
```

otterremmo come risultato `10` e non `10.5` nonostante la variabile `ret` sia definita come `double`. Il motivo è dato dal fatto che, non avendo esplicitamente indicato i tipi per i parametri, il compilatore interpreta il primo di tipo intero (non vedendo la parte decimale). Dovendo restituire un valore di tipo T_1 , ovvero della tipologia del primo argomento, la funzione calcolerà il valore (`10.5` che rappresenta il maggiore) ma lo restituirà troncato della parte frazionaria (quindi semplicemente `10`).

Classi generiche ovvero classi template

Tocca ora alle classi essere generalizzate. Generalizzare una classe significa fare in modo che i suoi membri possano gestire tipi di dati diversi. Per mostrarvi in pratica come si realizza e come si utilizza una classe template, riprendo l'esempio della ormai familiare classe `Rettangolo` vista in precedenza.

Una prima implementazione della classe prevedeva l'uso di variabili intere `x` e `y` per base e altezza. Inoltre prevedevamo una funzione membro `Area` che ci consentiva di calcolare appunto tale valore. Essendo i membri rappresentanti base e altezza di tipo intero, anche il valore dell'area del rettangolo risultava di tipo intero. Ci proponiamo allora di gestire in modo parametrico tali proprietà; saremo così in grado di gestire valori di tipo intero oppure di tipo `double` senza problemi utilizzando la stessa classe.

Vediamo allora il codice minimale per una classe con tali caratteristiche:

```
#include <iostream>
using namespace std;
template <class T>
class Rettangolo
{
public:
    T x;
    T y;
    Rettangolo(T, T);
    T Area();
};

template <class T>
Rettangolo<T>::Rettangolo (T a, T b)
{
    x = a;
    y = b;
}
template <class T>
T Rettangolo<T>::Area ()
{
    T ris;
    ris = x * y;
    return ris;
}
```

La definizione della classe è abbastanza intuitiva. Come potete osservare, al suo interno troviamo il segnaposto `T` al posto di ciò che nella classe originaria indicavamo con `int`. Ad esempio, scrivendo:

```
T x; T y;
```

definiamo base e altezza di tipo `T`. Scrivendo `Rettangolo(T, T);` definiamo il costruttore, che prende in input due valori (base e altezza) sempre di tipo `T` e infine scrivendo:

```
T Area();
```

definiamo la funzione membro `Area` che deve restituire un valore di tipo τ .

Ormai dovreste essere abbastanza abituati a leggere i costrutti con i template. Una particolarità che vale la pena sottolineare è tuttavia l'uso dell'espressione `<T>` sia nel costruttore sia nella funzione membro `Area`. Si tratta di una richiesta della sintassi che serve a indicare qual è il tipo da sostituire.

Vediamo allora, finalmente, un possibile scenario di utilizzo della classe template appena definita.

```
int main ()
{
    Rettangolo <int> Ret1 (2, 4);
    cout << Ret1.Area() << endl;
    Rettangolo <double> Ret2 (2.1, 4.1);
    cout << Ret2.Area() << endl;
    return 0;
}
```

Dichiariamo due rettangoli: il primo `Ret1` passando come parametro un intero, mentre il secondo `Ret2` viene costruito passando come parametro un `double`. Ovviamente anche i risultati delle due aree avranno tipi restituiti diversi. Il valore `8` nel primo caso, quindi un valore intero; il valore `8.61`, quindi un numero con la virgola, nel secondo caso.

Specializzare un template

Vi sono delle situazioni in cui ci rendiamo conto che una classe non può agire allo stesso modo, indipendentemente dalla natura del tipo di dato. Può infatti accadere che si debbano realizzare delle operazioni di tipo abbastanza diverso a seconda della natura del dato. Pensate ad esempio alla differenza di natura tra un dato di tipo numerico e un dato di tipo carattere. In tali situazioni, se il contesto lo consente, è possibile specializzare la classe template a implementare operazioni di tipo diverso a seconda della natura dei dati su cui ci si trova a operare.

La sintassi generale è qualcosa del genere:

```
template <>
class esempio <char>
{
    //corpo della classe
};
```

Un paio di cose veloci da notare. La prima è l'uso delle **parentesi angolari vuote**: ciò serve appunto per definire una specializzazione della classe. La seconda è l'uso della parola chiave `char` all'interno delle parentesi angolari dopo il nome della funzione (`esempio` nel nostro caso). Tale tipo di dati, `char`, è appunto il tipo di dati per il quale scrivere codice specializzato, da trattare quindi in modo differente rispetto al comportamento standard della classe.

La programmazione generica

Se guardiamo un attimo a ciò che abbiamo visto finora in questo capitolo, ci rendiamo conto del fatto che l'attenzione è stata posta tutta sul rendere generico l'approccio ai dati da utilizzare nello sviluppo. Non a caso sia le funzioni template sia le classi template sono state definite rispettivamente **funzioni generiche** e **classi generiche**.

Il termine “generico” rappresenta infatti il fulcro di un intero approccio alla programmazione che, neanche a dirlo, va sotto il nome di **programmazione generica**. Parlare di approccio generico ai dati significa comprendere che, in moltissimi casi, i problemi riguardano collezioni di elementi che possono avere una diversa natura, come ad esempio un intero oppure una lettera dell’alfabeto, ma essere legati dalle stesse problematiche di gestione. Tanto per fare un semplice esempio legato ai numeri e alle lettere si può pensare che su tali elementi diversi possono incidere operazioni comuni, come ad esempio la necessità di ordinarli rispetto a un certo criterio piuttosto che effettuarne un conteggio o altre operazioni similari.

Ciò che si cerca di fare nell’approccio alla programmazione di tipo generico è di **concentrarsi sugli algoritmi** che devono essere utilizzati sui dati piuttosto che sui dati stessi. Tali algoritmi devono quindi essere in grado di operare su un sufficientemente ampio insieme di tipi di dati diversi. Tale strategia è di grande interesse e importanza poiché le strutture dati utilizzate all’interno del software possono essere anche molto articolate.

Ciò che abbiamo visto finora rispetto ai vari aggregati di dati è abbastanza modesto: variabili semplici, array e strutture sono solo alcuni degli esempi di possibili strutture dati. Tanto per fare un esempio di qualcosa di più complesso, possiamo pensare a una struttura dati che prende il nome di **coda**.

Tale struttura serve per simulare ciò che avviene effettivamente in una coda reale; pensate a una coda di persone a uno sportello, piuttosto che al banco dei salumi oppure a una coda a un casello autostradale. In ogni caso abbiamo un insieme di elementi organizzati in un unico contenitore, per i quali si hanno delle regole molto precise. Ad esempio: il primo elemento che entra nella coda deve essere il primo a uscire e essere “servito”. Un’altra regola potrebbe essere la seguente: man mano che si aggiungono elementi alla coda, questi devono essere posti nelle ultime posizioni e verranno serviti solo nel momento in cui tutti gli altri elementi saranno usciti dalla parte iniziale (testa) della coda.

Si intuisce come sia importante realizzare una coda di tipo generico. Tale coda deve poter gestire indifferentemente elementi di tipo diverso, come ad esempio numeri oppure lettere. Non è pensabile realizzare due code differenti: una per i numeri e l’altra per le lettere. O meglio: si può anche duplicare la struttura coda, ma con alti costi di sviluppo e scarsa possibilità di avere un’agevole manutenzione della struttura stessa. Lo spirito di quanto visto finora con funzioni e classi template, ormai dovrebbe essere chiaro, va proprio nella direzione della programmazione generica.

Il C++ fornisce dunque gli strumenti per organizzare tale approccio.

STL: Standard Template Library

Il linguaggio C++ ci dà la possibilità di usare un approccio generico e di creare le nostre strutture dati in modo parametrico. Tuttavia, se qualcuno ha già lavorato per noi, non c'è motivo di rifare lo stesso lavoro una seconda volta. Questo qualcuno si chiama innanzitutto **Alexander Stepanov** (Figura 23.1), il quale è il principale artefice di una specifica libreria di strumenti realizzata appositamente nella visione della programmazione generica: la **Standard Template Library**, meglio conosciuta con l'acronimo di **STL**.



Figura 23.1 – Alexander Alexandrovich Stepanov, il principale artefice della Libreria STL.

Volendo schematizzare al massimo, la libreria STL possiamo vederla come composta di tre elementi:

- Contenitori.
- Iteratori.
- Algoritmi.

I **contenitori**, detti anche in modalità anglosassone **containers**, sono i veri e propri aggregati di dati. Si tratta quindi di collezioni organizzate di elementi. A scopo di esempio pensate alla struttura coda di cui vi ho scritto pocanzi.

Gli **iteratori** sono degli speciali puntatori che consentono di navigare, cioè di muoversi, all'interno delle strutture dati.

Gli **algoritmi** sono delle procedure preconfezionate per risolvere i classici problemi che si presentano in relazione alle strutture dati: ordinamento di dati, ricerca di specifici valori ecc.

Flussi e file nel C++

Camminare sull'acqua e sviluppare software da una specifica sono azioni facili se entrambe sono congelate.

Edward V Berard

Nel Capitolo 15, relativo al linguaggio C, vi ho presentato l'approccio usato dal C stesso per gestire i file e i relativi dati in essi contenuti. In effetti, tutto ciò che abbiamo visto per il C potrebbe essere utilizzato anche nel C++ essendo immediatamente disponibile e incorporabile all'interno dei programmi scritti utilizzando tale linguaggio.

Tuttavia, il C++ possiede degli strumenti specifici per gestire i flussi di dati da e verso i file. Il tutto, ovviamente, attraverso specifiche classi. Il presente capitolo può essere quindi importante per comprendere un diverso approccio per un comune problema, dandoci al contempo la possibilità di esplorare dettagli ulteriori della programmazione C++ e della libreria standard.

Le classi per la gestione dei file

Ho fatto riferimento alla libreria standard in quanto la gestione dei file è appunto realizzabile utilizzando la libreria standard che tratta i file come caso particolare della più ampia gestione dell'input-output. In effetti, abbiamo già sistematicamente avuto a che fare con la gestione dell'input-output attraverso le istruzioni `cin` e `cout`. La principale classe alla quale si fa riferimento per la gestione di tale I/O (Input/Output) è `iostream` ed essa è richiamabile attraverso l'omonimo file di intestazione `<iostream>`, che deve necessariamente essere incluso per poter utilizzare le specifiche funzionalità in esso referenziate. In realtà, la gerarchia di classi è abbastanza complessa. Nella Figura 24.1 ve ne riporto la struttura per farvi comprendere la sua organizzazione generale.

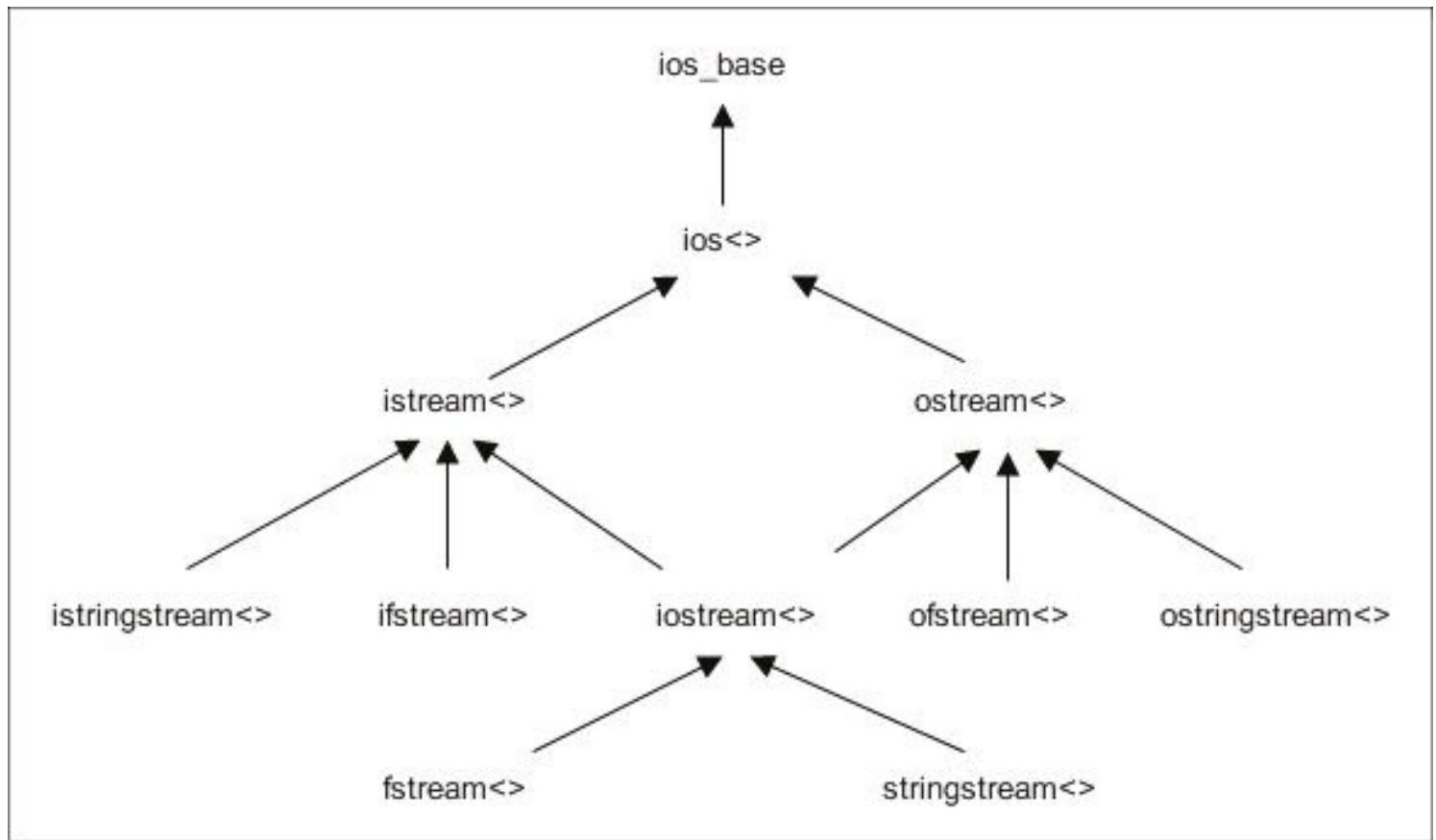


Figura 24.1 – La gerarchia di classi per la gestione dell'Input-Output.

Non abbiate paura, non dovete mandare giù a memoria l'intero schema: non avrebbe senso. In ogni caso, una sua seppur veloce analisi può farvi capire meglio la complessità delle relazioni di derivazione tra classi usate nel “mondo reale” della programmazione. Inoltre, può essere di stimolo per ulteriori approfondimenti e infine, forse, un modo per sentirsi fortunati nel poter usare tali strumenti senza dover per forza di cose riscriverli in prima persona.

Oltre alla classe `iostream` che, come già detto, si occupa dell'input-output di base, è necessario fare riferimento al file di libreria `fstream`. In tale file sono infatti contenuti i riferimenti alle seguenti classi: `fstream`, `ifstream` e `ofstream`. Queste sono necessarie per la gestione dei file sulle memorie di massa (hard-disk, pennette USB ecc.).

In definitiva, ogni volta che vorremo gestire i file su disco da C++ dovremo fare riferimento alla

simpatica coppia `iostream` e `fstream` scrivendo i seguenti include:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
```

Volendo essere più specifici possiamo puntualizzare quanto segue:

- **fstream**: classe relativa alla lettura/scrittura
- **ifstream**: classe relativa alla sola lettura dell'input da file
- **ofstream**: classe relativa alla sola scrittura su file

Apertura e chiusura di un file

Vediamo innanzitutto come aprire e, conseguentemente, chiudere un file. Il codice è di disarmante semplicità:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
using namespace std;
int main()
{
    ofstream f;
    f.open ("primo.txt");
    f.close();

    cout << "Fine operazioni!" << endl;
    return 0;
}
```

Da notare subito i due `include` di cui vi dicevo prima:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
```

Per il resto dichiariamo un oggetto di tipo `ofstream` che chiamiamo per massima semplicità `f` (iniziale di file). Tale oggetto, come detto, viene utilizzato per la scrittura su file. Richiamiamo il metodo `open` passando come argomento il nome del file. Subito dopo chiudiamo il file stesso. Mandate in esecuzione il programma e sul vostro disco, all'interno della cartella in cui risiede il progetto, vi ritroverete un file vuoto con il nome `primo.txt`.

Un'alternativa all'apertura che vi ho mostrato consiste nell'indicare direttamente nella dichiarazione il nome del file da aprire, ad esempio:

```
ofstream f("primo.txt");
```

Personalmente io preferisco il primo metodo, perché lo trovo più pulito.

NOTA

Quando lavorate con i file un po' di attenzione supplementare non fa mai male e può evitare spiacevoli sorprese. Ad esempio, nello specifico, il codice di apertura e relativa creazione di un file che abbiamo utilizzato sostituisce immediatamente, sovrascrivendolo, un eventuale file con lo stesso nome e nella stessa posizione di quello che stiamo andando ad aprire.

A proposito di percorso, vi ho detto che il file viene creato all'interno della cartella del progetto e quindi, più in generale, nella cartella di esecuzione del nostro eseguibile. Per averne la prova potete copiare il file eseguibile dalla sottocartella in cui è stato creato, ad esempio dalla cartella `Debug` presente sotto la cartella `bin` all'interno del progetto (se state usando, così come vi ho suggerito, Code::Blocks) e incollarlo in una cartella qualsiasi del vostro disco. Lanciato il file eseguibile, ad esempio con un bel doppio clic sul suo nome, vedrete comparire all'interno della

cartella il file di testo in questione. Nel nostro caso il file si chiama `primo.txt`. Ovviamente potrà capitare spesso di voler salvare o aprire un file in una cartella qualsiasi. Per farlo è sufficiente indicare in fase di apertura il percorso completo del file. Ad esempio, il seguente codice:

```
ofstream f;  
f.open ("c:\\temp\\primo.txt");
```

creerà all'interno della cartella `temp`, sottocartella della radice del disco `c:`, il file in questione. Da notare l'uso del doppio simbolo `\` per poter inserire all'interno del percorso il singolo elemento `\` di separazione tra cartelle e indicatore della radice del disco.

L'ultima cosa che ci è rimasta da vedere, d'altra parte assolutamente banale, è la chiusura del file per rilasciare le risorse assegnate, realizzata attraverso il metodo `close` che non richiede alcun parametro:

```
f.close();
```

Scriviamo file di testo

Come abbiamo visto in altra occasione, i file di testo sono i più semplici da gestirsi, almeno dal punto di vista di noi umani. Un file di testo è un file che contiene caratteri stampabili. Vediamo allora come è possibile scrivere all'interno di un file di testo un certo contenuto. Per l'esempio in questione supponiamo di voler realizzare un classico **file CSV**. Tali file (Comma Separated Values) sono dei file di testo che rappresentano il più semplice esempio di archivio di dati. Infatti, questi file contengono un **record**, ovvero un insieme di campi, per ogni singola riga del file stesso. I valori dei campi sono spesso separati da una virgola (da cui il nome CSV). Oltre al carattere virgola si usano spesso come separatori i caratteri punto e virgola, lo spazio o anche il carattere di tabulazione. È proprio tale carattere che uso nell'esempio che vi riporto di seguito.

```
#include <iostream>
#include <fstream>
using namespace std;
int main()
{
    ofstream f;
    f.open ("anagrafica.txt");
    f << "Nome\tCognome\tmail\n";
    f << "Carlo\tMazzone\tinfo@tesseract.it\n";
    f << "Ciccio\tPasticcio\tcicciop@example.com\n";
    f << "Mickey\tMouse\tmickey@example.com\n";
    f.close();
    cout << "Fine registrazione!" << endl;
    return 0;
}
```

La cosa sorprendente è la possibilità di usare con assoluta naturalezza l'operatore di output << per inserire nel file tutto il contenuto che vogliamo, così come se stessimo scrivendo sullo schermo. Proprio sullo schermo informiamo l'utente del completamento delle operazioni con la classica cout. Per il resto, forse, l'unica ulteriore osservazione può essere relativa all'uso del carattere speciale \t per inserire nella stringa su file il carattere di tabulazione. In coda alle singole righe, invece, usiamo il classico \n per forzare un ritorno a capo.

NOTA

Nella creazione di file CSV l'uso del carattere di tabulazione può essere una buona scelta nel momento in cui riteniamo possibile che alcuni valori dei campi possano contenere dei simboli tipo virgole o punti e virgola. Il carattere di tabulazione preserva la struttura e l'ordine dei campi, che verrebbero invece compromessi nel momento in cui dovessimo usare come separatore di campo, ad esempio, la virgola e si verificasse la presenza di una virgola anche in qualche valore di un campo qualsiasi. Un indirizzo potrebbe, ad esempio, essere qualcosa del tipo: "Via dei Viali, 23". La virgola presente nella stringa dell'indirizzo potrebbe essere invece interpretata come separatore di campo, invalidando il record in questione.

Modalità di apertura

Finora abbiamo aperto i file sapendo che questi sarebbero stati sistematicamente sovrascritti dal nuovo contenuto prodotto all'interno del codice; si tratta ovviamente di una grossa limitazione. Generalmente, infatti, potremmo volere accodare nuovo testo ai nostri file senza perdere il contenuto preesistente. Per poter modificare le modalità di apertura possiamo specificarle subito dopo il nome del file, ad esempio, come segue:

```
f.open ("nomefile.txt", ios_base::app);
```

dove `ios_base::app` indica la modalità di apertura in **append**, ovvero in accodamento al testo già eventualmente presente.

In alternativa possiamo scrivere:

```
f.open ("nomefile.txt", ios::app);
```

utilizzando, quindi, `ios` al posto di `ios_base`. Ciò è possibile in quanto le due modalità sono sostanzialmente analoghe essendo presente nell'implementazione delle classi un `typedef`. Nel prosieguo utilizzerò questa seconda modalità.

Di seguito l'elenco completo delle **modalità di apertura dei file**:

<code>ios::in</code>	Apre in lettura
<code>ios::out</code>	Apre in scrittura
<code>ios::app</code>	Modalità append; i nuovi dati verranno aggiunti alla fine del file; è valido per le sole operazioni di scrittura
<code>ios::trunc</code>	Elimina il contenuto del file azzerandolo
<code>ios::ate</code>	Significa AT End cioè alla fine; apre il file posizionandosi in coda ad esso
<code>ios::nocreate</code>	Significa sostanzialmente "no alla creazione"; se il file non esiste viene generato un errore
<code>ios::noreplace</code>	Significa "non sostituire"; se il file esiste genera un errore
<code>ios::binary</code>	Apertura in modalità binaria anziché testuale

Come già detto, operare sui file è sempre abbastanza critico. Inoltre, tali impostazioni possono dipendere dalle specifiche implementazioni del compilatore. Vale sempre il suggerimento di testare il proprio codice con attenzione per verificarne gli effetti.

Un aspetto interessante e utile delle modalità di apertura è che esse possono essere combinate insieme tramite l'operatore logico OR per realizzare aperture di file maggiormente articolate.

Ad esempio potremmo scrivere:

```
f.open("anagrafica.dat", ios::binary | ios::in );
```

dove abbiamo indicato la modalità binaria insieme alla modalità di apertura del file. Da notare che per l'OR utilizziamo un singolo simbolo di pipe `|`, trattandosi di un operatore sui bit. Per rimarcare che si tratta di un file binario utilizziamo come estensione `.dat`. Altra estensione tipica

per indicare tali tipi di file è `.bin`.

Leggiamo il contenuto di un file

Supponiamo ora di voler leggere e stampare a video il file `anagrafica.txt` prodotto nel precedente esempio. Un possibile approccio può essere il seguente:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
using namespace std;
int main()
{
    ifstream f;
    f.open("anagrafica.txt", ios::in);

    if(!f)
    {
        cout << "Il file specificato non esiste!";
        return 1;
    }
    string linea;
    while(!f.eof())
    {
        getline(f, linea);
        cout << linea << endl;
    }
    f.close();
    return 0;
}
```

Notiamo innanzitutto che con `ifstream f;` istanziamo l'oggetto `f` relativo alla classe `ifstream` per la gestione dell'input da file. L'istruzione che segue apre poi effettivamente il file in modalità input. Nella sezione successiva del codice sfruttiamo un'importante caratteristica della funzione `open`. Questa restituisce il valore booleano `true` (vero) nel caso in cui essa sia effettivamente collegata a un file aperto. Testiamo allora tale valore con la negazione logica `NOT` tramite l'operatore `!` (punto esclamativo). In buona sostanza diciamo qualcosa del tipo: se `f` non è vera (quindi è falsa) il file non esiste. In tal caso usciamo dalla funzione `main` subito dopo aver segnalato con un apposito messaggio tale situazione.

Andiamo ora ad analizzare il pezzo di codice che effettivamente preleva il contenuto dal file e lo stampa a video. Come prima cosa, dichiariamo un elemento `string` che conterrà le singole righe di testo presenti all'interno del file. Concentriamoci ora sulla condizione presente all'interno del `while`. Il metodo `eof` applicato all'oggetto `f` restituisce il valore di verità vero quando il puntatore interno al file stesso giunge alla fine del file. Utilizzando ancora una volta il `NOT` logico diciamo: finché `f` non è alla fine del file esegui il corpo del `while`. All'interno del ciclo la funzione `getline` applicata all'oggetto `f` pone nella variabile `stringa linea` la riga appena letta. Tale variabile viene poi mandata in output tramite la funzione `cout`. Banalmente, all'uscita dal ciclo chiudiamo l'oggetto `f`.

Una cosa interessante che voglio farvi notare è la possibilità di utilizzare al posto di `eof` un differente metodo per testare lo stato di lettura del file. Avremmo infatti potuto scrivere quanto segue:

```
while(f.good())
{
    getline(f, linea);
    cout << linea << endl;
}
```

ottenendo sostanzialmente lo stesso effetto. Infatti, il metodo `good` restituisce il valore di verità vero se il flusso del file è disponibile per le operazioni di lettura o scrittura e restituisce invece il valore di verità falso quando arriva alla fine del file oppure nel caso in cui si verifica un qualche errore.

Esistono anche altri metodi relativi allo stato delle operazioni di input/output utilizzabili sull'oggetto di tipo file: `bad()` e `fail()`. Entrambi i metodi restituiscono `true` in caso di errori nella lettura/scrittura su file. Tra i due il metodo `fail` è più sensibile segnalando anche errori minori.

File binari e archivi di dati

I file di testo puro hanno molti pregi ma contemporaneamente molti limiti. Banalmente si tratta di file che non possiedono un'organizzazione interna. Seppure sia possibile organizzarli come dei file di tipo CSV, quindi con una sorta di insiemi di campi e record, è sicuramente difficile gestirli in comodità e sicurezza andando ad esempio a lavorare posizionandosi su specifici campi all'interno del file stesso.

Una soluzione a questi tipi di problemi si presenta con l'uso dei **file binari**. Come già visto per la gestione dei file in C, tale approccio sottintende la possibilità di **accesso random** al contenuto stesso. Random, ovvero casuale, significa in questo caso che è possibile posizionarsi su di un qualsiasi punto all'interno del file stesso semplicemente sapendo di quanti byte ci si deve spostare.

Le funzioni chiave per tale metodica sono sicuramente **seekg()** e **seekp()**. Sono proprio tali funzioni a spostare il cursore, che punta alla posizione corrente, nella posizione voluta. Il significato nascosto nei nomi ci aiuta a capirne la natura; **seek** significa ricerca, mentre la lettera postfissa sta per **get** nel caso di **seekg** e per **put** nel caso di **seekp**. La prima viene utilizzata in caso di input, la seconda in caso di output.

Entrambe le funzioni prendono in input due argomenti: il primo è il numero di byte per il quale spostare il puntatore sul file stesso, mentre il secondo indica da dove cominciare a contare tali byte. Tale indicazione avviene grazie a un **flag** presente in **ios**. In realtà i flag sono tre e sono i seguenti:

<code>ios::beg</code>	Begin, si riferisce all'inizio del file
<code>ios::cur</code>	Current, si riferisce alla posizione corrente del puntatore
<code>ios::end</code>	End, si riferisce alla fine del file

Come di consueto, in tali contesti un numero positivo indica uno spostamento in avanti mentre uno negativo uno spostamento a ritroso.

Vi porto allora qualche veloce esempio d'uso:

```
f.seekg(10, ios::cur); //spostamento di 10 byte dalla posizione corrente in avanti  
f.seekg(-10, ios::cur); //spostamento di 10 byte dalla posizione corrente indietro  
f.seekg(10, ios::beg); //spostamento di 10 byte in avanti a partire dall'inizio  
f.seekg(-10, ios::end); //spostamento di 10 byte a ritroso a partire dalla fine
```

Per la lettura e la scrittura di file binari sono disponibili due metodi dai nomi quanto mai indicativi: **read** e **write** con i seguenti prototipi:

```
read (char*, lunghezza)  
write (char*, lunghezza)
```

dove `char*` è un puntatore di tipo carattere all'area di memoria dove leggere e scrivere i dati di dimensione `lunghezza`.

Un archivio reale: gestiamo una collezione di fumetti

Per mettere in pratica alcune delle idee e degli argomenti che vi ho proposto in merito alla gestione dei file può essere di sicuro ausilio la realizzazione di un applicativo reale relativo, ad esempio, a un archivio elettronico destinato alla gestione di una collezione di fumetti. Ovviamente le idee introdotte in merito a tale applicativo potranno facilmente essere trasposte in altri contesti, come un elenco di libri, una collezione di DVD, piuttosto che la vostra classica collezione di farfalle, ammesso che ne possediate realmente una. Poco male se non possedete una collezione di farfalle; se non avete, invece, una collezione di fumetti, realizzatela. I fumetti sono un ottimo stimolo per la fantasia e di riflesso fanno un gran bene alle arti della programmazione software.

Prevediamo nel nostro applicativo tre funzioni di base: **lista** dei fumetti presenti in archivio, **inserimento** di un nuovo fumetto, **modifica** di un fumetto già presente.

La struttura generale del `main` potrebbe dunque essere la seguente:

```
#include <iostream>
using namespace std;
void Inserisci();
void Lista();
void Modifica();
int main()
{
    int x;
    cout << "I MIEI FUMETTI ver 0.1" << endl << endl;
    do
    {
        cout << "1 - Lista" << endl;
        cout << "2 - Inserisci" << endl;
        cout << "3 - Modifica" << endl;
        cout << "" << endl;
        cout << "0 - ESCI" << endl;
        cout << "" << endl;
        cout << "Operazione: ";
        cin >> x;
        switch(x)
        {
            case 1:
                Lista();
                break;
            case 2:
                Inserisci();
                break;
            case 3:
                Modifica();
                break;
                break;
        }
    }while (x != 0);
    return 0;
}
```

```

void Lista()
{
    cout << "LISTA FUMETTI" << endl;
    return;
}
void Inserisci()
{
    cout << "INSERIMENTO FUMETTO" << endl;
    return;
}
void Modifica()
{
    cout << "MODIFICA FUMETTO" << endl;
    return;
}

```

Un tale modo di procedere è sicuramente di tipo top-down. Osservando il codice, infatti, potrete verificare l'esistenza di una struttura generale, una sorta di scheletro dell'applicazione, che ci consente di organizzare il programma in una serie di funzionalità solamente abbozzate ma che al tempo stesso rendono possibile immediatamente una prima compilazione dell'applicativo. Le funzioni presenti nel codice sono, almeno inizialmente, delle scatole vuote che tuttavia consentono di capire come evolverà il programma.

La programmazione è un'attività reale e come tale si scontra con il realismo del mondo che ci costringe a compromessi continui. Non può esistere nel mondo reale (ora mi riferisco alla programmazione) un estremismo che ci vede costruire programmi integralmente basati in maniera cieca e assolutistica rispetto a uno specifico paradigma, come ad esempio quello di tipo top-down piuttosto che bottom-up. L'esperienza ci insegna che l'estremismo è sempre deleterio e che, nel nostro contesto, si deve fare una sistematica riflessione ampia e critica, sia relativamente agli aspetti che vanno dal generale al particolare sia rispetto a quelli che partono dal singolo dettaglio degli oggetti base (le superclassi) e arrivano alla generalizzazione attraverso i concetti propri dell'ereditarietà.

Analizzando il `main` potrete notare l'utilizzo del costrutto `do-while` con una prima stampa delle opzioni del programma, con relativo `switch` seguente che consente di catturare la scelta dell'utente in merito alle sue specifiche scelte del momento.

La struttura dati

Una volta abbozzato lo scheletro dell'applicazione dobbiamo immediatamente definire la logica del programma in merito alle strutture dati da utilizzare. Considerati gli strumenti maturati fino a questo momento, la scelta più naturale, in quanto semplice, può essere quella di gestire una sequenza di strutture in cui ogni elemento contenga i dati sullo specifico fumetto. Tale struttura potrebbe essere definita come segue:

```

typedef struct _fumetto
{
    int numero;
    char titolo[25];
    char note[50];

```

```
}fumetto;
```

Definiamo dunque una struttura con tre differenti campi. Il primo è il numero del nostro fumetto (tipo intero), segue un titolo (array di caratteri di lunghezza 25) e infine un campo note (array di caratteri di lunghezza 50). Codifichiamo tale struttura all'esterno del `main` definendola quindi di tipo globale, con la conseguente possibilità di essere visibile da tutte le nostre funzioni.

Anche solo queste primissime **scelte architetturali** la dicono lunga su quanto sia complesso e determinante il lavoro di progettazione di un software, anche banale, come quello che stiamo realizzando.

Ad esempio, una prima considerazione vincolante è relativa alla **dimensione dei campi** della struttura. Dire che il titolo sarà gestito da un array di caratteri di 25 elementi significa impedire l'inserimento di titoli di fumetti maggiori di tale dimensione. Impostare valori maggiori potrebbe significare un inutile spreco di spazio. Individuare le giuste dimensioni dei campi può essere un lavoro di grande responsabilità.

La questione importante, infatti, è che ciò che stiamo realizzando si basa sull'assunto che le dimensioni dei campi siano fisse, in quanto sfrutteremo tale caratteristica per poterci muovere all'interno del nostro archivio sapendo che, se i dati di un fumetto occupano $n \times$ spazio di memoria su disco, l' n -esimo elemento sarà in posizione $n \times$ (ovvero n moltiplicato \times) rispetto all'inizio del file.

Le dimensioni prefissate degli elementi della struttura e, più in generale, il meccanismo previsto per la gestione dei dati, comporta in automatico un ulteriore vincolo: non si potrà aggiungere in futuro un altro campo alla struttura se non a prezzo di notevoli contraccolpi su tutto il software già scritto. In effetti, modificare la dimensione delle singole strutture comporterà l'impossibilità di leggere i file prodotti con una versione precedente del nostro software.

In alcuni casi, per attenuare tali problemi, si potrebbero inserire uno o più campi aggiuntivi da utilizzarsi solo per eventuali scopi futuri. Tali campi, nel contesto informatico, vengono spesso definiti **campi filler**, ovvero riempitori. Essi rappresentano un ulteriore compromesso tra le dimensioni dell'archivio e la sua **scalabilità**, ovvero la possibilità di adattarsi a future esigenze.

Una possibile soluzione radicale per gestire le problematiche connesse alle dimensioni fisse dei blocchi di dati è sicuramente quella di considerare i singoli blocchi a dimensione variabile. Tale scelta, se facilita alcuni aspetti, ne complica sicuramente altri, come, ad esempio, quelli relativi all'individuazione dei punti di inizio e di fine dei singoli blocchi, con conseguente necessità di complicare la logica di funzionamento dell'applicativo.

Queste prime considerazioni introduttive avrebbero già dovuto darvi il senso di quanto può essere complesso realizzare un'applicazione reale. Nello specifico, il contesto degli archivi di dati non è esente da numerosissime problematiche di tipo progettuale e procedurale, tanto che spessissimo si utilizzano, all'interno delle applicazioni, librerie appositamente già realizzate con annessi archivi di dati standard.

Continuiamo, dunque, nella costruzione del nostro applicativo. Dobbiamo definire il tipo di archivio: si tratterà, come si può evincere dai ragionamenti fatti finora, di un file di tipo binario. Decidiamo di chiamarlo **fumetti.dat** e definiamo il suo nome come costante globale:

```
#define NOME_FILE "fumetti.dat"
```

Oltre a ciò, dobbiamo, come ulteriore passo, aggiungere la direttiva `include` per la libreria `fstream`

per la gestione dei file.

```
#include <fstream>
```

Come prima operazione all'avvio del programma dobbiamo preoccuparci di verificare che l'archivio esista; in caso contrario dobbiamo provvedere a crearlo. A tale scopo definiamo e utilizziamo un'apposita funzione. Questa potrebbe essere codificata come segue:

```
void VerificaArchivio()
{
    //apre il file in modalità binaria
    //se il file non esiste lo crea
    ofstream f;
    f.open(NOMEFILE, ios::binary | ios::app );
    f.close();
}
```

Come si può notare dalle modalità di apertura, ci riferiamo a un file di tipo binario con modalità “aggiunta in coda”. In tal modo, se il file esiste esso non verrà sovrascritto. In caso contrario ne verrà creato uno nuovo e, subito dopo, chiuso all'interno della funzione stessa. Faremo in modo di richiamare tale funzione come prima operazione da effettuarsi all'interno del `main`.

Salvataggio su disco di un record

Una volta predisposto il file che fungerà da archivio per i nostri fumetti possiamo preoccuparci dell'inserimento di nuovi record all'interno del file stesso. Di seguito vi propongo una possibile implementazione per la funzione che eseguirà tale operazione.

```
void Inserisci()
{
    cout << "INSERIMENTO FUMETTO" << endl;
    fumetto Elemento;
    cout << "Numero fumetto: ";
    cin >> Elemento.numero;
    cin.ignore(80, '\n');
    cout << "Titolo: ";
    cin.getline(Elemento.titolo, 25);
    cout << "Note: ";
    cin.getline(Elemento.note, 50);
    ofstream f;
    f.open(NOMEFILE, ios::binary | ios::app );
    f.write((char *) &Elemento, sizeof(Elemento));
    f.close();

    return;
}
```

Osservando il codice potrete notare come innanzitutto raccogliamo i dati che inseriremo nella struttura con `cin` e il supporto della funzione `getline` per la lettura delle stringhe. Vi ricordo, come già chiarito nel Capitolo 18, che l'utilizzo della riga `cin.ignore(80, '\n');` ci serve per eliminare dall'input (su di un massimo di 80 caratteri relativi a una riga della console) il carattere `\n` di fine linea. Senza questo provvedimento verrebbe generato in automatico un ritorno a capo, che

impedirebbe l'accettazione dell'input per il successivo campo `titolo`.

Dopo aver raccolto i dati, dichiariamo l'oggetto `ofstream` aprendo il file in modalità binaria in output con scrittura in coda. Infatti prevediamo di scrivere i nostri record uno dopo l'altro in sequenza sempre in coda al file.

Effettuiamo la scrittura vera e propria con l'istruzione:

```
f.write((char *) &Elemento, sizeof(Elemento));
```

alla quale passiamo come primo argomento l'indirizzo della struttura appena valorizzata effettuandone il cast al tipo puntatore a caratteri e come secondo argomento la dimensione in byte della struttura stessa. La funzione `write` deve infatti sapere dove prelevare i dati per la scrittura e quanti byte deve scrivere nel file a partire dall'indirizzo di memoria specificato.

Modifica e sovrascrittura di un record

Vediamo ora una possibile implementazione per la funzione di modifica dei record. La logica di funzionamento che ci proponiamo di realizzare prevede che l'utente della nostra applicazione possa indicare il numero del fumetto per il quale intende modificare le informazioni rispetto al titolo e alle note associate allo specifico albo. Per farlo, una volta richiesto il numero del fumetto, effettuiamo la lettura dell'intero archivio e, prelevando il campo contenente il numero del fumetto dalla singola struttura, verifichiamo se tale valore corrisponde al numero inserito dall'utente. In tal caso richiediamo all'utente i nuovi dati e li poniamo in una nuova struttura di tipo `fumetto`. A questo punto dovremo inserire al posto giusto nella sequenza di strutture già salvate la nuova copia. Per capire dove inserire la nuova copia dell'elemento teniamo il conto, tramite un'apposita variabile, delle strutture lette durante la procedura di ricerca.

Di seguito il codice:

```
void Modifica()
{
    cout << "MODIFICA FUMETTO" << endl;
    fumetto Elemento;
    int n;
    int count=0;
    cout << "Numero fumetto da modificare: ";
    cin >> n;
    fstream f;
    f.open(NOMEFILE, ios::binary | ios::in | ios::out);
    while( f.read((char *) &Elemento, sizeof(Elemento)))
    {
        count++; //incremento conteggio posizione
        if (Elemento.numero == n)
        {
            cin.ignore(80, '\n');
            cout << "Nuovo titolo: ";
            cin.getline(Elemento.titolo, 25);
            cout << "Nuove note: ";
            cin.getline(Elemento.note, 50);
            f.seekp(count*sizeof(Elemento), ios::beg);
            f.write((char *) &Elemento, sizeof(Elemento));
        }
    }
}
```

```

        break;
    }
}
f.close();
return;
}

```

Ci sono alcuni elementi interessanti da analizzare. Il primo riguarda il ciclo `while`. Al suo interno, come condizione, abbiamo posto l'operazione di lettura stessa. Questa produrrà un valore di verità falso nel momento in cui non ci saranno più record da leggere. A ogni iterazione incrementiamo il conteggio della variabile `count` che alla fine ci dirà dove abbiamo trovato la struttura da modificare. Ovviamente, nel caso in cui il numero del fumetto indicato non fosse presente all'interno del file, il ciclo terminerebbe senza mai eseguire il contenuto del costrutto `if` innestato all'interno del ciclo stesso.

A proposito di uscita dal ciclo, notate l'uso dell'istruzione `break` in coda al blocco `if`. In tal modo forziamo l'uscita dal ciclo nel caso in cui abbiamo trovato l'occorrenza richiesta. Infatti, non avrebbe alcun senso proseguire nella ricerca nel momento in cui abbiamo trovato il numero del fumetto che vogliamo modificare.

Tuttavia, questa considerazione ne fa scaturire immediatamente un'altra. Come ci comportiamo nel caso in cui andiamo a inserire un nuovo fumetto con un numero di albo già presente nel nostro file? In linea di principio dovremmo impedire l'inserimento di un fumetto con un numero già presente, evitando quindi doppioni. Per farlo potremmo prevedere una funzione di ricerca, simile a quanto facciamo nella modifica, da utilizzarsi nel caso dell'inserimento di un nuovo fumetto. La funzione potrebbe restituire un valore booleano che ci indichi la presenza o meno in archivio di un albo con il numero indicato.

Tuttavia, anche questa sarebbe una scelta progettuale sulla quale poter discutere. Ad esempio, potremmo prevedere l'inserimento di doppioni all'interno del file perché potremmo pensare di realizzare l'applicativo non per noi ma per un rivenditore di fumetti usati. In questo caso il programma potrebbe prevedere un ulteriore campo per indicare lo stato del fumetto usato (se logoro, quasi nuovo ecc.) ed eventualmente anche il prezzo dell'albo stesso.

È intuitivo a questo punto verificare ancora una volta come le scelte progettuali iniziali siano fondamentali per tutta la fase di sviluppo e verifica successiva. Una fretta eccessiva nel voler codificare il proprio programma senza un'attenta e meditata fase relativa all'individuazione dei requisiti preliminari e funzionali può portare a enormi problemi. Questi possono riguardare sia il ritardo nei tempi di rilascio sia immani difficoltà di manutenzione e aggiornamento dell'applicativo.

Tornando al caso del nostro esempio, ignoriamo per semplicità in questo contesto la questione dei doppioni, lasciando a voi per esercizio l'onere di decidere la strategia da utilizzarsi per la loro gestione.

Per completare dunque l'esame della funzione di modifica non ci rimane che analizzare le righe relative alla riscrittura del record modificato all'interno del file:

```

f.seekp(count*sizeof(Elemento), ios::beg);
f.write((char *) &Elemento, sizeof(Elemento));

```

Con la funzione `seekp` ci spostiamo per la scrittura nella posizione individuata moltiplicando il numero `count`, ottenuto durante la ricerca dell'elemento, per la dimensione in byte dell'elemento stesso. Da notare che conteggiamo lo spostamento a partire dall'inizio del file con la modalità `ios::beg`. La successiva istruzione scrive sul file con le modalità già viste in precedenza.

Listare il contenuto del file

Siamo giunti finalmente all'ultima funzione che ci eravamo proposti di implementare: ottenere la lista della nostra collezione di fumetti.

Di seguito una sua possibile implementazione:

```
void Lista()
{
    cout << "LISTA FUMETTI" << endl;
    ifstream f;
    f.open(NOME_FILE, ios::binary | ios::in);
    if(!f)
    {
        cout << "Il file specificato non esiste!";
        return;
    }
    f.seekg(0, ios::beg);
    fumetto Elemento;
    while( f.read((char *) &Elemento, sizeof(Elemento)))
    {
        cout << "Numero: " << Elemento.numero << endl;
        cout << "Titolo: " << Elemento.titolo << endl;
        cout << "Note: " << Elemento.note << endl;
        cout << endl;
    }
    f.close();
    return;
}
```

La prima cosa che vi faccio notare è la possibilità di verificare l'esistenza del file relativo al nostro archivio utilizzando, come valore di verità all'interno dell'`if`, il valore restituito dalla funzione `open`. A rigore, tale controllo potrebbe essere superfluo in quanto l'esistenza del file la verifichiamo già come prima operazione all'avvio dell'applicazione. D'altronde, per semplicità, non abbiamo effettuato tale controllo nelle ultime due funzioni presentate (inserimento e modifica di un record).

Tuttavia, a ben pensarci, un motivo per effettuare il controllo dell'esistenza del file in ogni funzione che accede al file stesso potrebbe esserci. Il motivo potrebbe essere dato dal fatto che il file potrebbe essere cancellato dal disco, ad esempio da un utente burlone e malintenzionato, durante l'esecuzione dell'applicazione. In situazioni del genere l'applicazione, se non attenta a tali tipi di controlli, potrebbe andare incontro a situazioni del tutto impreviste. Anche in questo caso facciamo finta che il problema non ci riguardi e andiamo avanti.

Per il resto, in ogni caso, la funzione `Lista` è sicuramente la più semplice. Ci posizioniamo innanzitutto all'inizio del file con la funzione `seekg`. Successivamente cicliamo con un `while`

scorrendo il contenuto del file, come già visto prima, utilizzando il valore di verità restituito dalla funzione di lettura `read`.

La gestione degli errori e delle eccezioni

Il C rende facile spararti su un piede; C++ lo rende più difficile, ma quando lo fai, ti fa saltare via l'intera gamba.

Bjarne Stroustrup

La gestione degli errori è di fondamentale importanza in qualsiasi programma si vada a costruire. Durante tutto il percorso realizzato finora, ci è sistematicamente capitato di dover parlare dei possibili errori incontro ai quali potevano andare i nostri pezzi di codice. È giunto il momento di vedere in dettaglio gli strumenti messi a disposizione dal C++ per controllare e gestire al meglio tali errori e per tentare quindi di contenerne gli inevitabili effetti collaterali.

Try e catch

Il punto nodale della gestione degli errori in C++ va sotto il nome di **eccezioni**. Un'**eccezione** è una condizione particolare che viene a essere segnalata in un certo pezzo di codice in seguito al verificarsi di un dato evento. In maniera un po' più tecnica si dice che il codice **solleva** o **lancia** un'eccezione. Ciò affinché un'altra parte del codice stesso possa gestire senza traumi tale condizione di anomalia.

Il pezzo di codice che prevede il controllo per l'eccezione usa la parola chiave **try** seguita da un blocco di parentesi graffe. L'eccezione vera e propria viene sollevata dalla parola chiave **throw**. Infine, utilizziamo la parola chiave **catch** per gestire la segnalazione dell'eccezione stessa.

Vediamo subito il formalismo del codice in una delle espressioni più semplici possibile:

```
try
{
    //qui la verifica per un possibile errore
    throw 1;
}
catch (int e)
{
    cout << "Attenzione. Eccezione numero: " << e << endl;
}
```

Nel caso in cui si verifichi una certa situazione all'interno del blocco `try` solleviamo l'eccezione con `throw` passando alla sezione `catch` il valore `1`. Tale valore è in questo caso scelto a nostra completa discrezione.

La parola chiave `catch` richiede di essere seguita da una coppia di parentesi tonde all'interno delle quali catturiamo il valore passato attraverso la parola chiave `throw`. In questo caso si tratta di un intero che associamo alla variabile che definiamo come `int e`.

È ora tuttavia indispensabile dettagliare meglio il funzionamento di questa struttura di gestione degli errori con un esempio maggiormente completo. Supponiamo di dover effettuare una divisione tra due interi. Esiste ovviamente il rischio che il divisore sia uguale a zero con conseguente errore dell'applicazione. Infatti, nella matematica dei numeri reali una divisione per zero non ha significato.

Per controllare tale situazione possiamo organizzare il codice come segue:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int a,b;
    cout << "Primo numero: ";
    cin >> a;
    cout << "Secondo numero: ";
    cin >> b;
    try
    {
        if (b==0)
        {
```

```

        throw 1;
    }
    else
    {
        cout << "Risultato della divisione: " << a/b << endl;
    }
}
catch (int e)
{
    cout << "Eccezione catturata con numero di errore: " << e << endl;
}
return 0;
}

```

Come potete osservare, presi in input dividendo e divisore, verifichiamo il valore del divisore. Se questo risulta uguale a zero lanciamo l'eccezione con `throw` passando il valore intero 1. In caso contrario effettuiamo la normale divisione. Il `catch` cattura l'intero passato tramite l'invocazione dell'eccezione e stampa un messaggio a video in accordo con tale situazione.

Supponiamo ora che nella stessa situazione si voglia passare non più un intero ma un messaggio di testo sotto forma, ad esempio, di stringa costante. Dobbiamo effettuare due modifiche. La prima è relativa al `throw` e la seconda al `catch`. Tale costrutto è noto anche come **gestore d'eccezioni** o nel contesto anglosassone **exception handler**.

Il codice potrebbe essere il seguente:

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int a, b;
    cout << "Primo numero: ";
    cin >> a;
    cout << "Secondo numero: ";
    cin >> b;
    try
    {
        if (b==0)
        {
            throw "Divisione per zero!";
        }
        else
        {
            cout << "Risultato della divisione: " << a/b << endl;
        }
    }
    catch (const char* msg)
    {
        cout << "Eccezione catturata con messaggio: " << msg << endl;
    }
    return 0;
}

```

Il codice così modificato dovrebbe essere facilmente interpretabile. Con `throw` passiamo al `catch` il messaggio di testo: "Divisione per zero!".

Attenzione, infine, all'argomento del `catch` stesso definito come: `const char* msg`.

Gestori multipli

Abbiamo visto come intercettare con un `catch` l'errore sollevato con `throw`. La cosa da sottolineare è che è possibile inserire in cascata differenti blocchi `catch`. Solo uno di essi verrà però eseguito. Questo sarà scelto in base al tipo di argomento passato dal `throw`.

Di seguito un esempio chiarificatore:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int a, b;
    cout << "Primo numero: ";
    cin >> a;
    cout << "Secondo numero: ";
    cin >> b;
    try
    {
        if (b==0)
        {
            throw 1.0;
        }
        else
        {
            cout << "Risultato della divisione: " << a/b << endl;
        }
    }
    catch (int e)
    {
        cout << "Eccezione catturata con numero di errore: " << e << endl;
    }
    catch (const char* msg)
    {
        cout << "Eccezione catturata con messaggio: " << msg << endl;
    }
    catch (...)
    {
        cout << "Eccezione generica."<< endl;
    }
    return 0;
}
```

In coda al codice trovate i blocchi `catch` pronti per catturare l'eccezione generata. La novità che potete immediatamente individuare è data dal costrutto finale `catch (...){}.` I tre puntini sospensivi (in inglese sono chiamati **ellipsis**) servono per indicare una sorta di default, come avviene per il costrutto `switch`.

Se nessuno dei costrutti `catch` cattura l'esecuzione rispetto al tipo passato come argomento dal `throw` viene eseguito il blocco con tali puntini sospensivi. In effetti, se ci pensate, l'organizzazione del costrutto a scelta multipla `switch` e il modo in cui gestiamo i `catch` hanno vari aspetti comuni. Una diversità risiede comunque, sicuramente, nel fatto che non è richiesta alcuna istruzione `break`.

Una volta eseguito un `catch` che corrisponde per tipo, infatti, l'esecuzione salta alla fine di tutti gli altri costrutti `catch`.

Nell'esempio che vi ho proposto, a catturare l'eccezione è proprio la parte di costrutto "generica". Infatti, poiché all'interno dell'`if` ho scritto `throw 1.0`; il tipo passato nell'eccezione è un numero con la virgola. I blocchi `catch` fanno invece riferimento a un tipo intero e a una stringa. Nessuno dei due può quindi catturare l'eccezione che verrà gestita dal blocco con i puntini sospensivi.

Eccezioni standard

Oltre alla possibilità di organizzare in modo personale la gestione delle eccezioni abbiamo anche l'opportunità di sfruttare una serie di eccezioni, note come **eccezioni standard**, messe a disposizione dal linguaggio stesso. In particolare, la libreria standard fornisce una classe base specifica, per l'utilizzo della quale è necessario predisporre una corrispondente direttiva include:

```
#include <exception>
```

Un possibile modo di utilizzo per tale contesto potrebbe essere il seguente:

```
try
{
    // codice
}
catch (const std::exception& e)
{
    // Gestione eccezione e
}
```

Per un esempio concreto di questa metodologia dovete tuttavia pazientare fino al capitolo successivo, relativo all'allocazione dinamica della memoria.

L'allocazione dinamica della memoria

Il tempo si muove in una direzione, i ricordi in un'altra.

William Gibson

In questo capitolo torniamo a parlare di memoria, di variabili e delle conseguenze che l'uso della memoria può avere sulle nostre applicazioni. Se facciamo una riflessione sugli aspetti relativi alle dimensioni dei problemi che abbiamo trattato finora, scopriremo, infatti, che abbiamo vissuto con una sorta di fantasma: la **dimensione fissa**. Credo che la cosa più semplice che si possa fare per comprendere il senso di quello che sto affermando sia quella di pensare alle strutture dati complesse come gli array.

Quando dichiariamo un array, siamo costretti a definire a priori una dimensione per la struttura dati. Il più delle volte abbiamo pensato bene di usare una direttiva `#define` per essere più liberi nella gestione di tale limitazione, che in ogni caso esiste.

```
#define MAX 1000  
...  
int x[MAX];
```

Il motivo, banale, è dato dal fatto che il compilatore deve sapere in dettaglio quanta memoria allocare per una specifica variabile. Per chiarire la situazione vi presento il seguente pezzo di codice:

```
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main()  
{  
    cout << "L'impossibilità di gestire le necessità del momento!" << endl;  
    int n;  
    cout << "Di quanto spazio hai bisogno?";  
    cin >> n;  
    int a[n]; //non consentito  
  
    return 0;  
}
```

Tale approccio non è consentito in quanto, come già ampiamente detto, la dimensione dell'area di

memoria da allocare per l'array deve essere nota in fase di compilazione.

Ovviamente ciò può rappresentare un grosso ostacolo. Non sempre la dimensione del problema è infatti nota prima dell'esecuzione e qualsiasi scelta a tal proposito può comportare delle conseguenze. Ad esempio, come già visto in altri casi, se ci limitiamo troppo nella grandezza dei dati a disposizione, potremmo non riuscire a memorizzare determinati elementi che non rientrano nello spazio a disposizione. D'altra parte, esagerare con le previsioni può portare a sprecare inutilmente spazio di memoria.

In altri casi potremmo essere fisicamente limitati dalla quantità delle risorse di memoria disponibili sulla specifica macchina. Per capire tale limitazione basta immaginarsi cosa può succedere se eccediamo con la grandezza del numero assegnato a una costante. Usando l'esempio precedente, istruzioni come:

```
#define MAX 10000000
```

possono portare a comportamenti inaspettati o, in alcuni casi, all'impossibilità di compilare segnalata dal compilatore stesso.

Il problema delle dimensioni dello spazio di memoria occupato si presenta in realtà anche con l'uso di variabili di tipo semplice. Quando scriviamo qualcosa del tipo:

```
int x = 10;
```

il compilatore assegna nella memoria RAM il numero di byte necessari per la memorizzazione di un intero sulla specifica architettura. Tali variabili prendono il nome di **variabili statiche automatiche**. In generale, esse vivono per un tempo di esecuzione relativo al blocco di codice nel quale sono dichiarate e successivamente, alla fine del blocco in questione, muoiono diventando quindi inaccessibili.

Di seguito vi propongo un semplice esempio, che ritengo sia estremamente chiarificatore, in relazione a due questioni fondamentali che stiamo descrivendo relativamente alle variabili automatiche: il loro ciclo di vita rispetto al blocco in cui sono dichiarate e la necessità del compilatore di conoscere a priori il contesto di cui occuparsi:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    {
        int x = 0;
    }
    cout << x; // Attenzione: il codice genera un errore
    return 0;
}
```

Il pezzo di codice presentato genererà le seguenti segnalazioni:

```
warning: unused variable 'x'
error: 'x' undeclared (first use this function)
```

Il primo è un avvertimento: la variabile `x` non viene utilizzata. Facciamo infatti attenzione al

blocco di parentesi che racchiude la dichiarazione con inizializzazione `int x = 0;.` Tale blocco fa sì che la variabile `x` in esso dichiarata viva solo in tale blocco, isolata dal “mondo esterno”. Poiché in tale blocco non utilizziamo la variabile stessa, il compilatore ci avverte dell’anomalia: perché mai dichiarare una variabile per poi non utilizzarla? Il compilatore non può sapere che stiamo facendo un esempio e si comporta in modo diligente rispetto ai suoi compiti. Il compilatore è poi così puntiglioso da rifiutarsi anche di compilare, generando un errore segnalandoci che la variabile `x` utilizzata nella stampa con `cout` non è stata dichiarata (`'x' undeclared`). Infatti, come già visto, la variabile `x`, dichiarata e inizializzata nel blocco di parentesi precedente, non è visibile all’esterno di tale blocco e quindi la `x` coinvolta nella `cout` è a tutti gli effetti un’altra variabile completamente differente.

È di estremo interesse ora chiedersi cosa succeda allo spazio di memoria occupato dalle variabili statiche automatiche. Purtroppo non c’è modo per il programma di riutilizzare direttamente tale spazio per eventuali altre variabili, in quanto tale gestione è demandata al sistema stesso.

Stack e Heap: come gestire la memoria

Infatti, una variabile automatica viene memorizzata in un'area di memoria riservata al programma denominata **stack**, che una volta saturata non può più essere utilizzata. Non a caso in una tale eventualità si parla di **overflow dello stack**, che potremmo tradurre in italiano con qualcosa del tipo “traboccamento” dello stack. Ma che assolutamente non traduciamo conservando la dizione inglese!

In effetti, una tale situazione si potrebbe verificare quando si dichiarano delle variabili all'interno di un ciclo troppo lungo o in situazioni di eccessive chiamate ricorsive di funzioni.

Sembra una strada senza uscita. In realtà l'ideale sarebbe invece una situazione in cui poter dichiarare e utilizzare di volta in volta solo lo spazio di cui abbiamo bisogno in un dato momento. Ad esempio, nel momento in cui un utente del nostro applicativo inserisce un nuovo record, vorremmo poter assegnare la quantità di memoria necessaria per tale operazione e successivamente dichiarare che tale memoria non ci interessa più per poterla rilasciare al sistema operativo. In tal modo il sistema potrebbe riavere in carico la memoria rilasciata per riutilizzarla in seguito per eventuali nuove richieste. Fortunatamente tale meccanismo è possibile grazie a una seconda area di memoria dedicata all'allocazione dinamica della memoria: la **memoria heap**.

New e delete: operiamo dinamicamente sulla memoria

Dovrebbe allora essere chiaro che ciò di cui abbiamo bisogno è un meccanismo che consenta di richiedere al sistema l'esatta quantità di memoria per una certa operazione e quindi un analogo meccanismo per rilasciare al sistema la memoria quando non più necessaria, in modo che il sistema stesso possa renderla disponibile per future richieste.

A tale scopo il linguaggio C dispone di una serie di funzioni rese disponibili attraverso il file di intestazione **stdlib.h**. Tali funzioni sono: **malloc**, **realloc**, **calloc** e **free**. In realtà, anche se relative al linguaggio C, tali funzioni sono tranquillamente utilizzabili all'interno di codice C++ tramite la libreria **cstdlib**.

Tuttavia, il linguaggio C++ dispone di propri strumenti per la gestione dinamica della memoria; una fantastica coppia di specifiche istruzioni: **new** e **delete**.

Dovrebbe risultare abbastanza naturale pensare al fatto che la gestione dinamica della memoria abbia a che fare in maniera diretta con il concetto di puntatore.

Vediamo infatti come procedere partendo dall'allocazione di uno spazio di memoria per contenere una semplice variabile di tipo intero.

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    cout << "Una singola variabile dinamica" << endl;
    int *p = new int;
    *p = 1;
    cout << "Il valore e': " << *p << endl;
    delete p;

    return 0;
}
```

L'istruzione sulla quale porre la nostra attenzione è la seguente:

```
int *p = new int;
```

Con essa dichiariamo una variabile puntatore, di nome `p`, a un'area di memoria predisposta per contenere un intero. Successivamente, con `*p = 1;` assegniamo al contenuto di `p` il valore intero `1`. La parolina magica è appunto l'operatore `new`, che fa sì che tale spazio di memoria sia gestito all'interno della sezione heap. Per il resto, se avete digerito i puntatori, il tutto dovrebbe risultare abbastanza chiaro.

Ora qualche parola sull'operatore `delete` che si preoccupa di liberare la memoria utilizzata dal puntatore. La cosa che forse vale la pena di sottolineare è che la variabile puntatore continua a essere presente, mentre ciò che viene “cancellato” è lo spazio di memoria precedentemente disponibile e quindi la possibilità di accedervi. Per evitare problemi e tener traccia dei puntatori che dopo una `delete` continuano a puntare a un'area di memoria non più disponibile (in quanto rilasciata al sistema operativo), si può pensare di impostare a zero il valore del puntatore aggiungendo in coda al codice precedente l'istruzione:

p = 0;

Il dinamismo di un array

Dopo aver visto la modalità più semplice di gestione dinamica della memoria riguardante una singola variabile, vediamo ora come prevedere un approccio dinamico in presenza di un array di elementi. Tale approccio richiede la seguente sintassi:

```
int *p = new int[n];
```

dove `n` rappresenta la dimensione dell'array da creare utilizzando l'allocazione dinamica, riservando memoria dalla sezione heap. A ben guardare non c'è gran differenza rispetto alla sintassi utilizzata per la gestione di una singola variabile; l'unica particolarità è data dall'utilizzo delle parentesi quadre, che contengono la dimensione dell'array da allocare dinamicamente. Tali parentesi, che d'altronde sono una caratteristica già ampiamente familiare quando si ha a che fare con gli array, vengono utilizzate anche nel caso dell'operatore `delete` riferito al rilascio di memoria allocata per un array. La sintassi per questo caso è infatti la seguente:

```
delete[] p;
```

Se facciamo un passo indietro e ricordiamo quanto sia stretto il rapporto tra puntatori e array, già analizzato nel contesto del C, non ci sorprenderà più di tanto il fatto che è possibile utilizzare la variabile puntatore per riferirsi alle singole posizioni dell'array, scrivendo qualcosa del tipo: `p[i]` per indicare la *i*-esima posizione dell'array in questione.

Di seguito mettiamo insieme tali concetti in un piccolo pezzo di codice che chiede all'utente la dimensione dell'area da allocare e dopo tale allocazione riempie l'array stesso con numeri interi a partire da 1 fino a riempire l'intera struttura dati.

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    cout << "Allocazione dinamica" << endl;
    int n;
    cout << "Di quanto spazio hai bisogno?";
    cin >> n;

    //allocazione array
    int *p = new int[n];
    //valorizzazione array
    int i;
    for (i=0; i <n; i++)
    {
        p[i]=i+1; //l'array parte da zero ma noi inseriamo i numeri a partire
    }

    //stampa array
    for (i=0; i <n; i++)
    {
        cout << p[i] << " ";
    }
    //deallocazione
```

```
delete[] p;  
return 0;  
}
```

I memory leaks

Come si è visto, le procedure relative all’allocazione della memoria vengono realizzate in maniera manuale dal programmatore. Siamo noi a dover richiedere esplicitamente una data quantità di memoria e successivamente comunicare al sistema che tale memoria non è più di nostro interesse. Proprio il mancato rilascio della memoria allocata può causare grossi problemi al programma e incidere addirittura sulla stabilità dell’intero sistema. Il motivo è dato dal fatto che, una volta allocata la specifica quantità di memoria, questa viene riservata per l’uso richiesto dall’applicativo e, se non liberata con l’istruzione `delete`, rimane inaccessibile per usi futuri.

Infatti la variabile puntatore, che in fase di `new` punta all’area di memoria in oggetto, nel momento in cui termina il suo ciclo di vita, uscendo ad esempio dalla funzione nella quale è dichiarata, perde il riferimento a tale area di memoria. Con essa si perde anche qualsiasi possibilità di referenziare tale area che, pur continuando a esistere, diventerà assolutamente irraggiungibile e quindi non più utilizzabile. Tale situazione prende il nome di **memory leak**.

Un memory leak è dunque una situazione per la quale si perde la possibilità di gestire l’area di memoria precedentemente allocata. Poiché tale area di memoria è gestita attraverso una variabile puntatore, un errore relativo a una errata manipolazione di tale puntatore può portare a un altro tipo di memory leak come, per esempio, se si dovesse cambiare inavvertitamente il suo valore.

Verifichiamo la disponibilità di spazio di memoria

La memoria è una risorsa fisica della macchina e, come tale, ha una sua dimensione che, per quanto grande possa essere, è pur sempre limitata. Cosa succede se proviamo a richiedere memoria per un'allocazione dinamica e questa non è disponibile? In effetti i risultati sono del tutto imprevisti e potrebbero comportare anche il blocco dell'applicazione. Un buon programmatore sa che già esistono tutta una serie di problemi ai quali può andare incontro la propria applicazione e che non è proprio il caso di crearsene di nuovi per semplice pigrizia. La questione è banale: controllare la disponibilità del sistema ad allocare memoria prima di utilizzarla.

Un sistema molto semplice e intuitivo è basato sulla circostanza che in caso di fallimento dell'allocazione, l'operatore `new` restituisce il valore zero. Tuttavia, in caso di anomalia nell'allocazione, il sistema genera un'eccezione che dovremmo impegnarci a catturare. Nel caso non si voglia gestire tale eccezione è necessario dirlo esplicitamente usando, subito dopo l'operatore `new`, la parola chiave **nothrow**, come vi mostro nell'esempio seguente:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int *p;
    p = new (nothrow) int [1000000000];
    if (p == 0)
    {
        cout << "Allocazione FALLITA!";
    }
    else
    {
        cout << "Allocazione riuscita";
    }
    return 0;
}
```

È probabile che anche sul vostro sistema venga segnalato un errore di allocazione fallita a causa delle eccessive dimensioni dell'array dinamico richiesto tramite `new`.

Vediamo ora invece come gestire la situazione di errore nel caso di utilizzo delle **eccezioni standard**. Il codice potrebbe essere il seguente:

```
#include <iostream>
#include <exception>
using namespace std;
int main()
{
    try
    {
        // codice
        int *p;
        p = new int [1000000000];
    }
```

```
        catch (exception& e)
    {
        // Gestione eccezione e
        cout << "Allocazione FALLITA! " ;
        cout << "Eccezione standard: " << e.what() << endl;
    }
    return 0;
}
```

La cosa interessante di questo stralcio di codice è il contenuto del `catch`. Al suo interno facciamo riferimento alla classe `exception` definita nell'omonimo file di include `<exception>`. Rispetto a tale classe sfruttiamo la funzione `what()`, che restituisce il tipo di errore riscontrato, nel nostro caso **St9bad_alloc**.

Allociamo dinamicamente oggetti

Uno degli aspetti forse più interessanti e utili della gestione dinamica della memoria è la possibilità di allocare dinamicamente non solo semplici variabili e array, ma anche gli oggetti. Ovviamente, come intuibile, utilizziamo gli operatori `new` e `delete` già visti in precedenza e con modalità del tutto simili.

Di seguito vi presento, senza ulteriori indugi, un esempio che si basa sulla ormai ben nota classe `Rettangolo` già più volte utilizzata.

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Rettangolo
{
public:
    int x;
    int y;
    Rettangolo(int, int);
    int Area();
};
Rettangolo::Rettangolo(int a, int b)
{
    x = a;
    y = b;
}
int Rettangolo::Area()
{
    return x * y;
}
int main()
{
    cout << "La mia classe rettangolo e' dinamica" << endl;
    Rettangolo *pR1 = new Rettangolo (4, 7);
    cout << "L'area del rettangolo vale: " << pR1->Area() << endl;
    delete pR1;
    return 0;
}
```

In realtà, l'unica novità del codice è il modo con cui dichiariamo e ci riferiamo all'oggetto `Rettangolo`. La creazione dell'oggetto in maniera dinamica è demandata all'istruzione:

```
Rettangolo *pR1 = new Rettangolo (4, 7);
```

Per leggerla in maniera più rassicurante la possiamo confrontare con l'istruzione utilizzata per allocare dinamicamente una variabile di tipo intero, vista in precedenza:

```
int *p = new int;
```

Come potete osservare, `Rettangolo` rappresenta un tipo così come lo è `int`. Se vogliamo, l'unica differenza sostanziale è data dai parametri che passiamo al costruttore all'interno delle parentesi tonde. Tuttavia, la somiglianza diventa addirittura impressionante nel momento in cui vi rivelo che nel caso di variabili di tipo semplice è possibile allocare dinamicamente la variabile e

inizializzarla direttamente a uno specifico valore, come vi mostro di seguito:

```
int *p = new int(10);
```

dove 10 è il voto che vi meritate per avermi seguito fino a questo punto.

Per il resto, in relazione all'esempio della classe Rettangolo, non c'è molto da dire. Facendo riferimento ai puntatori usiamo la notazione freccia per riferirci alla funzione membro Area. Infine deallochiamo l'oggetto con delete.

Le interfacce grafiche e la programmazione guidata da eventi

La saggezza consiste nel sapere quando si può evitare la perfezione.

Arthur Bloch

Finora tutte le applicazioni che abbiamo realizzato sono state di tipo console e quindi puramente testuali. Ho già motivato tale scelta in più occasioni. Imparare a programmare non richiede necessariamente la creazione di applicazioni di tipo grafico con finestre e menu. Anzi, per certi aspetti la creazione di applicazioni testuali ci forza allo studio dei dettagli della programmazione senza costringerci a digerire gli innumerevoli aspetti coinvolti nella realizzazione di elementi di tipo grafico.

Inoltre, come già detto in altre occasioni, né il linguaggio C tantomeno il C++ posseggono strumenti autonomi per la creazione di tali applicazioni. È quindi di norma indispensabile rifarsi all'utilizzo di apposite librerie: MFC, GTK o QT solo per citarne alcune. Nel prosieguo vi presento un approccio relativo al contesto Windows che seppur rappresenti una scelta inevitabilmente parziale può farvi comprendere le problematiche di tipo generale che coinvolgono lo sviluppo di tali applicazioni.

Inizio con alcune indicazioni di carattere generale relative allo sviluppo di **applicazioni grafiche**.

La programmazione guidata da eventi

La programmazione “classica” prevede la scrittura di codice prodotto per risolvere un dato problema indicando in modo sostanzialmente **sequenziale** le attività da realizzare. Un qualcosa del tipo: fai questo, chiedi questo valore, calcola quest’altro, e così via discorrendo.

Un tale approccio risulta abbastanza pratico e applicabile in differenti occasioni: ma non sempre! Il caso più lampante e intuitivo può essere proprio quello di un’applicazione a finestre, classica di un ambiente grafico tipo Windows del quale stiamo discutendo.

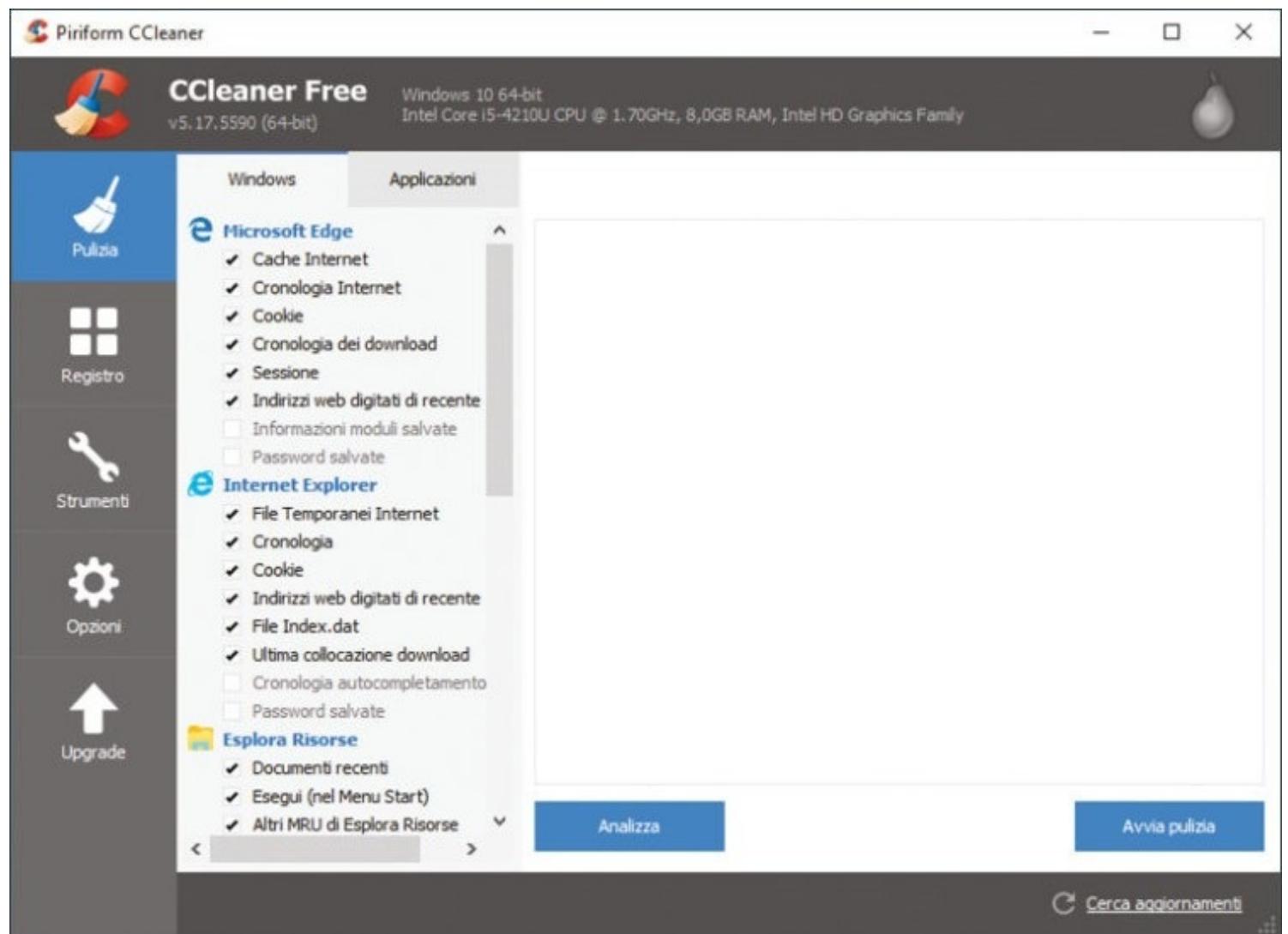


Figura 27.1 – Una tipica applicazione Windows.

In un’applicazione di questo tipo, infatti, sono generalmente presenti svariati elementi “attivi” con i quali l’utente deve interagire: bottoni, voci di menu, liste ecc.

È intuitivo comprendere come un’applicazione di questo tipo sia difficilmente trattabile con un approccio sequenziale.

Ogni elemento dell’interfaccia rappresenta, infatti, un punto da cui può scaturire un’azione a causa del fatto che l’utente agisca, a puro titolo di esempio, con un click o un doppio click del mouse, sull’elemento stesso.

Compreso il contesto e le problematiche connesse, cerchiamo allora una soluzione a questo tipo

di situazioni iniziando a essere più formali nella terminologia da utilizzare.

Cominciamo con il dire che gli elementi presenti all'interno di una finestra di un'applicazione prendono il nome di **widget**, oppure di **controlli**. Una casella di testo (**text box**), un'etichetta (**label**) o un bottone sono tutti esempi di widget.

Tali elementi rappresentano l'interfaccia vera e propria dell'applicazione e il mezzo con cui l'utente può inviare dei comandi all'applicazione stessa. Ciò avviene abitualmente tramite l'utilizzo del mouse e/o della tastiera; ad esempio, relativamente al mouse, l'utente può esercitare delle azioni come un click oppure un doppio click su di un widget.

Tali azioni prendono il nome di **eventi**, che vengono scatenati da appositi **messaggi** inviati all'applicazione.

Il concetto di evento, così importante in questo tipo di contesto, diventa allora l'elemento centrale di uno specifico approccio nel realizzare applicazioni: la **programmazione guidata da eventi**.

Tale modo di affrontare lo sviluppo viene spesso anche definito **Modello Hollywood**, prendendo spunto da una classica frase che recita “*Don't call us, we'll call you*” propria degli ambienti del mondo dello spettacolo. La frase, traducibile in italiano come “*Non chiamarci, ti chiameremo noi*” (il classico “Le faremo sapere”), ben si adatta a situazioni in cui sarà il controllo a chiamare il codice da eseguirsi in caso di un'azione effettuata su di esso piuttosto che il realizzarsi che sia il codice di sua iniziativa a richiedere specifiche azioni all'utente dell'applicazione.

A livello implementativo, questo approccio può essere sintetizzato in due specifici momenti di programmazione.

Di norma, un primo momento vede la realizzazione e il disegno dell'interfaccia grafica dell'applicazione con tutti i suoi widgets: finestre, bottoni, liste ecc.

In un secondo momento si scrive, per ciascun elemento dell'interfaccia che si vuole coinvolgere nell'applicazione, una serie di istruzioni relative a ciò che si vuole far fare all'elemento nel momento in cui questo subisce uno specifico evento. A puro titolo di esempio si potrebbe pensare a un bottone che subisce un clic del mouse e reagisce mostrando un apposito messaggio di testo.

Che fatica aprire una finestra

Creare una finestra Windows può sembrare un'operazione banale. Tale convinzione è sicuramente basata sul fatto che le finestre sono elementi con i quali abbiamo sistematicamente e comunemente a che fare. Tuttavia, una cosa è usare un oggetto, tutt'altra cosa è crearlo. Diversi ambienti di sviluppo consentono la creazione di finestre in modo grafico e intuitivo. Tuttavia il codice per aprire e gestire una finestra anche assolutamente basilare è abbastanza complesso e ci affidiamo quindi al wizard (procedura guidata) dell'ambiente di sviluppo.

Nel caso di Code::Blocks selezioniamo la voce di menu **File - New - Project** e scegliamo il tipo **Win32 GUI project**. Vi ricordo che GUI è l'acronimo di **Graphical User Interface**, appunto interfaccia grafica per l'utente.

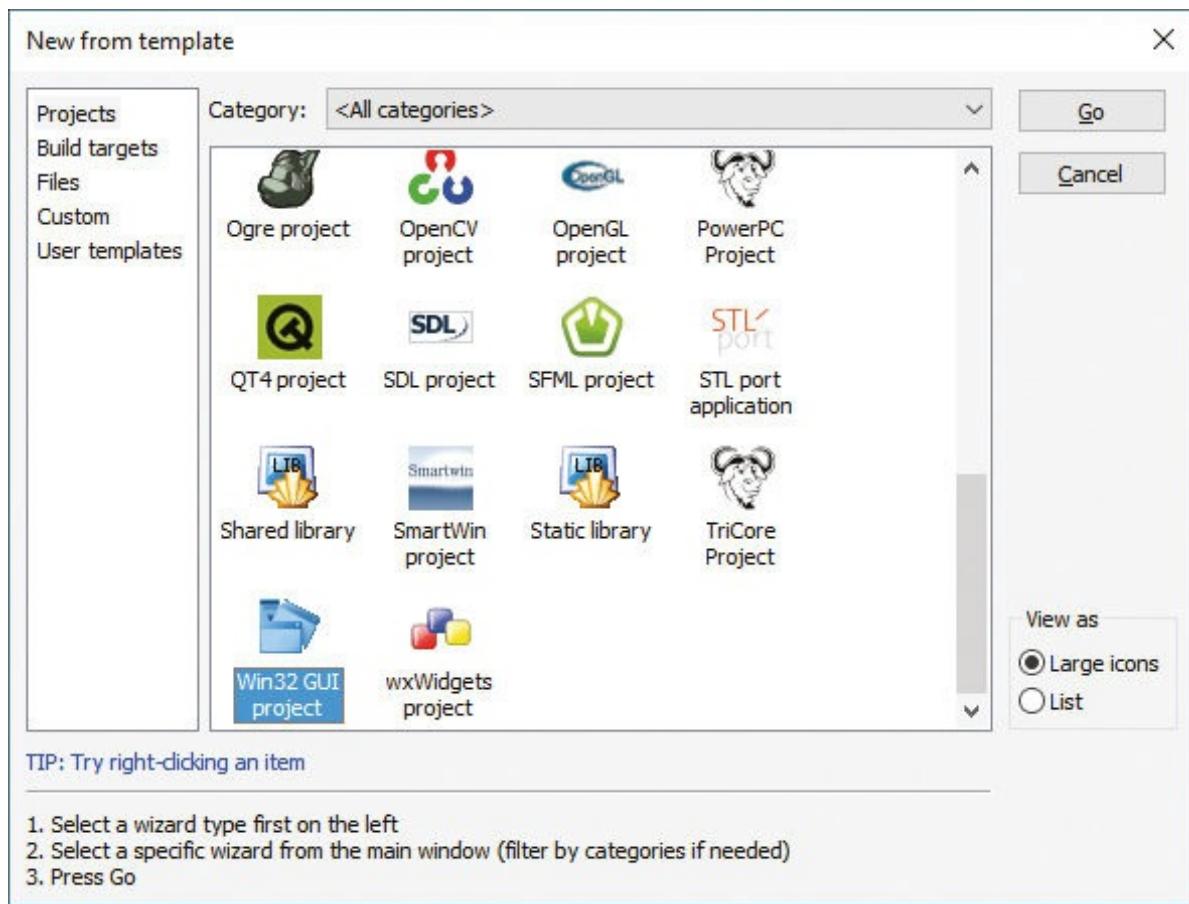


Figura 27.2 – La scelta del tipo di progetto per un'applicazione a finestre di tipo Windows.

Successivamente selezioniamo nel wizard il tipo **Frame based**. Tale tipologia è contrapposta alla selezione **Dialog based**. Quest'ultima è consigliata solo nel caso di applicazioni di ridotte dimensioni, con pochi elementi da gestire. Un esempio tipico e chiarificatore può essere quello di un programma che realizza una calcolatrice, nella quale abbiamo una piccola finestra con una serie di bottoni e qualche altro semplice elemento. Solo in casi come questo è consigliabile usare il modello **Dialog based**.

Di seguito vi riporto quindi il codice prodotto dall'ambiente Code::Blocks relativo alla scelta di tipo Frame e salvato nel file `main.cpp`.

```
#include <windows.h>
```

```

/* Declare Windows procedure */
LRESULT CALLBACK WindowProcedure (HWND, UINT, WPARAM, LPARAM);
/* Make the class name into a global variable */
char szClassName[ ] = "CodeBlocksWindowsApp";
int WINAPI WinMain (HINSTANCE hThisInstance,
                     HINSTANCE hPrevInstance,
                     LPSTR lpszArgument,
                     int nCmdShow)
{
    HWND hwnd;                  /* This is the handle for our window */
    MSG messages;               /* Here messages to the application are saved */
    WNDCLASSEX wincl;          /* Data structure for the windowclass */
    /* The Window structure */
    wincl.hInstance = hThisInstance;
    wincl.lpszClassName = szClassName;
    wincl.lpfnWndProc = WindowProcedure;      /* This function is called by windows */
    wincl.style = CS_DBLCLKS;                 /* Catch double-clicks */
    wincl.cbSize = sizeof (WNDCLASSEX);
    /* Use default icon and mouse-pointer */
    wincl.hIcon = LoadIcon (NULL, IDI_APPLICATION);
    wincl.hIconSm = LoadIcon (NULL, IDI_APPLICATION);
    wincl.hCursor = LoadCursor (NULL, IDC_ARROW);
    wincl.lpszMenuName = NULL;                /* No menu */
    wincl.cbClsExtra = 0;                     /* No extra bytes after the window class */
    wincl.cbWndExtra = 0;                     /* structure or the window instance */
    /* Use Windows's default colour as the background of the window */
    wincl.hbrBackground = (HBRUSH) COLOR_BACKGROUND;
    /* Register the window class, and if it fails quit the program */
    if (!RegisterClassEx (&wincl))
        return 0;
    /* The class is registered, let's create the program*/
    hwnd = CreateWindowEx (
        0,                                /* Extended possibilites for variation */
        szClassName,                      /* Classname */
        "Code::Blocks Template Windows App", /* Title Text */
        WS_OVERLAPPEDWINDOW,              /* default window */
        CW_USEDEFAULT,                   /* Windows decides the position */
        CW_USEDEFAULT,                   /* where the window ends up on the screen */
        544,                            /* The programs width */
        375,                            /* and height in pixels */
        HWND_DESKTOP,                   /* The window is a child-window to desktop */
        NULL,                           /* No menu */
        hThisInstance,                  /* Program Instance handler */
        NULL                            /* No Window Creation data */
    );
    /* Make the window visible on the screen */
    ShowWindow (hwnd, nCmdShow);
    /* Run the message loop. It will run until GetMessage() returns 0 */
    while (GetMessage (&messages, NULL, 0, 0))
    {
        /* Translate virtual-key messages into character messages */
        TranslateMessage(&messages);
        /* Send message to WindowProcedure */

```

```

        DispatchMessage(&messages);
    }
    /* The program return-value is 0 - The value that PostQuitMessage() gave
     * back to us
    return messages.wParam;
}
/* This function is called by the Windows function DispatchMessage() */
LRESULT CALLBACK WindowProcedure (HWND hwnd, UINT message, WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
    switch (message)                                /* handle the messages */
    {
        case WM_DESTROY:
            PostQuitMessage (0);                  /* send a WM_QUIT to the message queue
            break;
        default:                               /* for messages that we don't deal with
            return DefWindowProc (hwnd, message, wParam, lParam);
    }
    return 0;
}

```

In effetti, a prima vista il codice in questione può incutere paura. La sua compilazione e relativa esecuzione visualizzerà la finestra mostrata nella Figura 27.3.

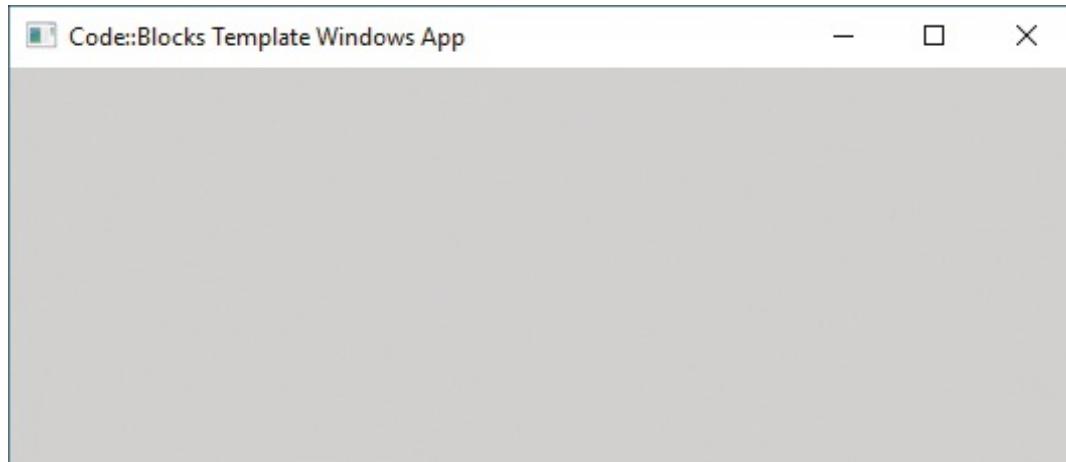


Figura 27.3 – L'applicazione Windows generata dal wizard frame based.

Cominciamo dunque a esaminare il codice realizzato per noi dall'ambiente. In tale lavoro saremo agevolati dal fatto che il wizard introduce nel codice in maniera automatica svariati commenti che, anche se in lingua inglese, ci agevolano di moto nella comprensione delle funzionalità delle varie parti del codice stesso.

Partendo dall'inizio, la prima cosa sulla quale ci soffermiamo è la riga:

```
#include <windows.h>
```

Si tratta del file di include principale per lo sviluppo di applicazioni Windows che richiama a sua volta tutta una serie di ulteriori file di include per la gestione delle librerie necessarie per le applicazioni Windows stesse.

WinMain: il punto di ingresso dell'applicazione

Saltando qualche riga di codice incontriamo il punto di ingresso dell'applicazione:

```
int WINAPI WinMain (HINSTANCE hThisInstance,
                     HINSTANCE hPrevInstance,
                     LPSTR lpszArgument,
                     int nCmdShow)
```

La funzione `WinMain` realizza dunque l'analoga funzionalità del classico `main`, tante volte visto nel contesto delle applicazioni console. Come si vede chiaramente, tale funzione restituisce un intero. Questo valore può essere utilizzato come stato di uscita del programma da qualche altra applicazione che richiami il programma stesso. Esso non viene utilizzato dal sistema operativo. Analizzando il prototipo della funzione, scopriamo un elemento del tutto nuovo rispetto a quanto finora visto per le funzioni stesse. Siamo infatti abituati a confrontarci con qualcosa del tipo:

```
valore_restituito NomeFunzione(argomenti_input)
```

mentre in questo caso incontriamo un nuovo elemento sotto forma della parola chiave `WINAPI`. Si tratta di una cosiddetta **calling convention**, ovvero convenzione per la chiamata. Una calling convention definisce il modo con cui la funzione riceve i parametri dal chiamante la funzione stessa. Per i nostri scopi tale informazione può essere sufficiente e possiamo quindi limitarci a controllare che la voce venga utilizzata così come proposta dall'ambiente.

Più interessante risulta analizzare i quattro parametri presi in input dalla nostra funzione.

- `hThisInstance` rappresenta un **handle** per l'istanza dell'applicazione, ovvero un collegamento utilizzato dal sistema operativo per identificare l'eseguibile caricato all'interno della memoria della macchina. Può inoltre essere utilizzato per la gestione di icone o immagini collegate all'applicazione.
- `hPrevInstance` non è più usato ed è posto sempre a zero. È un retaggio del mondo Windows a 16 bit dove serviva a evitare di aprire più volte lo stesso file eseguibile.
- `lpszArgument` rappresenta, sotto forma di puntatore a stringa, gli eventuali argomenti passati sulla riga di comando.
- `nCmdShow` è un valore intero che indica come verrà visualizzata la finestra dell'applicazione al lancio della stessa: minimizzata, massimizzata oppure mostrata nelle sue dimensioni originali predefinite.

La struttura di una finestra

Procediamo con l'analisi della nostra applicazione osservando cosa succede all'interno della funzione `WinMain`. La prima cosa di interesse è la riga:

```
WNDCLASSEX wincl;           /* Data structure for the windowclass */
```

Con tale istruzione dichiariamo una struttura di tipo `WNDCLASSEX`. Ogni finestra Windows deve possedere un riferimento a una struttura di tale tipo, in quanto in essa vengono memorizzate tutta una serie di caratteristiche della finestra stessa.

Vi invito a notare le varie valorizzazioni dei membri della struttura attraverso il classico operatore `.` (punto).

Subito dopo tali valorizzazioni proviamo a **registrare** all'interno del sistema la nostra finestra, ovvero a far sapere a Windows della sua esistenza con il codice:

```
if (!RegisterClassEx (&wincl))
    return 0;
```

Come si evince chiaramente dall'uso dell'operatore logico `not` (il punto esclamativo) in caso di fallimento dell'operazione usciamo brutalmente.

Al contrario, se tutto è andato per il verso giusto procediamo a creare la nostra finestra utilizzando la seguente chiamata:

```
hwnd = CreateWindowEx (...);
```

dove per brevità ho inserito i puntini sospensivi al posto dei vari parametri che possiamo passare per dettagliare le nostre richieste di creazione.

Tanto per citarne uno, potete osservare il terzo parametro, valorizzato con la stringa "Code::Blocks Template Windows App" che rappresenta il nome dell'applicazione visualizzato sulla barra del titolo dell'applicazione stessa. Potete iniziare proprio da tale parametro, sostituendolo ad esempio con la stringa "La mia prima applicazione Windows" per personalizzare e adattare alle vostre esigenze il modello proposto dal wizard di Code::Blocks.

Arrivati a questo punto, non ci resta che visualizzare la nostra brava finestra con la funzione:

```
ShowWindow (hwnd, nCmdShow);
```

nella cui chiamata è possibile riconoscere i due argomenti; il primo come handle della finestra e il secondo indicante le modalità di apertura.

Un loop per i messaggi

Una volta che la finestra è visualizzata all'interno del sistema, essa è pronta per interagire con il mondo esterno e quindi con l'utente. Un clic sulla tastiera o addirittura, più semplicemente, il movimento del mouse sulla finestra causano l'invio di messaggi alla nostra applicazione che vengono inseriti in una speciale **coda dei messaggi** associata all'applicazione stessa.

Per gestire tale coda, e quindi l'insieme dei messaggi inviati, ogni applicazione deve prevedere un apposito ciclo: il **loop dei messaggi**. Tale struttura di controllo serve dunque all'applicazione per catturare i messaggi e inviarli alla giusta finestra, considerando infatti che una stessa applicazione può contenere differenti finestre.

Nel nostro caso il ciclo è implementato come segue:

```
/* Run the message loop. It will run until GetMessage() returns 0 */
while (GetMessage (&messages, NULL, 0, 0))
{
    /* Translate virtual-key messages into character messages */
    TranslateMessage(&messages);
    /* Send message to WindowProcedure */
    DispatchMessage(&messages);
}
```

La funzione `GetMessage` preleva di volta in volta dalla coda dei messaggi il primo pronto per essere processato e restituisce un valore diverso da zero per ogni messaggio catturato, eccezion fatta per il messaggio identificato dalla costante `WM_QUIT`, corrispondente al valore zero. Ciò accade in corrispondenza della richiesta di chiusura dell'applicazione, il che causa dunque l'uscita dal loop.

La funzione `TranslateMessage` è relativa all'input generato dalla tastiera.

All'interno del loop l'istruzione cardine è invece la chiamata `DispatchMessage`. Tale funzione forza Windows indirettamente a chiamare la funzione `WindowProcedure`, una volta per ogni messaggio. Il nome di tale funzione lo abbiamo indicato nella struttura di tipo `WNDCLASSEX` con la riga di codice:

```
wincl.lpfnWndProc = WindowProcedure;           /* This function is called by window
```

Rispondiamo ai messaggi

Come detto, la funzione `WindowProcedure` serve a gestire la risposta ai messaggi inviati verso la nostra applicazione. Di seguito, per comodità, vi riporto nuovamente il codice dell'implementazione di tale funzione:

```
/* This function is called by the Windows function DispatchMessage() */
LRESULT CALLBACK WindowProcedure (HWND hwnd, UINT message, WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
    switch (message)                                /* handle the messages */
    {
        case WM_DESTROY:
            PostQuitMessage (0);                  /* send a WM_QUIT to the message queue
            break;
        default:                               /* for messages that we don't deal with
            return DefWindowProc (hwnd, message, wParam, lParam);
    }
    return 0;
}
```

Analizziamola dunque a partire dalla sua firma. `CALLBACK` è la calling convention della funzione. `LRESULT` è un valore di tipo intero che dipende dal tipo di messaggio gestito, in quanto contiene la risposta della nostra applicazione al messaggio stesso.

Per quanto riguarda i parametri in input, `hwnd` è banalmente l'handle della finestra mentre `message` è il codice del messaggio, ad esempio `WM_DESTROY`. Come si può vedere dallo `switch` interno alla funzione è proprio il valore contenuto in `message` a gestire e selezionare i vari `case` e quindi la risposta della nostra applicazione agli eventi esterni. Infine, `wParam` e `lParam` contengono dati ulteriori relativi allo specifico messaggio.

Per il resto, come già anticipato, la funzione non fa altro che selezionare il `case` specifico relativo al tipo di messaggio che vogliamo catturare, ignorando al contempo tutti quelli per i quali non abbiamo intenzione di rispondere. Infatti, nel caso `default` ci limitiamo a passare i parametri del messaggio alla funzione `DefWindowProc` che assicura che il messaggio venga comunque filtrato dall'applicazione anche se da essa ignorato.

Messaggi complessi

Quello che abbiamo visto finora è sicuramente indicativo della complessità insita nella gestione di un'applicazione grafica. Ma è intuitivo che si tratta solo di un contesto introduttivo. L'applicazione che abbiamo realizzato è sicuramente completa, nel senso che è possibile compilarla ed eseguirla, ma ovviamente non realizza nulla che non sia la banale visualizzazione di una finestra vuota con tanto di titolo, bottoni per il ridimensionamento e per la sua chiusura, ma null'altro di interessante.

Proviamo allora a vedere come migliorare il nostro programma consentendo, ad esempio, di catturare un clic del mouse sull'applicazione stessa.

I codici dei messaggi per gestire rispettivamente il clic del mouse sinistro e destro sono `WM_LBUTTONDOWN` e `WM_RBUTTONDOWN`. Per intercettare dunque tali eventi è sufficiente aggiungere nello switch che controlla i messaggi in arrivo il seguente codice:

```
...
case WM_LBUTTONDOWN:
    MessageBox(hwnd, "Clic sinistro", "Clic", MB_OK);
    break;
case WM_RBUTTONDOWN:
    MessageBox(hwnd, "Clic destro", "Clic", MB_OK);
    break;
...
```

Il codice è intuitivo. La novità riguarda la funzione `MessageBox` che utilizziamo per visualizzare un messaggio di testo con l'indicazione di quale bottone del mouse, destro o sinistro, abbiamo premuto.

La funzione in questione prende in input quattro parametri, il primo dei quali è l'handle della finestra che ha generato il messaggio. Il secondo rappresenta il contenuto del messaggio, mentre il terzo indica un titolo da visualizzare su tale finestra di dialogo. L'ultimo argomento, che nel nostro caso è `MB_OK`, è una costante intera che specifica il tipo di bottoni da visualizzare nel dialogo. Quella utilizzata per l'esempio mostra un semplice bottone di chiusura di tipo "OK" che, d'altra parte, è proprio il comportamento predefinito del dialogo.

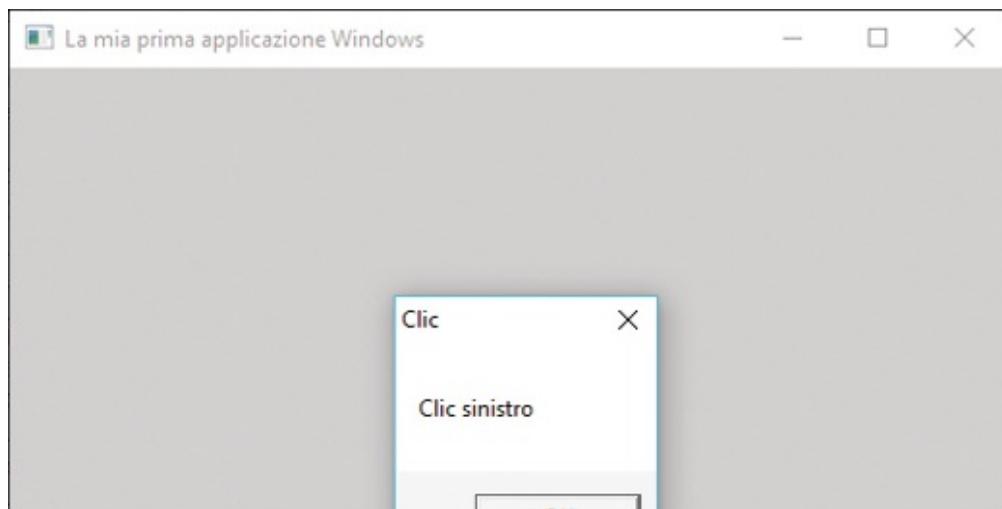


Figura 27.4 – La visualizzazione del messaggio di testo in seguito alla pressione del tasto sinistro del mouse.

Volendo sarebbe abbastanza semplice sfruttare anche le informazioni passate attraverso i parametri di tipo `WPARAM` e `LPARAM` passati alla `WindowProcedure`, che in questo caso contengono le coordinate x e y del punto in cui si è fatto clic con il mouse.

Le risorse indispensabili per un'applicazione

Continuiamo nel processo di perfezionamento della nostra applicazione per renderla maggiormente completa e professionale. Un programma che si rispetti deve avere indispensabilmente un insieme di elementi quali icone, voci di menu e dialoghi. Se le icone sono un semplice arricchimento per l'applicazione, rendendola maggiormente intuitiva e gradevole all'aspetto, elementi come menu e dialoghi sono indispensabili per l'operatività dell'applicazione stessa. Tali elementi prendono nel loro insieme, icone e immagini comprese, il nome di **risorse**.

L'inserimento di specifiche risorse all'interno di un'applicazione è un'operazione che può essere spesso svolta con l'ausilio di vari automatismi messi a disposizione dall'ambiente in uso. Ogni ambiente prevede dei propri strumenti. Nel caso in esame vi presento un approccio di "basso livello" relativo alla nostra applicazione Windows, per la quale costruiremo a mano gli elementi necessari a definire le risorse per l'applicazione. Ciò renderà più chiara l'anatomia dell'applicazione stessa.

Come prima operazione è necessario creare uno specifico file di testo avente estensione .rc. Chiamiamo per semplicità il file con il nome **resource.rc**. Tale file è anche noto con il nome di **resource script**. Per crearlo all'interno di Code::Blocks possiamo agire sulla voce di menu **File - New - File** e scegliere la voce **Empty File** (ovvero file vuoto). Selezioniamo il percorso della nostra applicazione e scriviamo il nome del file in questione. L'ambiente riconoscerà in automatico l'estensione e visualizzerà di conseguenza un nuovo ramo all'interno della scheda **Projects** del pannello **Management** con il nome **Resources** a contenere il file .rc.

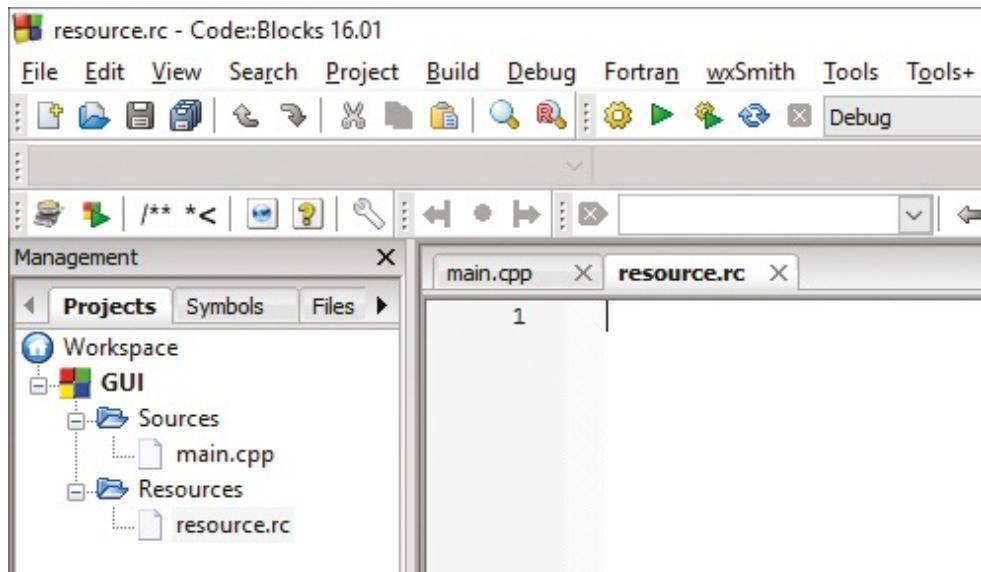


Figura 27.5 – Il pannello con la scheda Projects dopo l'inserimento del file necessario per gestire le risorse.

Il file .rc serve dunque per definire le risorse da utilizzarsi all'interno dell'applicazione.

Inseriamo un'icona

Supponiamo come prima cosa di voler dotare la nostra applicazione di una specifica icona.

Inseriremo quindi nel file in questione la seguente riga:

```
1 ICON "app.ico"
```

Il numero `1` è un identificativo univoco per la risorsa. La parola chiave `ICON` indica che la risorsa in oggetto è un'icona, mentre il nome di file `app.ico` rappresenta il file fisico contenente l'icona che vogliamo assegnare alla nostra applicazione. Tale file verrà ricercato nella cartella della nostra applicazione e, se provate a compilare senza averlo preventivamente inserito, vi vedrete rispondere dall'ambiente con un errore del tipo:

```
can't open icon file 'app.ico': No such file or directory
```

Fate attenzione al fatto che il file in questione deve essere di tipo **ico** e non sono ammessi file di tipo differente, come ad esempio gif oppure jpg. Provate a scrivere, in un qualsiasi motore di ricerca, qualcosa del tipo “icone gratis” e avrete solo l’imbarazzo della scelta per procurarvi un’icona per la vostra applicazione.

Una volta inserita la vostra icona con il nome `app.ico` all’interno della cartella dell’applicazione e compilato il tutto, scoprirete che all’apparenza nulla è successo. In realtà se andrete a visionare con **Esplora risorse** il contenuto della cartella in cui risiede l’eseguibile compilato (la sottocartella `bin\Debug` della vostra applicazione) scoprirete che al file eseguibile è ora associata l’icona in questione. Ciò è dovuto al fatto che Esplora risorse, per visualizzare graficamente la voce del file, cerca all’interno dell’eseguibile l’icona con l’identificativo più basso. Nel nostro caso, tale identificativo, peraltro unico, è appunto `1`.

Vediamo ora come assegnare l’icona all’applicazione in modo che essa venga visualizzata sulla parte sinistra della barra del titolo. Per farlo dobbiamo individuare le righe di codice seguenti presenti all’interno della funzione `WinMain`:

```
wincl.hIcon = LoadIcon (NULL, IDI_APPLICATION);  
wincl.hIconSm = LoadIcon (NULL, IDI_APPLICATION);
```

e modificarle come segue:

```
wincl.hIcon = LoadIcon (hThisInstance, MAKEINTRESOURCE(1));  
wincl.hIconSm = LoadIcon (hThisInstance, MAKEINTRESOURCE(1));
```

La modifica riguarda innanzitutto, come evidente, l’inserimento del valore `hThisInstance` come primo argomento della funzione `LoadIcon`. Ciò per associare l’icona all’istanza dell’applicazione corrente. Come secondo argomento andiamo a inserire l’identificativo, con valore `1`, della nostra icona così come dichiarato nel file di risorsa. Tale identificativo deve passare attraverso il lavoro della macro `MAKEINTRESOURCE`. Questa provvede a convertire il valore intero utilizzato come identificativo della risorsa icona nel tipo compatibile con la funzione di gestione della risorsa stessa.

Un menu per l’applicazione

Una qualsiasi applicazione che voglia interagire con l’utente in maniera intuitiva deve di norma possedere un proprio **menu**. Anche tale elemento viene facilmente gestito all’interno del file di

risorse. Supponiamo di voler dotare la nostra applicazione di un menu formato da due voci principali, **File** e **Aiuto**, che rappresentano una dotazione standard per ogni programma. Assegneremo a ognuna delle due voci principali una serie di sottovoci. Il codice potrebbe essere il seguente:

```
100 MENU
BEGIN
    POPUP "File"
    BEGIN
        MENUITEM "Nuovo", 101
        MENUITEM "Apri", 102
        MENUITEM "Salva", 103
        MENUITEM SEPARATOR
        MENUITEM "Esci", 104
    END
    POPUP "Aiuto"
    BEGIN
        MENUITEM "Informazioni su...", 105
    END
END
```

Con la prima riga indichiamo la volontà di gestire un menu al quale diamo il numero identificativo 100. I gruppi di elementi vengono racchiusi tramite blocchi delimitati dalle parole chiave `BEGIN` ed `END` che rimandano per certi aspetti alla sintassi del linguaggio Pascal. La parola `POPUP` identifica una voce principale, mentre `MENUITEM` una sottovoce. Ogni elemento deve essere dotato di un suo identificativo numerico. Nel mio esempio sono partito da 100 incrementando di una unità per ogni elemento del menu. Potrebbe tuttavia essere una scelta saggia quella di inserire i numeri lasciando dei “vuoti” del tipo 100, 102, 104 oppure addirittura 100, 105, 110. Ciò per permettere, in caso di ulteriori aggiunte di voci di menu, da effettuarsi in un secondo tempo, l’inserimento delle nuove voci mantenendo comunque un certo ordine negli elementi.

A questo punto non ci resta che comunicare all’applicazione la nostra volontà di inserire il menu appena creato. Modifichiamo allora la linea di codice:

```
wincl.lpszMenuName = NULL;                                /* No menu */
```

in:

```
wincl.lpszMenuName = MAKEINTRESOURCE(100);
```

Il risultato è visibile nella Figura 27.6.

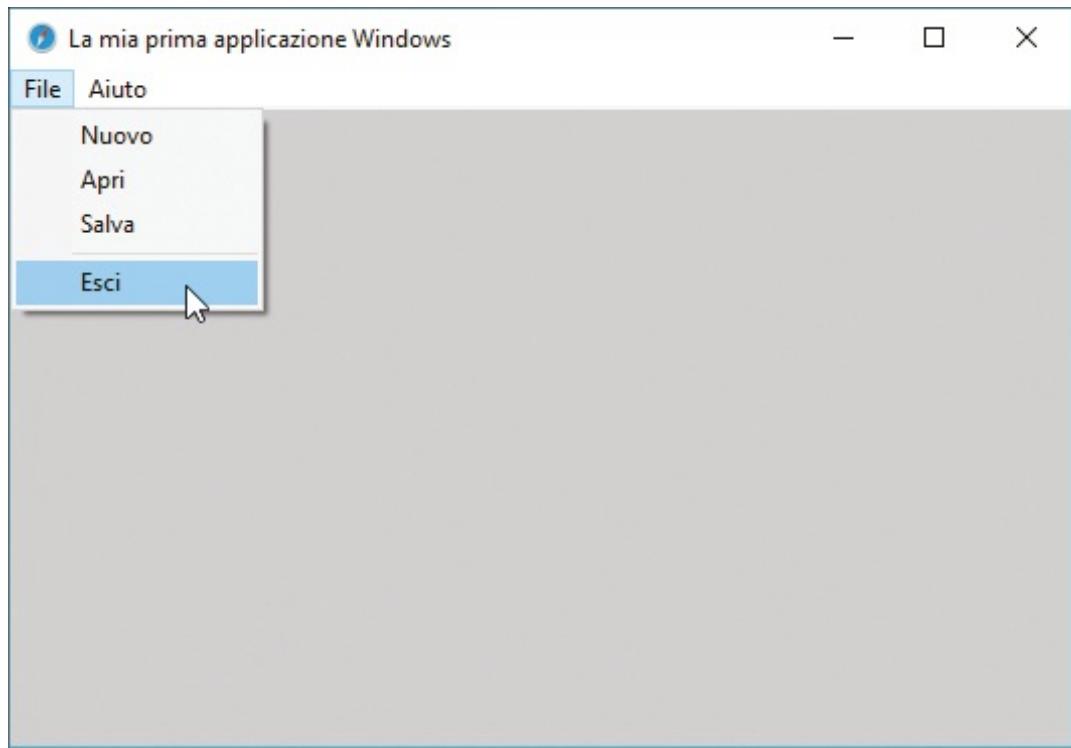


Figura 27.6 – L'applicazione in fase di realizzazione completa di menu.

Un codice robusto

Si può facilmente asserire che per ogni applicazione esistono due livelli distinti: un primo livello visibile all'utente e un secondo a lui invisibile. Il primo livello, quello visibile, è dato dall'interfaccia dell'applicazione e da come questa reagisce alle richieste dell'utente stesso. Quando l'utente richiede un comando cliccando in qualche punto dell'applicazione, oppure digitando qualcosa sulla tastiera, vuole semplicemente che l'applicazione risponda in maniera coerente alle proprie aspettative. Come state scoprendo in questo nostro viaggio, fare in modo che ciò avvenga è sicuramente abbastanza complesso e tutto ciò riguarda proprio il secondo livello relativo al codice sorgente e quindi a noi programmati.

All'utente, ovviamente, non interessa sapere come determinate azioni vengano realizzate dall'applicazione ma semplicemente che ciò avvenga. Tuttavia, per noi sviluppatori questo secondo livello è di fondamentale importanza. Sebbene un codice scritto male possa essere comunque efficace producendo gli effetti desiderati, il problema riguarda direttamente, d'altra parte, innanzitutto l'efficienza, ovvero quante risorse si impiegano per ottenere un dato risultato. Tali risorse riguardano aspetti relativi, ad esempio, a un utilizzo accorto della memoria, così come ai tempi di esecuzione che devono in ogni caso essere ragionevoli.

Ma esiste un altro aspetto di capitale importanza che riguarda la manutenibilità e scalabilità del software. Con tali termini ci si riferisce a quanto sia costoso mettere le mani sul software per aggiungere a esso caratteristiche non previste in una prima fase di realizzazione, così come per correggere eventuali errori di programmazioni in tempi contenuti.

Queste considerazioni fanno da giusta premessa a una modifica che possiamo apportare alla nostra applicazione in merito alla gestione delle risorse. Tale modifica riguarda il solo secondo livello, quello del codice, e non cambia di una virgola l'aspetto esterno e le funzionalità dell'applicazione, in coerenza con quanto detto a proposito dei due differenti livelli di ogni

applicazione.

Ciò che ci accingiamo a modificare riguarda gli identificatori numerici delle nostre risorse. Come visto, ogni risorsa ha assegnato un suo identificativo, brevemente chiamato ID, di tipo numerico. Ovviamente per noi umani è più facile gestire dei nomi piuttosto che dei numeri. Quello che faremo è di associare a ogni numero una costante con un nome che sia in qualche modo esplicativo della funzione che l'elemento in questione deve svolgere.

Per rendere più “pulita” l'intera operazione inseriamo, con le modalità già viste per il file di risorsa, un nuovo file che denominiamo **resource.h** che conterrà le dichiarazioni delle costanti numeriche. Dopo il suo inserimento nel progetto, Code::Blocks visualizzerà un nuovo ramo di nome **Headers** all'interno della scheda **Projects** in relazione al pannello **Management**. Vediamo allora come potrebbe essere valorizzato tale file.

```
#define IDI_APP_ICONA      1
#define IDM_MAINMENU        100
#define IDM_FILE NUOVO     101
#define IDM_FILE_APRI       102
#define IDM_FILE_SALVA     103
#define IDM_FILE_ESCI       104
#define IDM_AIUTO_INFO      105
```

Abbiamo semplicemente definito una serie di costanti numeriche. Fate attenzione alla scelta dei nomi. Il prefisso IDI sta per **ID**entificativo di **I**conca mentre IDM sta per **ID**entificativo di **M**enu. Gli identificativi sono poi costruiti aggiungendo un trattino basso seguito da un nome del tipo **FILE_NUOVO**, che serve a far identificare con semplicità nella lettura l'elemento in esame.

Con il tempo e l'esperienza forse scoprirete che è preferibile in questi casi l'uso della lingua inglese. A titolo di esempio potremmo pensare di chiamare la costante **IDM_FILE_NUOVO** con il nome **IDM_FILE_NEW** oppure **IDM_FILE_APRI** con **IDM_FILE_OPEN**. L'inglese è per vari aspetti maggiormente adatto per tali scopi grazie alla sua natura essenziale. In questo contesto lascio i riferimenti in italiano per semplicità e immediatezza di spiegazione.

Dobbiamo ora modificare il file **resource.rc** per rendere visibile al suo interno l'elenco di voci appena creato. Per farlo usiamo la direttiva:

```
#include "resource.h"
```

che di fatto collega i due file. Sempre nel file **resource.rc** dobbiamo sostituire gli ID numerici con le costanti appena realizzate ottenendo il seguente contenuto:

```
#include "resource.h"
IDI_APP_ICONA  ICON    "app.ico"
IDM_MAINMENU MENU
BEGIN
    POPUP "File"
    BEGIN
        MENUITEM "Nuovo", IDM_FILE_NUOVO
        MENUITEM "Apri", IDM_FILE_APRI
        MENUITEM "Salva", IDM_FILE_SALVA
        MENUITEM SEPARATOR
        MENUITEM "Esci", IDM_FILE_ESCI
```

```
END
POPUP "Aiuto"
BEGIN
    MENUITEM "Informazioni su...", IDM_AIUTO_INFO
END
END
```

Ricompilando ed eseguendo l'applicazione, come già anticipato, non vedremo modifiche apparenti. Per completare il tutto, rendendo coerente l'operazione di **refactoring**, ovvero la ristrutturazione e ottimizzazione interna del codice senza modificare le funzionalità esterne, non ci resta che sostituire gli ID numerici utilizzati nel file di codice principale con le costanti. Per farlo dobbiamo innanzitutto collegare il file di risorse tramite la seguente direttiva:

```
#include "resource.h"
```

Successivamente non ci resta che modificare le righe di codice seguenti:

```
wincl.hIcon = LoadIcon (hThisInstance, MAKEINTRESOURCE(IDI_APP_ICONA));
wincl.hIconSm = LoadIcon (hThisInstance, MAKEINTRESOURCE(IDI_APP_ICONA));
wincl.lpszMenuName = MAKEINTRESOURCE(IDM_MAINMENU);
```

Una nuova compilazione e relativa esecuzione confermerà che nulla è cambiato all'esterno dell'applicazione, mentre sappiamo bene che il suo interno è ora sicuramente più facilmente modificabile.

Il C, Arduino e l'Internet delle cose

È l'arte suprema dell'insegnante, risvegliare la gioia della creatività e della conoscenza.

Albert Einstein

In alcune persone è presente una spinta inarrestabile che costringe a modificare gli oggetti più diversi per ottenere da essi comportamenti differenti da quelli originariamente previsti. Alcuni definiscono questo sentimento come **spirito hacker** e ultimamente questi personaggi vengono definiti **makers**, nel senso, evidente, di coloro che “fanno”. Anche se l'hacking si può esprimere in contesti estremamente diversificati, di norma, gli interessi degli hacker sono prettamente di tipo tecnologico. Prima dell'avvento dell'informatica di massa, verificatosi intorno agli inizi degli anni 80 con la diffusione dei primi home computer, l'hacking era soprattutto elettronica. L'introduzione sul mercato di questi piccoli computer, quali i mitici Commodore VIC 20, Commodore 64, Sinclair ZX Spectrum o Sinclair QL, solo per citare alcuni dei tantissimi prodotti commercializzati in quegli anni, consentì ai tanti affamati di tecnologia e futuro di esprimere la loro creatività attraverso l'uso e la produzione di software. A quel punto, in un certo senso, le strade degli “hacker elettronici” e quelle degli “hacker informatici” iniziarono a dividersi. Fare software diventava sempre più impegnativo, così come realizzare circuiti stampati e assemblare componenti elettronici era sempre più materia che richiedeva una curva di apprendimento elevata. Per anni le cose sono proseguite in questo modo creando nuove professioni, in particolar modo nel contesto informatico, in cui molti “smanettoni” per passione hanno poi trovato occupazioni lavorative come programmatore o sistemisti. Di fondo, comunque, c’è da sottolineare che spessissimo la vera passione informatica rimane interesse generale per la tecnologia in senso lato, tanto da arrivare ad abbracciare, sicuramente, tanto la scienza quanto la fantascienza. Negli ultimi anni una nuova rivoluzione tecnologica sta riunendo finalmente le anime degli elettronici e degli informatici intorno a un nuovo Sacro Graal, le schede per **microcontroller**.

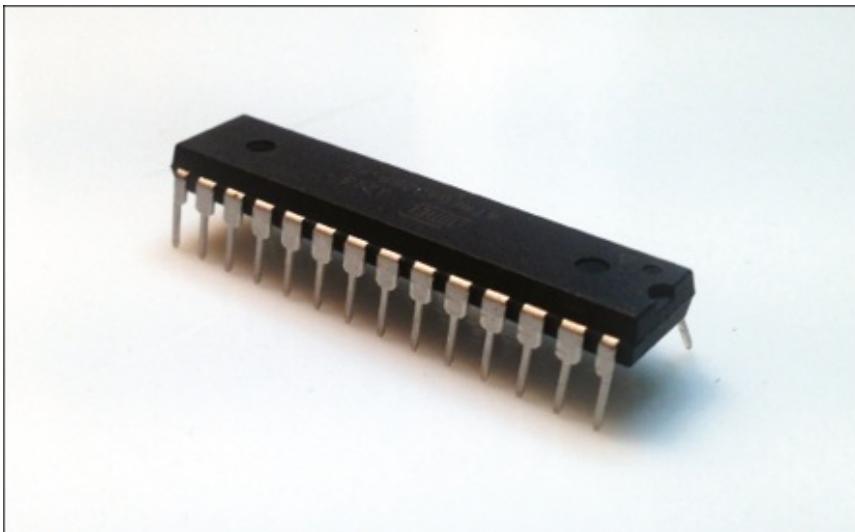


Figura 28.1 – Microcontroller.

Un microcontroller non è altro che un piccolo computer in un singolo chip. In un unico circuito integrato sono così presenti il microprocessore, la memoria e dispositivi di input-output. Apposite schede ospitano quindi il microcontroller e lo connettono al mondo esterno attraverso varie tipologie di porte. Le porte presenti su tali schede consentono di collegare tutta una serie di **sensori** per misurare caratteristiche fisiche dell'ambiente circostante come, a puro titolo di esempio, temperatura o luminosità. Il microcontroller può quindi essere programmato per eseguire specifiche operazioni al modificarsi di queste proprietà fisiche. Il salto di qualità che si realizza con queste schede è la possibilità di tradurre queste situazioni in modifiche fisiche vere e proprie, che coinvolgono il nostro mondo reale. Ad esempio, è possibile far scattare dei relè per accendere delle luci o per azionare motori o qualsiasi altro dispositivo elettronico collegato. Tali meccanismi prendono il nome di **attuatori**. Tutto ciò rientra in quello che viene definito come **physical computing**. Quando poi questi dispositivi riescono a interagire e a comunicare tra loro, si inizia a parlare di **Internet delle cose**. Nasce dunque una nuova rete, nota in lingua inglese con l'acronimo di **IoT**, ovvero **Internet of Things**, in cui i vari dispositivi, sia fisici che virtuali, acquisiscono una sorta di consapevolezza del mondo reale comunicando informazioni tra di essi.

Arduino

Tra le varie schede a microcontroller oggi presenti sul mercato, ne esiste una che di sicuro ha realizzato la svolta decisiva verso una nuova unificazione di informatica ed elettronica: il suo nome, ormai famoso, è **Arduino** e orgogliosamente possiamo dire essere un prodotto italiano.

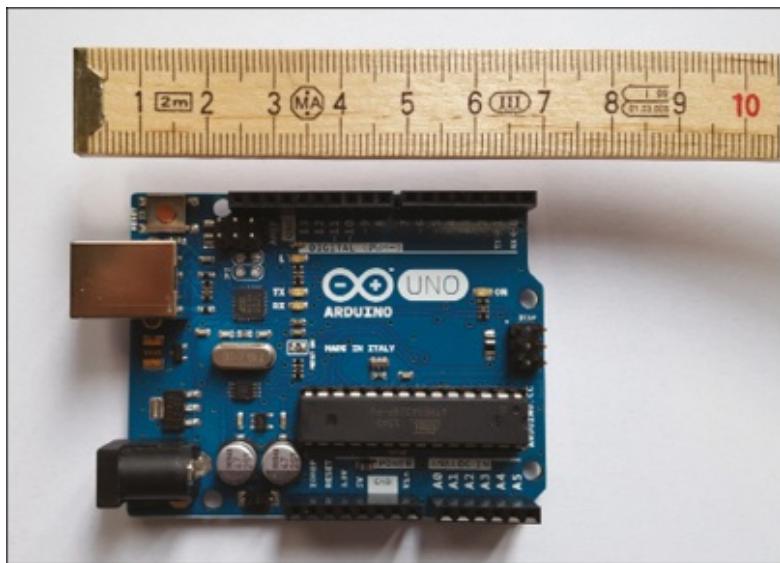


Figura 28.2 – La scheda Arduino UNO.

La scheda Arduino nasce a Ivrea, in Piemonte, con lo scopo di facilitare l'insegnamento della realizzazione di prototipi di nuovi oggetti anche a persone con scarse conoscenze di elettronica e di programmazione. La cosa forse più interessante di Arduino è la filosofia di utilizzo promossa dal suo principale progettista, Massimo Banzi. Infatti, ciò che si sollecita è lo sforzo creativo concreto nel realizzare nuovi oggetti del mondo reale con i quali poter interagire. Lo spirito creativo è talmente forte e presente nel contesto di Arduino tanto che Massimo Banzi, nella sua guida ufficiale alla scheda in questione, scrive: “Prima di cominciare a costruire qualcosa da zero, vi consiglio di cominciare ad accumulare rifiuti”. Il riferimento è contestualizzato rispetto a vecchi giocattoli elettronici e ai tanti dispositivi non più propriamente funzionanti che di norma gettiamo nella spazzatura. Il riutilizzo creativo di tale componentistica può quindi dar vita a nuovi e interessanti oggetti. A volte, addirittura, le nuove creazioni possono nascere da prove quasi casuali di riorganizzazione delle varie parti, in un approccio noto appunto come **tinkering**, che letteralmente significa “armeggiare”.

Il sito di riferimento della scheda Arduino è www.arduino.cc. Esistono svariate versioni della scheda ma tutte, compreso la variante nota come **Genuino**, sono caratterizzate dall'essere inquadrate nel contesto **open hardware** e **open source**, ovvero, tutte le specifiche sia hardware che software sono liberamente riutilizzabili da chiunque in quanto vengono distribuiti i sorgenti software e gli schemi hardware con tutti i dettagli sulla componentistica elettronica utilizzata.

Le schede Arduino e Genuino, come indicato anche sul sito del progetto, condividono la stessa componentistica. Tuttavia, esse vengono distribuite, per motivazioni

NOTA

commerciali e di copyright, con due marchi diversi: Genuino all'estero degli USA e Arduino per i soli Stati Uniti.

Hardware e corrente elettrica

Per poter realizzare degli esempi concreti e sufficientemente specifici dobbiamo, per forza di cose, riferirci a un determinato modello di scheda. Prendiamo allora come riferimento il modello entry level **Arduino Uno**, considerando, comunque, che i ragionamenti fatti sono quasi immediatamente trasferibili anche nei contesti d'uso di modelli differenti. Ciò detto, vediamo la scheda in maggior dettaglio dal punto di vista hardware, facendo riferimento alla Figura 28.3.

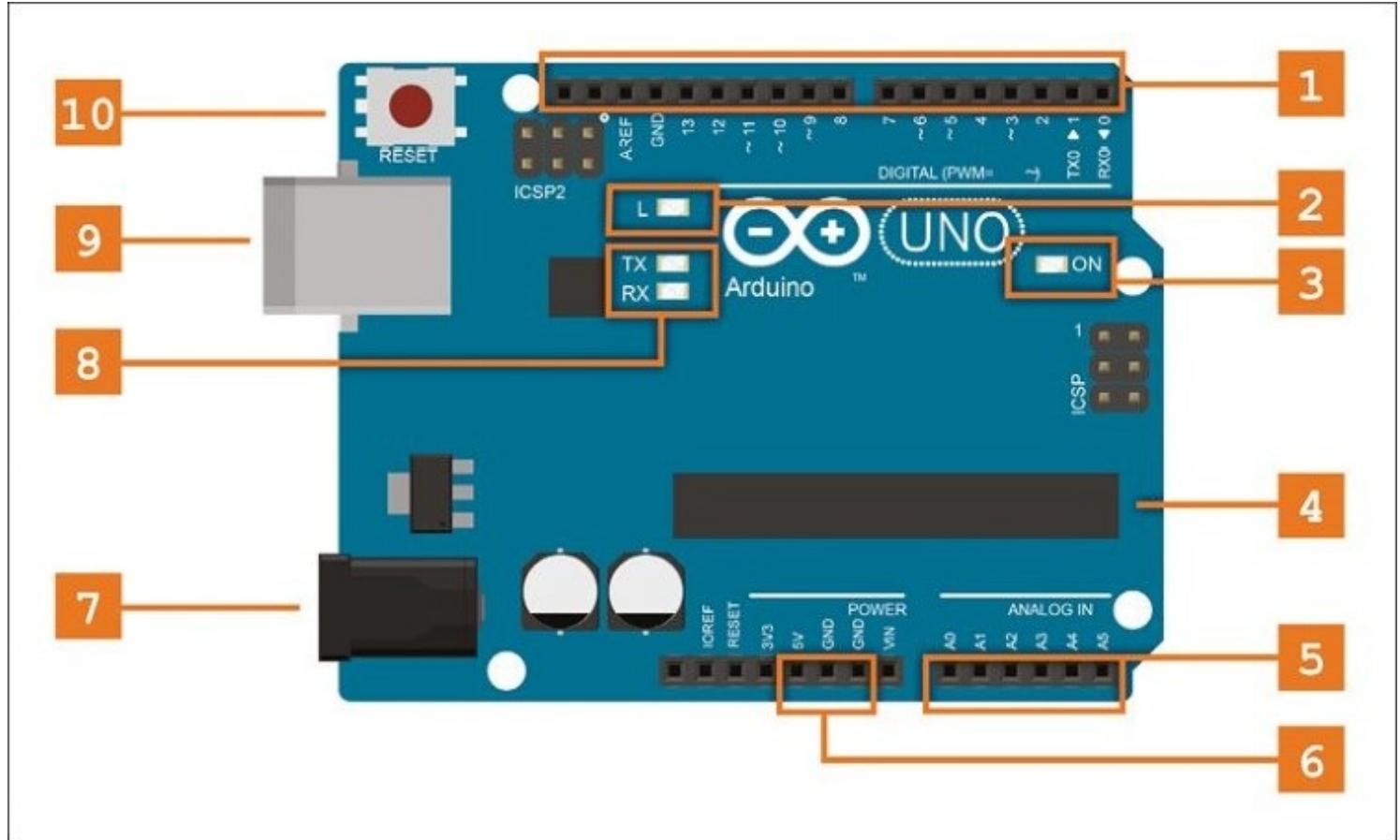


Figura 28.3 – La scheda Arduino Uno.

La prima cosa che vi invito a osservare è il microcontroller ATmega (4), ovviamente il cuore della nostra scheda.

La scheda deve necessariamente essere alimentata e, per farlo, è possibile utilizzare il connettore di alimentazione (7) che può funzionare con una tensione dai 7 ai 12 volt.

In realtà, in generale, è possibile alimentare la scheda attraverso il collegamento della porta USB (9). Tale connettore serve, di norma, per la programmazione della scheda stessa, il che, come vedremo più avanti, causa l'accensione dei LED TX e RX (8).

In ogni caso, quando Arduino è alimentato si accende uno specifico LED (3).

Sempre a proposito di LED, va segnalato il fatto che su Arduino ne esiste uno molto particolare (2) che rappresenta l'unico attuatore presente sulla scheda stessa. Come già detto, un attuatore è un dispositivo che viene pilotato da una scheda come Arduino. Di norma gli attuatori sono meccanismi più complessi che vengono collegati esternamente alla scheda. Tuttavia, questo semplice LED, che corrisponde al pin numero 13, è utile in fase di debugging. Con esso

svilupperemo più avanti un classico esempio di accensione intermittente per mettere insieme i vari concetti esposti. Il termine pin, in elettronica, si riferisce a quello che in italiano è anche chiamato **piedino** e sta a indicare un terminale metallico di un certo dispositivo elettronico. Sulla scheda che stiamo analizzando esistono diversi pin con i quali Arduino comunica con il mondo esterno. Ad esempio, possiamo individuare quattordici pin digitali (1), numerati da 0 a 13, che possono essere usati tanto per l'input quanto per l'output. Abbiamo poi cinque pin analogici (5) utilizzabili come input.

Notiamo ancora una sezione di pin dedicata alla tensione in uscita (6) da utilizzarsi per alimentare circuiti esterni.

Infine, possiamo facilmente individuare un tasto di reset (10) che consente il riavvio della scheda.

La programmazione software di Arduino

Il microcontroller presente sulla scheda Arduino è di norma un Atmel. Nel caso specifico di Arduino UNO è un ATmega. Ovviamente, il microcontroller ha un suo linguaggio macchina che, tuttavia, viene bypassato dall'uso di appositi linguaggi di più alto livello. Dal sito di riferimento di Arduino, è possibile scaricare uno spartano ma pratico IDE (Integrated Development Environment) disponibile sia per Windows (Figura 28.4) che per OS X e Linux.

Con tale strumento è possibile scrivere il codice in maniera semplice e intuitiva e successivamente effettuare l'upload di tali istruzioni direttamente sulla scheda attraverso un semplice cavo USB. L'IDE di Arduino, realizzato in linguaggio Java, è multiplattforma. Esso deriva da un altro IDE, realizzato per il linguaggio di programmazione **processing**, il cui sito di riferimento è processing.org. Infatti, dal progetto processing è nato un ulteriore contesto di sviluppo noto come **wiring**, che ha aggiunto al progetto originario la possibilità di utilizzare i linguaggi C e C++. In definitiva, l'IDE di Arduino non fa altro che fornire il supporto per la **libreria wiring** consentendo il controllo della scheda tramite i linguaggi, per noi familiari, C e C++.

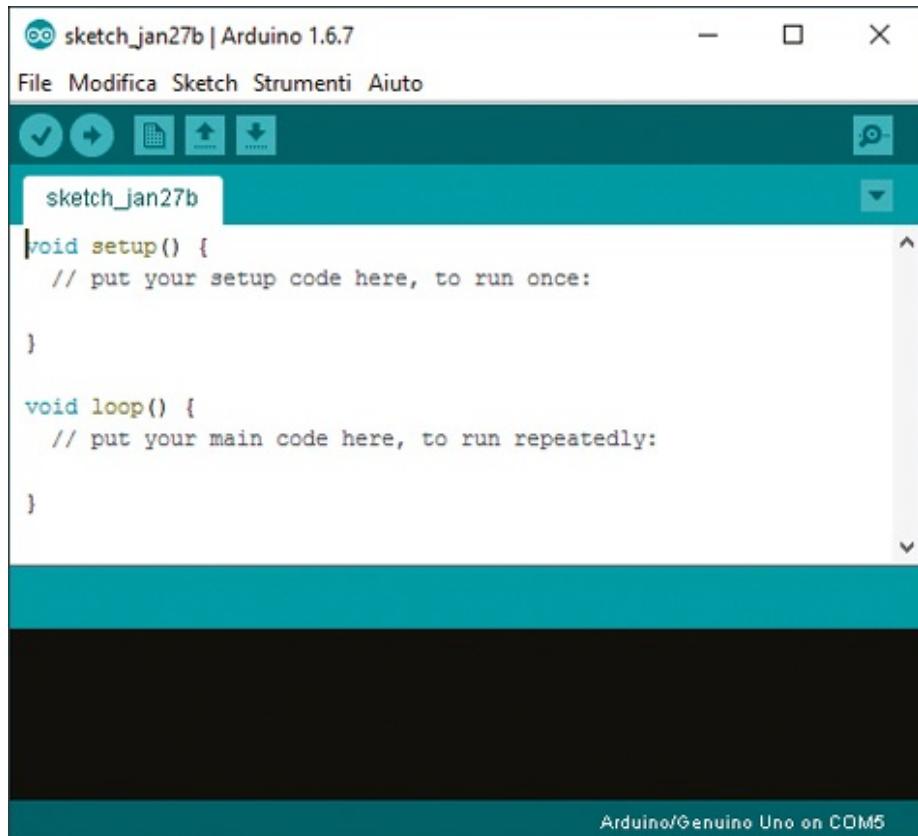


Figura 28.4 – L'IDE di Arduino per Windows.

Una volta scaricato e installato il software Arduino, al lancio dell'IDE verrà mostrato una videata simile a quella mostrata in Figura 28.4. L'IDE consente di gestire differenti modelli di scheda. Per selezionare quello in uso sul proprio sistema è sufficiente fare riferimento alla voce di menu **Strumenti – Scheda**, come mostrato nella Figura 28.5.

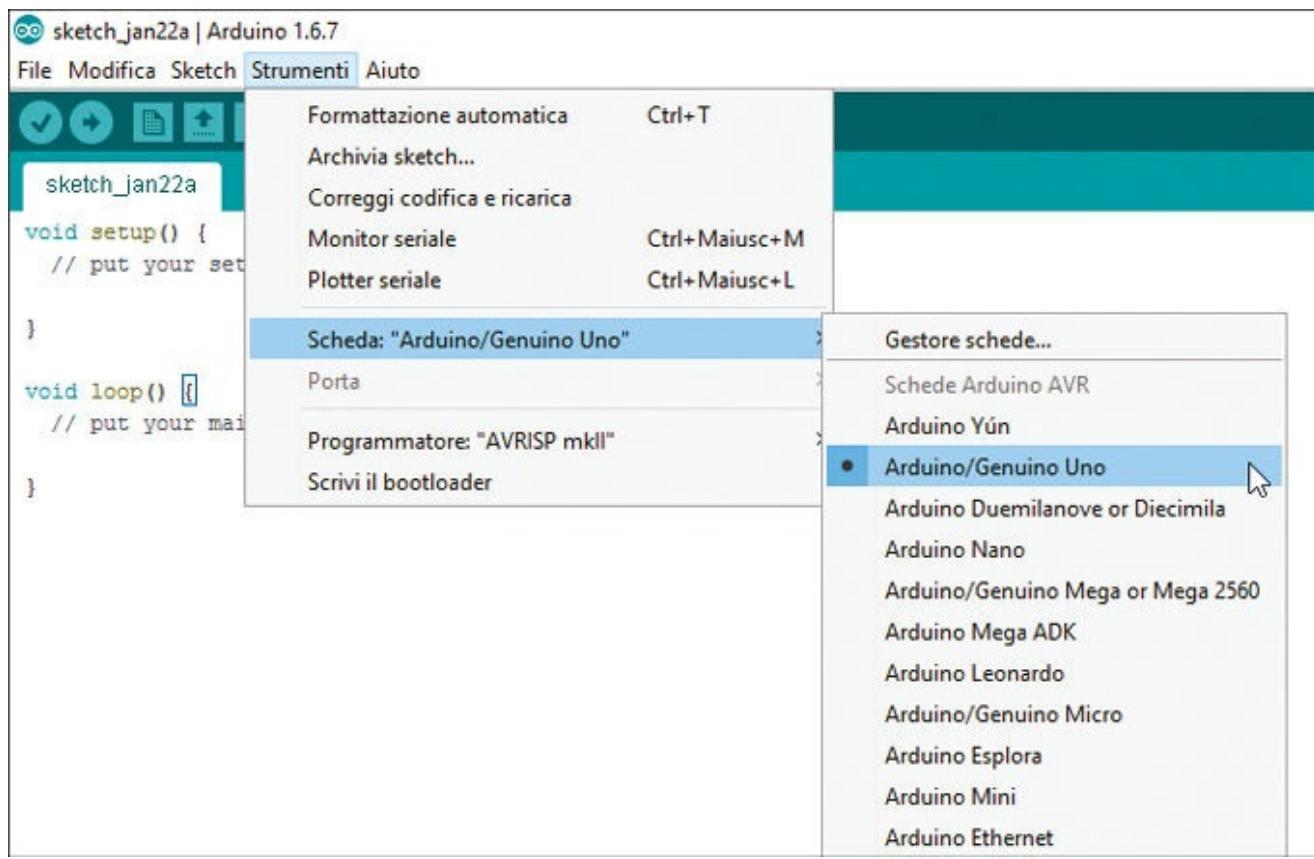


Figura 28.5 – La selezione del tipo di scheda nell’IDE di Arduino.

I programmi scritti all’interno dell’IDE prendono il nome di **sketch**. La struttura di default dello sketch vuoto è la seguente:

```
void setup() {  
    // put your setup code here, to run once:  
}  
void loop() {  
    // put your main code here, to run repeatedly:  
}
```

Nel codice proposto si riconoscono immediatamente due funzioni predefinite, che devono essere sempre presenti: la funzione `setup` e la funzione `loop`. Lo sketch di esempio, proposto dall’IDE di Arduino, contiene anche un commento, in stile C++ e in lingua inglese, per le due funzioni. Si intuisce immediatamente che la funzione `setup` deve contenere le istruzioni che devono essere eseguite una sola volta all’avvio della scheda. Si tratta dunque di una funzione di inizializzazione dell’ambiente. Una volta eseguito il contenuto della funzione `setup`, Arduino passerà a eseguire le istruzioni presenti nella funzione `loop`. Tale funzione è una sorta di `while(TRUE)`, ovvero un ciclo infinito. Infatti, Arduino prevede che le istruzioni presenti all’interno della scheda vengano eseguite indefinitamente dal momento in cui si alimenta la scheda fino al momento in cui la scheda viene disalimentata. Ovviamente, al riavvio della scheda verrà eseguito l’ultimo sketch in essa salvato.

Un “salve, mondo” per Arduino

Anche Arduino non sfugge alla consuetudine del “Salve, mondo”, ovvero alla realizzazione di un semplice programma per la stampa delle classiche parole di saluto già viste nella presentazione del C e del C++. Tuttavia, data la particolarità del dispositivo, la scheda microcontroller in questione lo fa a modo suo. Infatti, nel caso di Arduino, il primo esempio consiste in uno sketch che fa illuminare a intermittenza un LED che, per ulteriore semplificazione, è il LED che è presente sulla scheda stessa. Tale LED, come già anticipato, corrisponde al pin numero 13. Vediamo allora come procedere.

Per prima cosa colleghiamo la scheda Arduino a una porta USB del nostro PC, potendo constatare l'accensione del LED di alimentazione. Lanciamo dunque l'IDE di Arduino e accertiamoci che nella voce di menu **Strumenti - Porta** sia selezionata la specifica porta di comunicazione e che nella voce **Strumenti - Scheda** si faccia riferimento a “Arduino/Genuino Uno”. Inseriamo, quindi, il seguente codice:

```
/*
Accende e spegne ripetutamente il LED 13
*/
// la funzione setup viene eseguita una sola volta quando si alimenta la scheda
// oppure quando si preme il tasto reset sulla scheda
void setup()
{
    // imposta il pin digitale numero 13 come output
    pinMode(13, OUTPUT);
}
// ciclo infinito
void loop()
{
    digitalWrite(13, HIGH);      // accende il LED
    delay(3000);                // attende per 3 secondi
    digitalWrite(13, LOW);       // spegne il LED
    delay(3000);                // attende per 3 secondi
}
```

Credo sia di sicuro rassicurante una veloce occhiata al codice, in quanto in esso riconosciamo la consueta sintassi del C. Ciò è evidente sin dal commento iniziale, che rappresenta una breve descrizione dello scopo dello sketch. Subito dopo, in relazione al commento relativo alla funzione `setup`, riconosciamo il commento su singola linea tipico del C++. In tale funzione, che come sappiamo verrà eseguita una e una sola volta nel momento in cui alimentiamo la scheda oppure la riavviamo con il tasto reset presente sulla scheda stessa, utilizziamo l'istruzione `pinMode()`. Tale istruzione prende in input due parametri: il primo è il pin sul quale agisce l'istruzione e il secondo, nel nostro caso con valore `OUTPUT`, indica che tale pin deve essere gestito appunto per l'output. L'ovvia alternativa per questo secondo parametro potrebbe essere il valore `INPUT`, stabilendo, quindi, che il pin in questione dovrebbe essere gestito per la lettura di valori digitali.

Passiamo, allora, all'analisi del contenuto della funzione `loop`. In essa notiamo innanzitutto l'istruzione:

```
digitalWrite(13, HIGH);
```

Tale funzione imposta per il pin 13, indicato come primo argomento della funzione, il valore `HIGH`, passato come secondo argomento. Trattandosi di un pin digitale, che tra le altre cose abbiamo impostato essere di output con l'istruzione `pinMode(13, OUTPUT);`, l'effetto dell'istruzione `digitalWrite` sarà quello di portare il valore di 5 volt sul pin indicato, causando l'accensione del LED sulla scheda che è appunto collegato a tale pin.

L'istruzione successiva, `delay(3000);`, come facilmente intuibile, interrompe l'esecuzione dello sketch per il tempo indicato nel suo argomento, ovvero per 3000 millisecondi, corrispondenti a 3 secondi.

A questo punto, il funzionamento dello sketch dovrebbe essere chiaro. Infatti, la successiva istruzione `digitalWrite(13, LOW);` non farà altro che impostare a `LOW`, quindi azzerare, la tensione sul LED 13. Infine, in chiusura della funzione `loop`, troviamo nuovamente la funzione `delay(3000);` che fermerà nuovamente per 3 secondi lo sketch. Allo scadere di tale tempo, l'esecuzione riprenderà dalla prima istruzione della funzione `loop`, iterando indefinitamente le azioni appena discusse.

Il risultato finale dello sketch sarà, così come ci aspettiamo, l'accensione e lo spegnimento ripetuto del LED presente sulla scheda, a intervalli di 3 secondi. Per avere conferma pratica di tale comportamento non ci resta che compilare lo sketch in questione e trasferirlo sulla nostra scheda. Tuttavia, prima di procedere conviene salvare il nostro sorgente in un'apposita cartella sul nostro PC. Per farlo usiamo, banalmente, la voce di menu **File - Salva con nome**. Il risultato di tale comando sarà quello di creare una nuova cartella con il nome che specificheremo, all'interno della quale sarà presente un file, avente lo stesso nome appena indicato, con estensione `.ino` che conterrà il sorgente dello sketch. A questo punto possiamo verificare la correttezza delle istruzioni inserite nello sketch utilizzando il bottone **Verifica** presente nella barra degli strumenti dell'IDE di Arduino, così come mostrato nella Figura 28.6.



Figura 28.6 – Il bottone Verifica per il controllo e la compilazione dello sketch.

Successivamente, se la verifica è andata a buon fine, possiamo finalmente trasferire il nostro compilato sulla scheda. Per farlo possiamo agire sul bottone **Carica**, così come mostrato nella Figura 28.7.



Figura 28.7 – Il bottone Carica per l'upload dello sketch nella scheda Arduino.

Costanti e variabili

Una volta compreso il contesto d'uso generale della scheda Arduino, può essere utile fare qualche piccola considerazione relativa allo stile consigliato da utilizzarsi nella gestione della programmazione per l'ambiente in questione, verificando al contempo le strettissime correlazioni con il linguaggio C così come lo abbiamo visto nei capitoli precedenti.

Una questione preliminare, di sicuro interesse, riguarda la gestione dei pin e la loro numerazione. Come abbiamo visto, nelle istruzioni `pinMode` e `digitalWrite` dell'esempio precedente abbiamo usato il numero del pin, nel contesto in esame il 13, per identificare lo specifico pin. Ebbene, può essere utile dichiarare tale valore come costante, indicando un nome consistente rispetto al suo significato, all'esterno delle funzioni `setup` e `loop` immediatamente dopo il commento iniziale, come mostrato di seguito.

```
/*
Accende e spegne ripetutamente il LED 13
*/
// Il LED è collegato sul pin 13
const int LED = 13;
void setup()
{
    // imposta il pin digitale come output
    pinMode(LED, OUTPUT);
}
void loop()
{
    digitalWrite(LED, HIGH);    // accende il LED
    delay(3000);                // attende per 3 secondi
    digitalWrite(LED, LOW);     // spegne il LED
    delay(3000);                // attende per 3 secondi
}
```

Ovviamente, avremmo potuto dichiarare la costante anche con la direttiva `#define` scrivendo:

```
#define LED 13
```

Tuttavia è interessante notare come gli autori di Arduino sconsiglino questa pratica. In rete si trovano lunghissime discussioni in merito all'opportunità della scelta tra le due modalità. Vi lascio quindi la tematica come approfondimento.

In alcuni casi potrebbe essere necessario utilizzare, al posto di una costante, una o più variabili. Le regole di visibilità di tali variabili sono le stesse già viste nei capitoli precedenti. Una variabile dichiarata all'esterno delle funzioni assume visibilità **globale**, mentre sarà **locale** nel momento in cui viene dichiarata all'interno di una qualsiasi funzione. Ovviamente, a dimostrazione di quanto appena detto, il seguente codice genererà un errore del tipo: "exit status 1 'LED' was not declared in this scope".

```
/*
Visibilità variabili
*/
void setup()
```

```
{  
    int LED = 13;  
    pinMode(LED, OUTPUT);  
}  
void loop()  
{  
    digitalWrite(LED, HIGH); //attenzione: qui si genera un errore  
}
```

Infatti, la variabile `LED`, dichiarata nella funzione `setup`, sarà locale a tale pezzo di codice e di conseguenza invisibile alla funzione `loop`.

Comunicazione seriale

La scheda Arduino deve, per forza di cose, comunicare con il mondo esterno ricevendo e inviando segnali elettrici. Uno dei modi possibili per realizzare tale scambio di dati è rappresentato dalla comunicazione seriale. A tale scopo è disponibile l'oggetto **Serial**, che consente di far comunicare la scheda Arduino attraverso i pin digitali 0 e 1, rispettivamente per la ricezione (RX) e la trasmissione (TX). È intuitivo, e quantomeno ovvio, che se usiamo i pin 0 e 1 per la comunicazione seriale non potremo usarli al contempo come input o output digitale. Attraverso l'oggetto `Serial` è inoltre possibile sfruttare come canale di comunicazione la connessione USB tra la scheda e il nostro PC. A tal fine, l'IDE di Arduino contiene uno specifico strumento, noto come **serial monitor**, che consente appunto di far comunicare agevolmente il nostro PC con la scheda. Per lanciare tale strumento è sufficiente cliccare sull'apposita icona, presente in alto a destra nell'IDE, così come mostrato nella Figura 28.8.



Figura 28.8 – Il bottone che consente l'apertura del serial monitor.

Nella Figura 28.9, invece, è mostrata la finestra del serial monitor. Ovviamemente, nel caso in cui la scheda non fosse collegata al PC attraverso una porta USB verrebbe restituito un messaggio di errore.

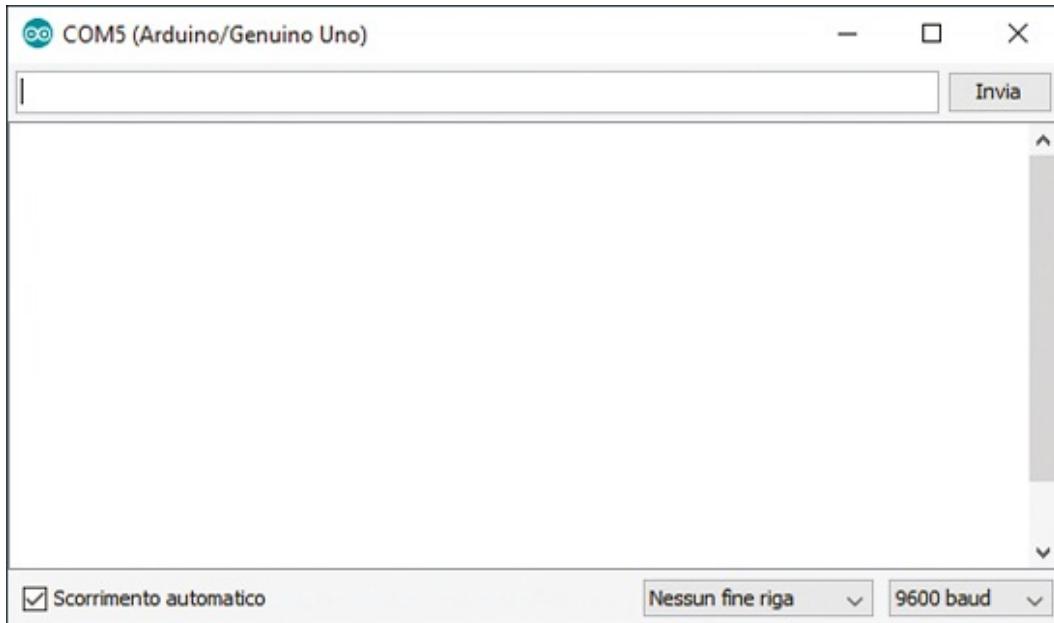


Figura 28.9 – L'interfaccia del serial monitor.

Per verificare nella pratica le funzionalità di collegamento seriale, scriviamo uno sketch che consenta di accendere e spegnere il LED presente sulla scheda attraverso un comando inviato

tramite il nostro PC con il serial monitor.

La prima operazione da realizzare è quella di impostare la velocità di collegamento. Per farlo scriveremo, nella funzione `setup`, la seguente istruzione:

```
Serial.begin(9600);
```

avendo indicato, come velocità, 9600 **bit al secondo** (bps), sfruttando il metodo `begin` di un oggetto di nome `serial`.

NOTA

Nel caso di Arduino si possono considerare i bit al secondo e i **baud** come sinonimi. Ciò è dovuto al fatto che nelle trasmissioni seriali con due soli livelli di segnale (binari), i bit al secondo corrispondono al numero di simboli trasmessi in un secondo (quantità nota appunto con il termine baud).

Successivamente, può essere utile visualizzare nel serial monitor una stringa che indichi all'utente come operare. Utilizzando il metodo `println` dell'oggetto `serial`, possiamo scrivere, ad esempio:

```
Serial.println("Accensione e spegnimento LED: 1 per accendere, 0 per spegnere")
```

dove `println` non è altro che una `printf` con l'aggiunta di un ritorno a capo. Segnaliamo, dunque, che l'accensione del LED avverrà con la digitazione del simbolo 1, mentre con il simbolo 0 spegneremo il nostro LED.

Dopo aver compreso le specifiche previste per il nostro sketch, possiamo analizzare il codice completo in modo da comprendere i singoli dettagli.

```
/*
Comunicazione seriale con Arduino
*/
const int LED = 13;
void setup()
{
    pinMode(LED, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Accensione e spegnimento LED: 1 per accendere, 0 per spegnere")
}
void loop()
{
    if (Serial.available())
    {
        char ch = Serial.read();
        if (ch == '0')
        {
            Serial.println("LED spento!");
            digitalWrite(LED, LOW); // spegne il LED
        }
        else if (ch == '1')
        {
            Serial.println("LED acceso!");
            digitalWrite(LED, HIGH); // accende il LED
        }
    }
}
```

```

        }
    else
    {
        Serial.println("ATTENZIONE: comando non valido!");
    }
}

```

La funzione `setup` dovrebbe essere quindi chiara. Impostiamo come prima cosa con `pinMode` il LED 13 come `output` e successivamente richiamiamo i metodi `begin` e `println` dell'oggetto `serial` così come appena descritto.

Passiamo dunque ad analizzare il cuore dello sketch, organizzato nella funzione `loop`. Come prima cosa verifichiamo, attraverso il metodo `available` dell'oggetto `serial`, se abbiamo ricevuto dei caratteri scrivendo:

```

if (Serial.available())
{
    //
}

```

Infatti, `available` restituisce il numero di byte, e quindi di caratteri, già ricevuti sulla seriale e presenti in uno specifico buffer di dimensione 64 byte. All'interno del `if`, quindi nel caso in cui abbiamo ricevuto almeno un carattere, leggiamo con `serial.read` il primo byte presente nel buffer e lo associamo alla variabile di tipo carattere che chiamiamo `ch`. Il codice successivo dovrebbe essere del tutto intuitivo. Verifichiamo se il carattere è uguale a 0 oppure a 1 e ci comportiamo di conseguenza, accendendo e spegnendo il LED così come già visto nell'esempio precedente. Infine, nel ramo `else` segnaliamo l'eventuale inserimento di un carattere non valido, ovvero diverso da 0 oppure da 1. Per provare lo sketch non resta che uploadare il codice sulla scheda, aprire il serial monitor e provare a inserire i simboli 0 e 1 nell'apposita casella di testo.

Affinché lo sketch funzioni correttamente è necessario impostare nel serial monitor, attraverso l'apposita lista a cascata, una velocità coerente con quanto fatto nello sketch stesso, nel nostro caso 9600 bps. Inoltre è importante prestare attenzione all'impostazione del **carattere di fine riga** (in inglese line ending), selezionabile anch'esso con una specifica lista a cascata. Quest'ultima impostazione indica al serial monitor come comportarsi quando si conferma un dato da inviare, inserendolo nell'apposita casella di testo, premendo Invio sulla tastiera o il bottone **Invia** nel serial monitor. Nel nostro caso dovremo selezionare la voce “Nessun fine riga”. Altre opzioni consentono invece di accodare, a quanto inserito come input, un carattere di a capo automatico (New Line, NL), un carattere di ritorno carrello (Carriage Return, CR) oppure entrambi, così come mostrato nella Figura 28.10.

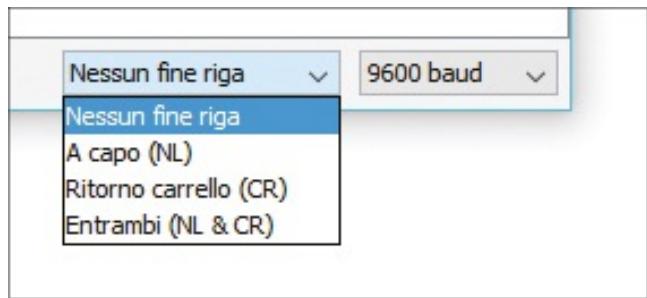


Figura 28.10 – La selezione delle impostazioni del carattere di fine riga e della velocità nel serial monitor.

Arduino e la prototipazione

Come già detto, Arduino è lo strumento ideale per sperimentare la creazione di nuovi oggetti consentendo la costruzione di prototipi in modo semplice e rapido. A tal fine, ovviamente, non è sufficiente il solo Arduino e il relativo IDE, in quanto è necessario che Arduino riceva input esterni attraverso una serie di sensori e che agisca sul mondo esterno attraverso degli attuatori. Per collegare questi elementi alla scheda in questione si utilizza, di norma, una speciale scheda forata, nota come **breadboard**, che consente la connessione degli elementi necessari al prototipo senza necessità di effettuare laboriose saldature dei vari componenti, consentendo quindi il sistematico reimpiego di questi ultimi nei vari prototipi. Una tipica breadboard è visibile nella Figura 28.11.

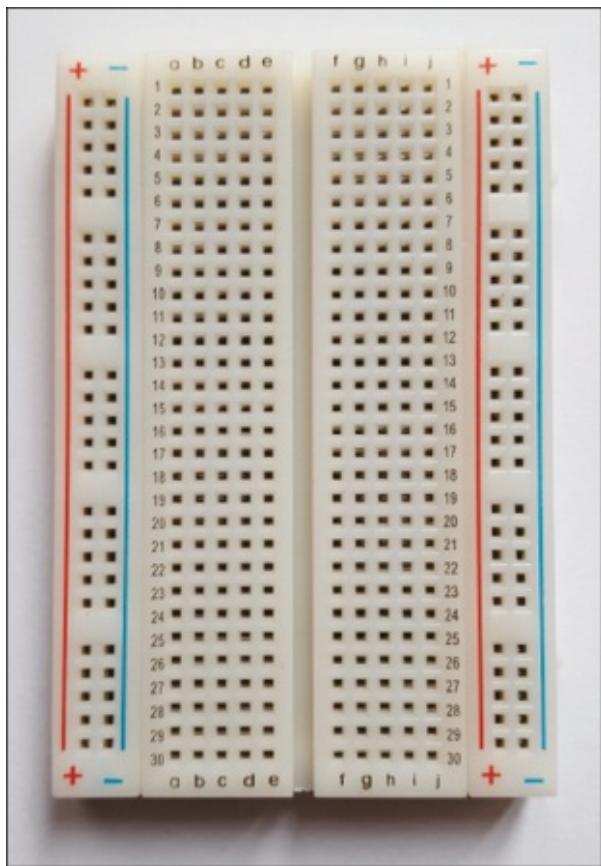


Figura 28.11 – Una tipica breadboard.

Una breadboard, nota anche con il termine di **basetta sperimentale**, è sostanzialmente divisa in due sezioni da una scanalatura. In ogni sezione sono presenti due righe, su alcuni modelli evidenziate con i colori rosso e blu, nelle quali collegare l'alimentazione elettrica che verrà fornita al circuito. Le righe in questione sono individuate dai simboli + e -, rispettivamente per il polo positivo e negativo dell'alimentazione.

Per collegare i vari componenti, la breadboard dispone di una serie di fori distanziati di 2,54 millimetri, ovvero un decimo di pollice. Il motivo di tale misura è dato dal fatto che essa rappresenta la distanza standard tra i pin dei circuiti integrati, che possono così essere collegati su tale basetta senza difficoltà.

Esistono differenti tipologie di breadboard che si distinguono principalmente per il numero di

fori presenti sulla basetta e per le modalità di collegamento dell'alimentazione. Il modello presentato nella Figura 28.11 è noto come half+. Altri modelli tipici sono full, full+, half, mini, tiny e BB-301.

Perpendicolarmente alle linee di alimentazioni vi sono una serie di ulteriori sequenze di fori, etichettate con dei numeri, che sono collegate elettricamente. Nella Figura 28.12 è presentato lo schema di collegamento elettrico di una tipica basetta in cui le linee disegnate sulla breadboard indicano le sottostanti linee elettriche.

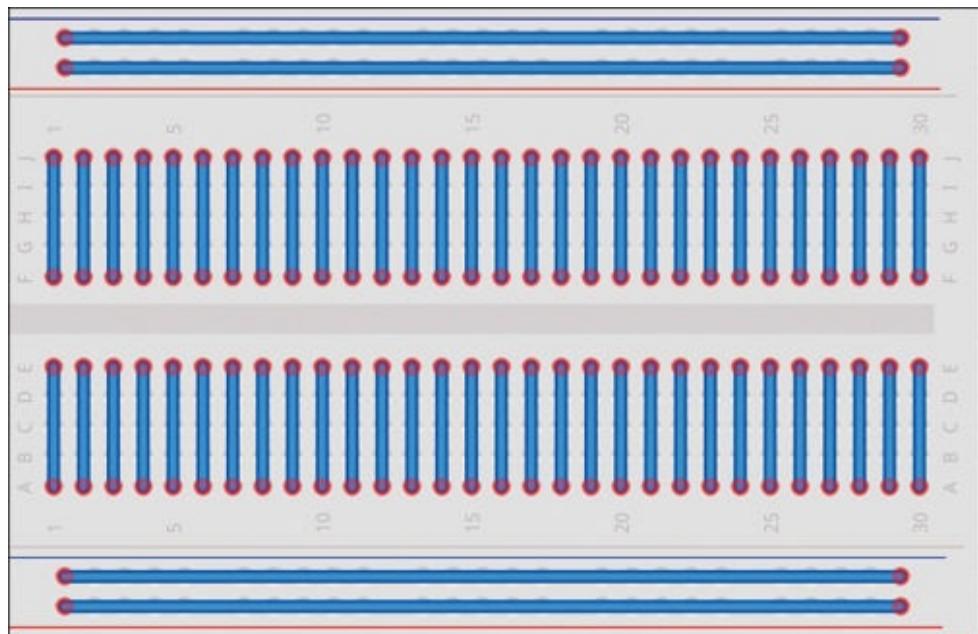


Figura 28.12 – I collegamenti elettrici della breadboard.

Qualche cenno sui principi della corrente elettrica

È palese che il contesto di questo capitolo e, più in generale, del libro stesso non può prevedere spiegazioni dettagliate relative alla corrente elettrica e ai suoi utilizzi nei circuiti elettronici. In ogni caso i più esperti tra voi troverebbero di scarso interesse la trattazione, in quanto sarebbero necessari approfondimenti non contenibili nei pochi paragrafi qui presentati. Sono inoltre disponibili interi volumi che trattano la disciplina elettronica nel livello di dettaglio richiesto per un uso professionale. Un ottimo manuale per approfondire la tematica in questione è “Elettronica per maker” di Paolo Aliverti, edito da LSWR.

Tuttavia, può qui essere importante, per chi si avvicina per le prime volte agli aspetti elettronici provenendo dal mondo della programmazione software, rispolverare qualche nozione di base sulla corrente elettrica e sui principali componenti dei circuiti elettrici.

La **corrente elettrica** può essere vista come un flusso di elettroni, cariche elettriche negative, che attraversa un conduttore. Sono diverse le proprietà di interesse in relazione alla costruzione di un circuito elettrico. La quantità di elettroni che transitano lungo una sezione del conduttore in una data unità di tempo è misurata in **ampere** e indicata come **intensità di corrente** (simbolo I). Affinché vi possa essere il passaggio di cariche è necessario la presenza di una forza che le spinga lungo il conduttore. Tale forza è realizzata tramite una differenza nel numero di cariche presenti ai due capi del conduttore. Le cariche in eccesso su di un lato cercheranno di raggiungere il lato opposto per compensare lo squilibrio. Il tutto è di norma realizzato tramite una batteria e la differenza di cariche è nota come **voltaggio** o **differenza di potenziale** (simbolo ΔV) e misurata in **volt** (simbolo V). Il lato con cariche negative in eccesso è noto come **polo negativo** mentre l'altro capo è ovviamente il **polo positivo**. Sebbene siano le cariche negative, ovvero gli elettroni, a spostarsi lungo il conduttore, di norma si assume convenzionalmente, per motivi storici, che il verso della corrente inizi dal polo positivo e si diriga verso il polo negativo.

Se il verso della corrente è costante nel tempo per l'intera durata di funzionamento del circuito, nel senso che ad esempio esso parte sempre dal polo positivo e si dirige verso quello negativo, si parla di **corrente continua**, mentre, in caso contrario, quando il flusso si inverte in maniera sistematica, in quanto si inverte la polarità dei poli del sistema di alimentazione, si parla di **corrente alternata**.

Ovviamente, la corrente che circola nel conduttore incontra una certa resistenza, che generalmente si manifesta attraverso la produzione di calore, e tale proprietà è nota appunto come **resistenza elettrica** (simbolo R) e si misura in **ohm**, il cui simbolo è Ω (omega). Di norma la resistenza del conduttore è trascurabile mentre è di notevole interesse, per il funzionamento del circuito, la resistenza interna dei componenti utilizzati, i quali causano ai loro capi una **caduta di tensione** elettrica.

Riepilogando, le caratteristiche fondamentali della corrente elettrica sono tre: la differenza di potenziale, simbolo V, l'intensità di corrente, simbolo I e la resistenza elettrica, simbolo R. Queste quantità sono inscindibilmente legate da una relazione, nota come **legge di Ohm**, che può essere scritta come segue:

$$V = R \times I$$

Ovvero, ai capi di un conduttore la tensione elettrica è uguale alla resistenza moltiplicata l'intensità. Infatti, esiste un ovvio rapporto di proporzionalità tra la tensione e la corrente, nel senso che all'aumentare dell'una deve, per forza di cose, aumentare anche l'altra e tale rapporto è condizionato appunto dalla resistenza dell'elemento che è attraversato dal flusso di corrente.

LED, resistenze e caduta di tensione

Uno degli elementi più utilizzati in un circuito, particolarmente nel contesto di semplici sperimentazioni, è il LED. Nei primi esempi di utilizzo di Arduino ci siamo limitati ad accendere e spegnere il LED presente sulla scheda stessa. Ovviamente, la suddetta operazione non comporta alcuna difficoltà particolare, mentre nel caso di utilizzo di un LED esterno abbiamo bisogno di pianificare con attenzione le operazioni da compiere. Il primo passo consiste nella scelta del LED. Esistono infatti vari tipi di LED, che si differenziano per il colore della luce generata e per il voltaggio a cui possono funzionare, noto come **tensione di soglia**. I vari colori sono infrarosso, rosso, arancione, giallo, verde, blu, viola, ultravioletto e bianco. Di seguito vi propongo uno schema che lega i principali colori alle tensioni di soglia.

LED	Tensione
infrarosso	1,3
rosso	1,8
giallo	1,9
verde	2,0
bianco	3,0
blu	3,5

Tali tensioni sono approssimative, nel senso che esiste un margine di funzionamento per ogni LED e che tali tensioni dipendono anche dal costruttore.

I LED hanno due specifici poli, uno positivo, noto come **anodo**, e uno negativo, chiamato **catodo**. È quindi indispensabile alimentarli nel circuito con la giusta polarità al fine di farli funzionare correttamente senza danneggiarli. Di norma il catodo è riconoscibile in quanto più corto del lato positivo. Nel caso in cui il componente fosse già stato tagliato, e quindi ci si trovasse di fronte a due connettori di uguale lunghezza, potremmo riconoscere il catodo guardando il LED in controluce e individuando l'elemento più grande. In ogni caso, anche se nella giusta polarità, una corrente eccessiva potrebbe bruciare il LED.

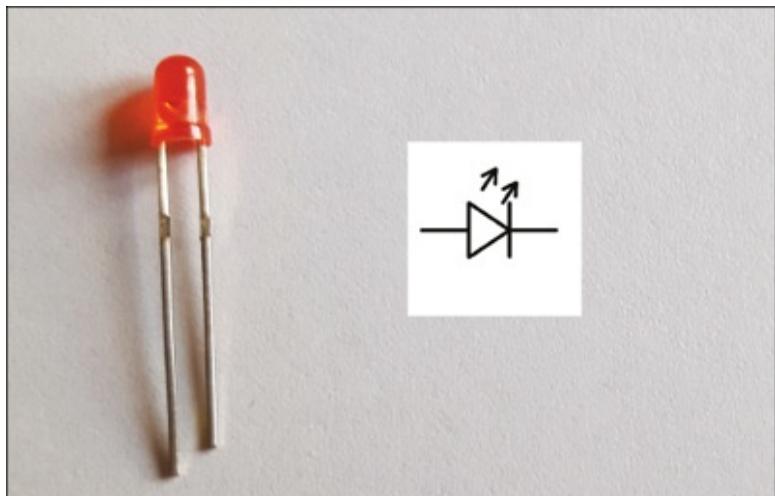


Figura 28.13 – Un tipico LED e il relativo simbolo nello schema elettrico.

È molto importante inserire il LED nella corretta polarità poichè esso si comporta proprio come un **diodo**. Tale componente è un altro tipico elemento dei circuiti elettrici, che consente il passaggio di corrente in una sola direzione: per cui, inserito in senso errato, si comporta come un interruttore chiuso, impedendo il passaggio di corrente. Il LED è quindi un diodo particolare che ha la proprietà di generare luce quando attraversato da una specifica quantità di corrente e quindi quando ai suoi capi è applicata una specifica differenza di potenziale. Non a caso, il termine LED è un acronimo che sta per Light Emitting Diode, ovvero diodo a emissione luminosa.

Onde evitare problemi è quindi necessario inserire, in serie al LED, un componente di tipo resistenza di uno specifico valore. Una resistenza, dunque, si oppone al passaggio della corrente salvaguardando il LED, ma deve avere un valore ben determinato al fine di consentire il passaggio della corrente sufficiente per far accendere il LED stesso. Le resistenze, come detto, vengono misurate in ohm. Per indicarne e riconoscerne il valore si utilizza uno schema di bande colorate stampate sul componente stesso. Di norma si utilizzano quattro strisce colorate.

Colore	banda 1 1° cifra	banda 2 2° cifra	banda 3 Moltiplicatore
Nero	0	0	1Ω
Marrone	1	1	10Ω
Rosso	2	2	100Ω
Arancio	3	3	$1 K\Omega$
Giallo	4	4	$10 K\Omega$
Verde	5	5	$100 K\Omega$
Blu	6	6	$1 M\Omega$
Viola	7	7	$10 M\Omega$
Grigio	8	8	
Bianco	9	9	

La quarta banda è generalmente di colore oro oppure argento e indica la tolleranza, ovvero l'affidabilità della resistenza rispetto a quanto dichiarato dal costruttore. Il senso è che le resistenze effettive possono variare leggermente rispetto ai valori nominali di fabbricazione. Il colore oro corrisponde a una tolleranza del $+/-5\%$, mentre il colore argento a una di $+/-10\%$.

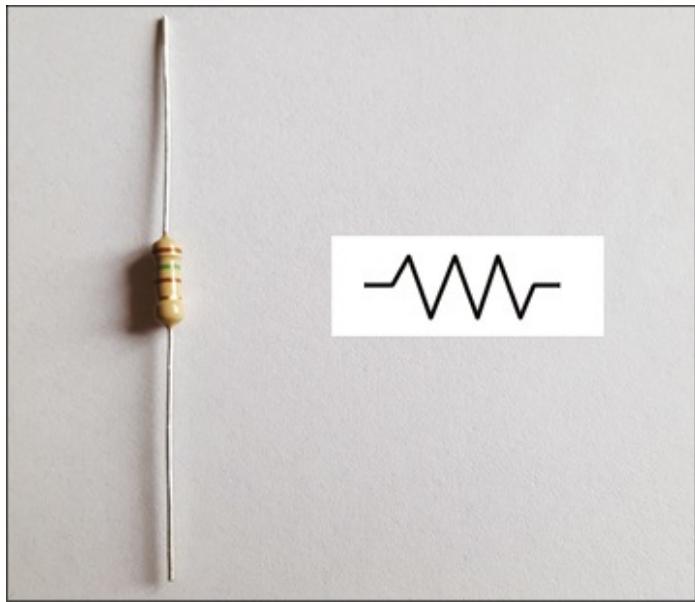


Figura 28.14 – Una resistenza e il relativo simbolo nello schema elettrico.

Per leggere il valore di una resistenza è sufficiente interpretare le bande colorate avendo cura di mettere sulla propria destra la banda con i valori di tolleranza (argento oppure oro). Le prime due bande rappresentano rispettivamente la prima e la seconda cifra del numero che indica il valore della resistenza, mentre il terzo colore viene usato come moltiplicatore. Infatti, spesso il valore in ohm della resistenza è molto alto e quindi si usano dei multipli come, ad esempio, K per mille e M (mega) per il milione. Vi propongo un semplice esempio. Supponiamo di avere una resistenza aventi i seguenti colori: marrone, nero, rosso, oro. Il marrone e il nero corrispondono a 10 come prime due cifre mentre il terzo colore, il rosso, corrisponde al moltiplicatore $100\ \Omega$. Quindi la nostra resistenza avrà un valore di $1.000\ \Omega$ corrispondenti a $1K\ \Omega$. Il colore oro indica una tolleranza del $\pm 5\%$.

Dobbiamo dunque calcolare la giusta resistenza da inserire nel circuito al fine di proteggere il LED. Per farlo possiamo sfruttare la legge di Ohm scritta nella forma:

$$R = V/I$$

ovvero, la resistenza è data dalla tensione diviso l'intensità di corrente. Supponiamo di prendere l'alimentazione dalla scheda Arduino che, come sappiamo, eroga 5 volt. Tuttavia, la tensione V da utilizzare nella formula non è questa tensione di uscita, ma dobbiamo impostare la differenza tra tale tensione di alimentazione e la caduta di tensione che vogliamo si verifichi ai capi del LED. Per fissare le idee utilizziamo nel nostro circuito un LED rosso e impostiamo 1,8 V come valore desiderato per la tensione ai capi del LED. La corrente I da inserire al denominatore della formula è la corrente che vogliamo passi all'interno del LED. Tale corrente, per il LED in questione, dovrebbe aggirarsi intorno ai 20 mA (ovvero 20 milliampere, cioè 0,02 A). Tale corrente massima varia da LED a LED ed è normalmente indicata sui cosiddetti **datasheet**, cioè delle schede con le indicazioni di tutti i parametri funzionali del nostro componente. La formula finale diventa dunque la seguente:

$$R = V_{\text{alim}} - V_{\text{led}} / I = 5 - 1,8 / 0,02 = 3,2 / 0,02 = 160$$

dove V_{alim} è la tensione prodotta dall'alimentatore e V_{led} quella richiesta per il LED. Abbiamo dunque bisogno di una resistenza di 160 ohm. Tuttavia, dobbiamo sapere che non sono disponibili in commercio resistenze di qualsiasi valore in ohm ma solo un numero ben definito e standardizzato. Nel caso specifico, le tipologie in commercio che più si avvicinano al nostro valore di interesse di 160 ohm sono quelle con valori di 150 e 180 ohm. Teoricamente, essendo tali valori abbastanza vicini a quello di nostro interesse, potremmo scegliere indifferentemente una delle due, considerando anche che esse prevedono comunque una certa tolleranza. Tuttavia, conviene di norma utilizzare una resistenza con un valore maggiore, piuttosto che minore, rispetto a quanto calcolato per avere un maggior margine di sicurezza rispetto alla salvaguardia del nostro LED. Nel caso in questione sceglieremo quindi una resistenza da 180 ohm avente, ovviamente, la sequenza di colori marrone, grigio e marrone per le prime tre bande e normalmente oro per la quarta.

Lo schema finale del nostro semplice circuito sarà dunque quello mostrato in Figura 28.15.

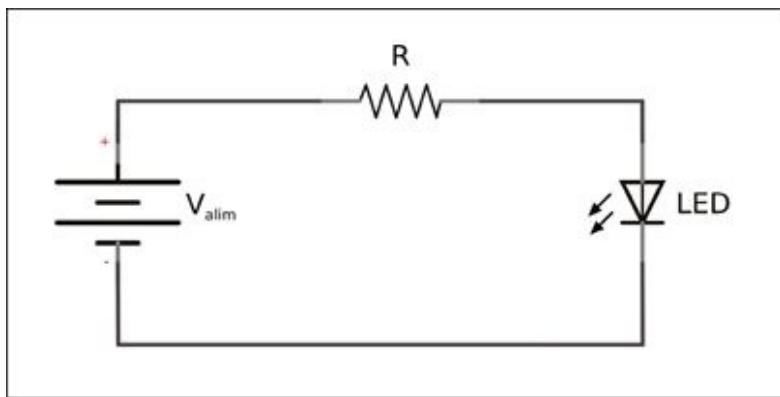


Figura 28.15 – Lo schema elettrico del circuito con un LED e una resistenza in serie.

Il motivo per cui per il calcolo della tensione sottraiamo quella ai capi del LED da quella di alimentazione è da ricercarsi in una proprietà fondamentale dei circuiti nota come **legge di Kirchhoff** delle tensioni. Secondo questa legge, la somma (algebrica) delle tensioni in una sezione chiusa di un circuito elettrico deve essere pari a zero. Nel nostro circuito abbiamo quindi che:

$$V_{\text{alim}} - V_{\text{led}} - V_{\text{resistenza}} = 0$$

da cui deriva, banalmente, che la tensione di cui abbiamo bisogno ai capi della resistenza, la cosiddetta caduta di tensione, deve essere uguale a:

$$V_{\text{resistenza}} = V_{\text{alim}} - V_{\text{led}}$$

così come avevamo impostato nel nostro calcolo.

Vediamo allora come realizzare praticamente il circuito. Per prima cosa fissiamo i componenti sulla breadboard, così come mostrato nella Figura 28.16, e successivamente alimentiamo il circuito collegando la breadboard alla scheda Arduino. Per un primo semplice test di accensione possiamo collegare il positivo sull'alimentazione di 5 volt e il negativo al pin GND nella sezione di alimentazione di uscita, indicata nella Figura 28.3 con il numero 6. Il tutto è visibile chiaramente sempre nella Figura 28.16.

Una volta verificati e corretti eventuali problemi, sarà possibile alimentare il circuito sulla breadboard collegando il positivo dell'alimentazione al pin digitale 13 di Arduino e il polo negativo al pin GND immediatamente vicino a quest'ultimo. In questo modo sarà possibile verificare l'accensione del LED sulla breadboard in concomitanza con l'accensione del LED sulla scheda Arduino utilizzando gli sketch proposti negli esempi precedenti, che facevano riferimento appunto al pin numero 13.

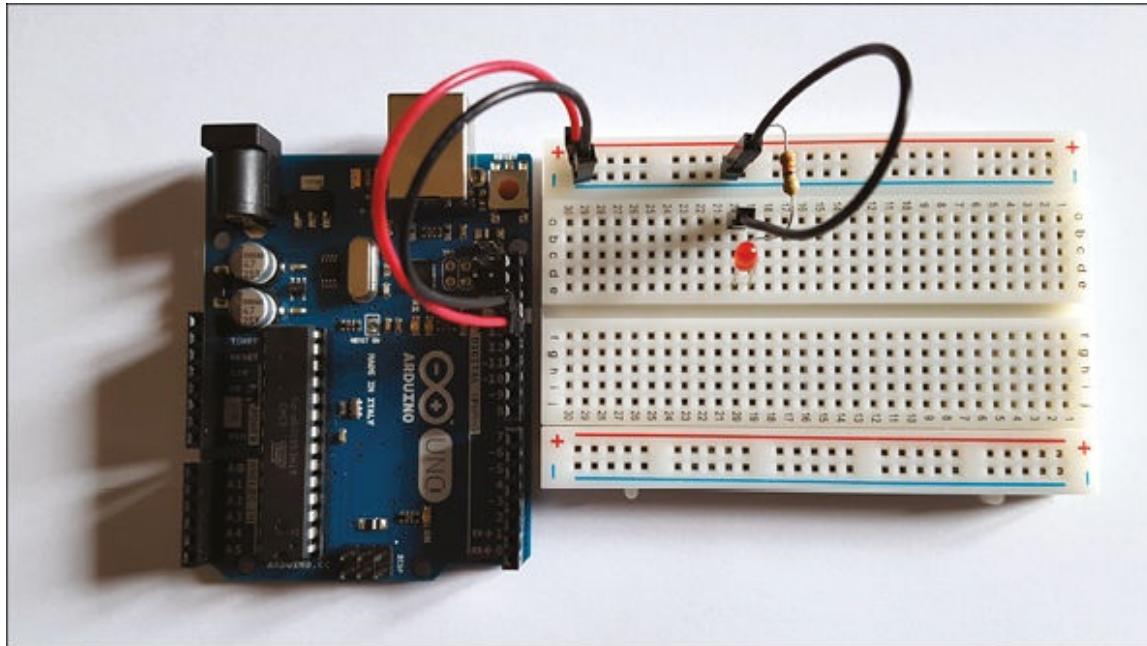


Figura 28.16 – Il circuito con un LED e una resistenza in serie implementato sulla breadboard.

Per sperimentare concretamente ciò che avviene all'interno del circuito può essere di fondamentale importanza dotarsi di uno strumento di misurazione come un **multimetro**, più noto semplicemente come **tester**. Si tratta di uno strumento che consente di misurare varie caratteristiche di un circuito quali tensioni, correnti e resistenze.



Figura 28.17 – Un multimetro digitale.

Esistono due tipi di tester: analogici e digitali. Indipendentemente dalla tipologia, ovviamente, è necessaria una certa pratica per effettuare misurazioni corrette sul circuito e una buona dose di attenzione quando si lavora con tensioni di rete come quelle casalinghe, che possono arrecare seri danni allo strumento ma soprattutto all'operatore. Tuttavia, nel caso dei nostri esperimenti le tensioni e le correnti sono estremamente basse da non comportare particolari problemi.

Fritzing: un aiuto per la progettazione elettronica

La costruzione di un prototipo è un'operazione che può richiedere un grosso impegno in termini di tempo e lavoro. Ovviamente, una volta realizzato il prototipo e constatata l'efficacia rispetto al proprio progetto iniziale, si vorrà realizzare l'oggetto finale. In questa ottica può risultare di grande aiuto un progetto software, noto con il nome di **Fritzing**, che è di ausilio sia nella fase di progettazione sia in quella di realizzazione del prodotto finale. Fritzing è un progetto open source che affonda le sue radici nello stesso brodo primordiale di Processing, Wiring e Arduino e che ha come scopo principale quello di aiutare nella realizzazione di prototipi elettronici che si basano su schede a microcontroller non solo i professionisti del settore ma anche hobbisti, designer e artisti in genere.

Il software è disponibile per tutte le principali piattaforme come Windows, Mac e Linux. Il sito di riferimento è fritzing.org.

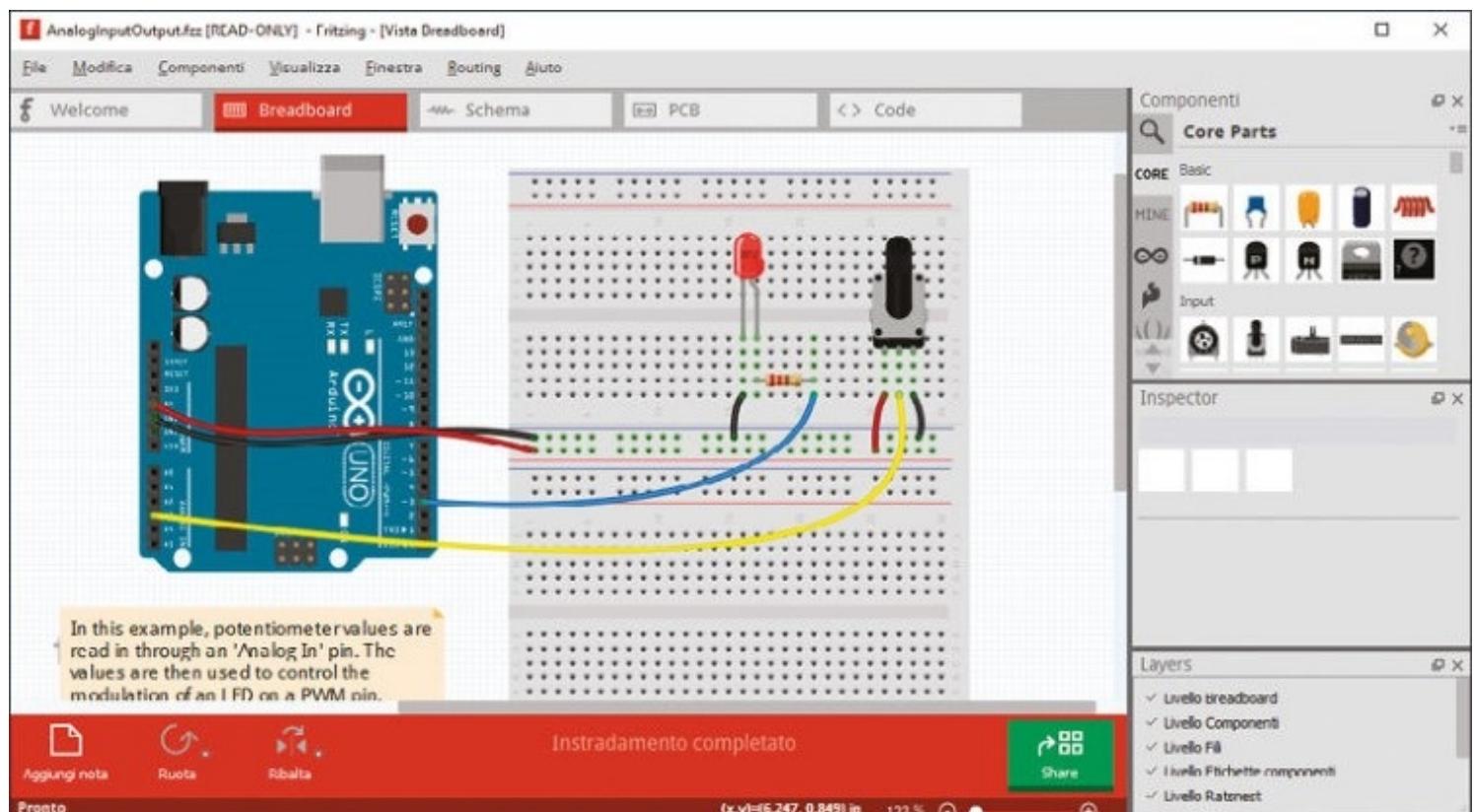


Figura 28.18 – L'IDE di Fritzing.

Come è possibile notare dalla Figura 28.18, il software consente di costruire in maniera virtuale l'intero prototipo disponendo sulla griglia di lavoro i vari componenti necessari, collegandoli nella maniera opportuna. Il software in esame ha diversi aspetti di grande interesse. Una sua prima utilità sta nella semplicità di sperimentazione dei tantissimi componenti elettronici disponibili, il che consente, anche ai meno esperti, di acquisire una certa familiarità con resistenze, condensatori e tutta la varietà di componentistica necessaria per realizzare un determinato progetto. Inoltre, si ha la possibilità di salvare su file i progetti realizzati per avere un riferimento futuro per la loro eventuale successiva implementazione. Ancora, essendo il software molto utilizzato, sono disponibili in rete innumerevoli file di progetti già realizzati con i

quali fare nuove esperienze. Infine è possibile passare dal virtuale al reale, nel senso che il progetto mette a disposizione il cosiddetto Fritzing Fab, che consente di farsi produrre, a un prezzo ragionevole, il circuito stampato, noto anche in inglese come PCB (Printed Circuit Board). Una volta inviato il proprio disegno di progetto, il team di Fritzing verifica anche che questo non presenti potenziali problemi produttivi, ovviamente non arrivando alla verifica della correttezza del circuito dal punto di vista del funzionamento elettronico.

Bluetooth + Arduino = IoT

Anche se l'equazione `Bluetooth + Arduino = IoT` non è la sola possibile, essa può rappresentare un modo, forse di colore, per indicare come il contesto del mondo Internet of Things si possa basare su schede a microntroller, come Arduino, che si collegano al mondo esterno attraverso la arcinota tecnologia **Bluetooth**. Tale tecnologia deve il suo nome a un re danese del decimo secolo, Harald Blåtand, noto in inglese come Harold Bluetooth, il quale restò famoso per la sua capacità di unire differenti fazioni in lotta tra di loro. Il senso della scelta del nome è quindi quello di voler sottolineare come questa tecnologia cerchi di appianare le differenze tra vari dispositivi consentendo a essi di comunicare tra loro. Il sito di riferimento è www.bluetooth.com.

Il Bluetooth è utilizzato in innumerevoli situazioni dove è richiesto il collegamento tra più dispositivi quali, solo per citarne alcuni, computer, stampanti, cellulari, auricolari e autovetture. Quello che ci proponiamo è di consentire ad Arduino di essere controllato in modalità Bluetooth attraverso un dispositivo tipo uno smartphone o un PC. In tal modo possiamo, ad esempio, comandare Arduino da remoto al fine di pilotare un pin digitale e quindi eseguire una specifica azione di nostro interesse.

Sebbene alcuni modelli di scheda Arduino abbiano integrata la circuiteria per la comunicazione Bluetooth, la versione Arduino Uno, che prendiamo come riferimento in quanto prodotto entry level, non possiede tale capacità di comunicazione e dobbiamo quindi collegare a essa uno specifico dispositivo che faccia da ponte tra Arduino e il mondo esterno. Tali dispositivi aggiuntivi, noti come **moduli**, sono realizzati da vari produttori e facilmente reperibili su Internet oppure in negozi di componentistica elettronica.

Tra i vari modelli disponibili concentriamo la nostra attenzione su quelli identificati dalle sigle HC-05 e HC-06. Entrambi sono basati sul chip Cambridge Silicon Radio BC417, funzionante a 2.4 GHz. Mentre la versione HC-05 può essere settata sia come Master sia come Slave, la versione HC-06 è utilizzabile solo in modalità Slave.

Fondamentalmente ciò significa che il modello HC-06 può essere ricercato dal nostro smartphone e quindi è possibile, successivamente, comunicare con esso in maniera bidirezionale, mentre il modello HC-05 consente esso stesso di scansionare l'ambiente circostante alla ricerca di dispositivi ai quali collegarsi.

I moduli in questione richiedono una tensione di 5 volt per l'alimentazione. È quindi possibile collegare l'uscita 5V e GND di Arduino rispettivamente ai pin VCC e GND del modulo Bluetooth. Dobbiamo poi collegare i pin di trasmissione e ricezione (RXD e TXD) del modulo alla scheda Arduino e possiamo riferirci ai pin digitali 0 e 1 di quest'ultima. I pin digitali 0 e 1 di Arduino sono in effetti etichettati rispettivamente anche come RX e TX. Dobbiamo allora collegare il TXD del modulo al pin 0 (RX) di Arduino e l'RXD del modulo al pin 1 (TX) sempre della scheda Arduino. Lo schema grafico è presente nella Figura 28.19.

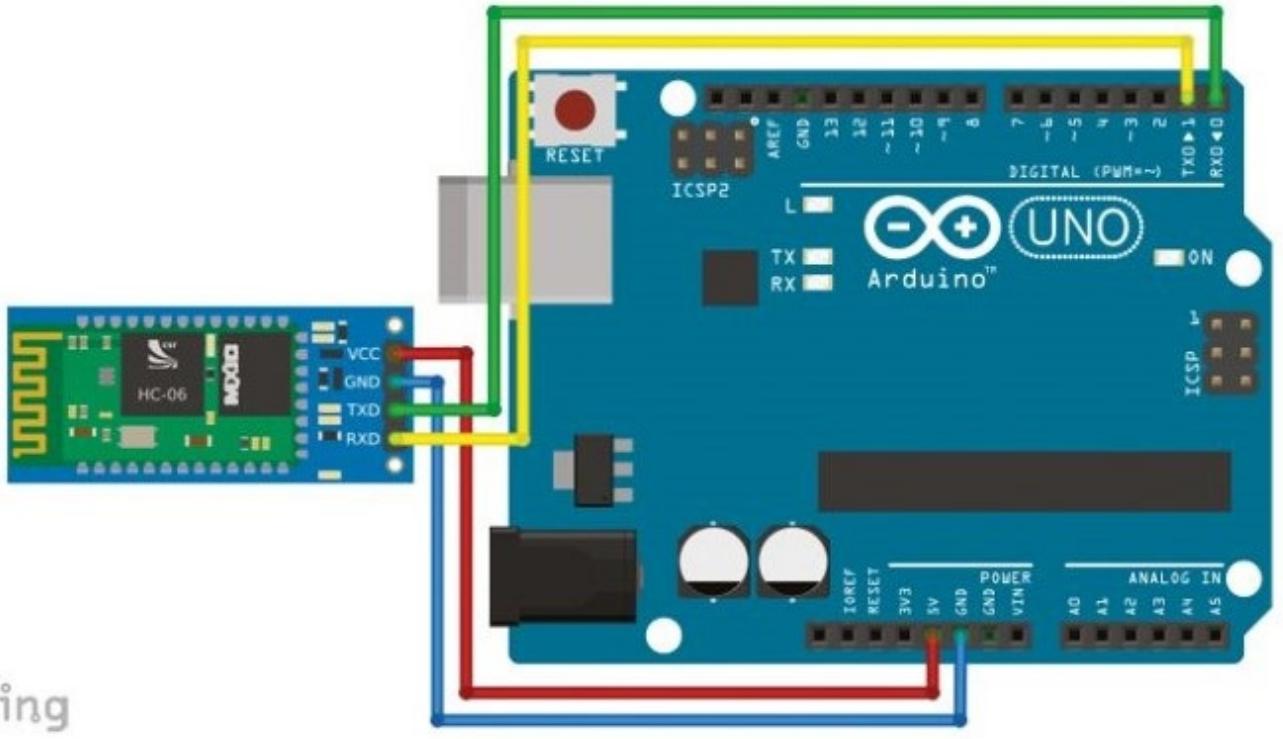


Figura 28.19 – Il collegamento tra Arduino e il modulo Bluetooth.

Il modo più semplice per effettuare i collegamenti in oggetto è ovviamente quello di collocare il modulo Bluetooth sulla breadboard, essendo tale modulo compatibile a livello di distanza tra i pin con la nostra basetta.

A questo punto, per poter interagire con Arduino, dovremo collegarci al modulo Bluetooth appena installato. Per farlo possiamo sfruttare un'app open source per Android chiamata **BlueTerm**, che consente di comunicare in modo seriale con qualsiasi dispositivo con connettività Bluetooth che accetti appunto una connessione seriale. È ovviamente il caso del nostro modulo HC-06 per Arduino.

Una volta scaricata dal Google Play Store, installata e lanciata l'applicazione in oggetto, potremo connetterci al nostro dispositivo che dovrebbe essere visualizzato come qualcosa del tipo HC-06 sulla console di BlueTerm. Una volta cliccato sul nome del dispositivo verrà richiesto il PIN per l'associazione, che di norma è 1234. Ad associazione avvenuta, il LED presente sul modulo cesserà di lampeggiare e rimarrà acceso. BlueTerm ci comunicherà invece l'avvenuta associazione mostrando una schermata vuota nella quale potremo inviare i nostri comandi. A tal fine, per rendere maggiormente interessante l'esperimento potremo fare riferimento allo sketch utilizzato per la connessione con il serial monitor nel quale inviavamo il carattere 0 per spegnere il LED 13 e il carattere 1 per accenderlo. Per affinare le nostre abilità pratiche può essere a questo punto importante collegare sul pin 13, così come già fatto in precedenza, un LED esterno protetto dalla nostra resistenza. Lo schema finale di montaggio potrebbe essere quello mostrato in Figura 28.20.

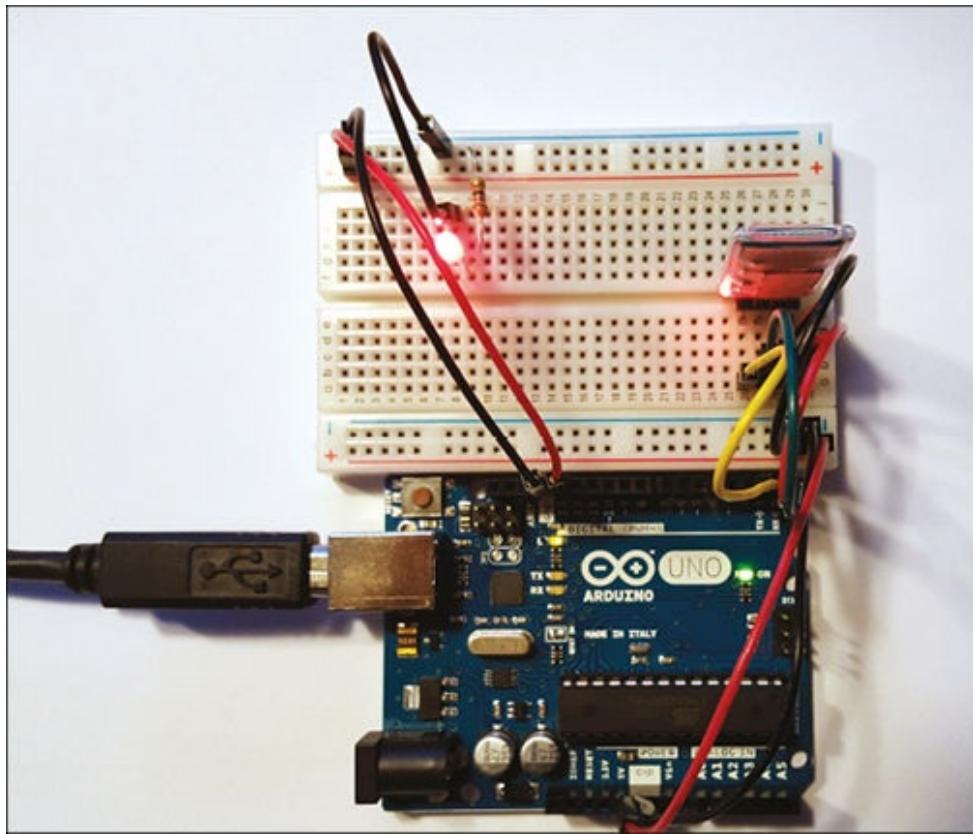


Figura 28.20 – Il collegamento tra Arduino, il modulo Bluetooth e un LED sul pin 13.

Finalmente, sarà sufficiente digitare 0 oppure 1 nel terminale di BlueTerm per accendere e spegnere il nostro LED, come visibile nella Figura 28.21. In buona sostanza abbiamo sostituito l'invio dei comandi nel serial monitor con un invio effettuato da smartphone.

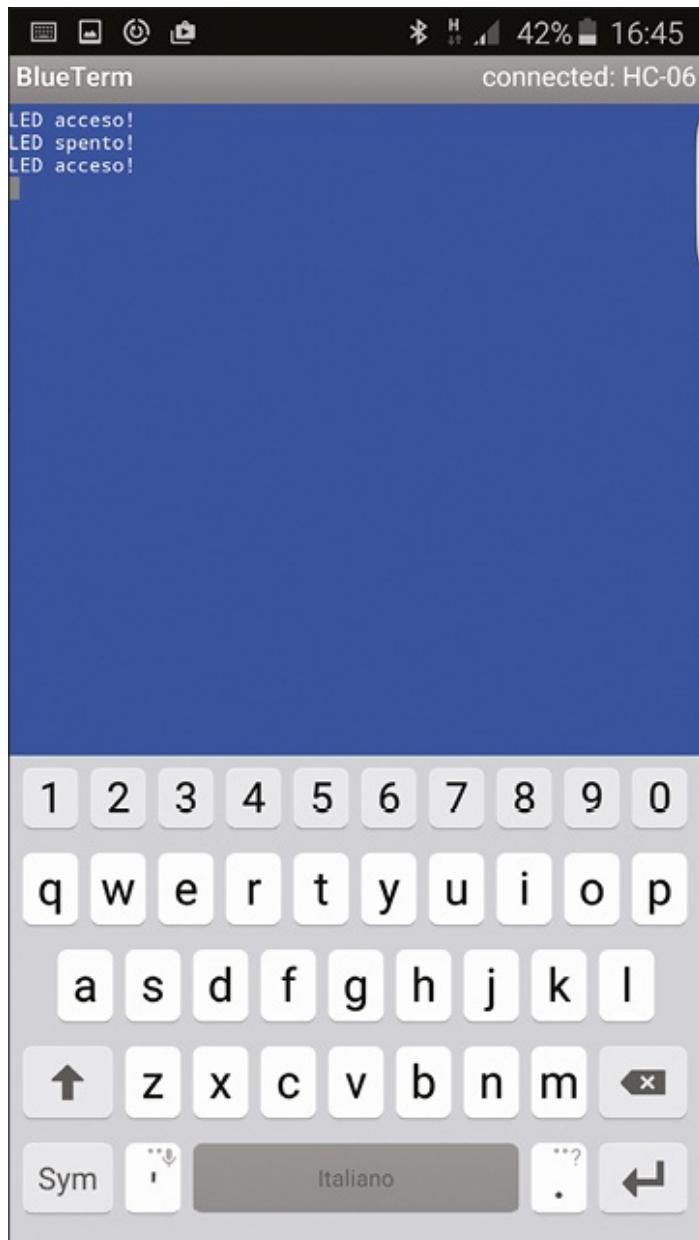


Figura 28.21 – L'app BlueTerm utilizzata per l'accensione e lo spegnimento di un LED.

Programmazione del modulo Bluetooth

Ovviamente, per rendere il tutto professionale è necessario riprogrammare il modulo con un nuovo SSID (Service Set IDentifier), ovvero il nome che appare nella scansione, e una nuova password. Quest'ultimo aspetto, relativo alla password, è ovviamente molto importante per evitare che persone non autorizzate accedano al nostro dispositivo nel momento in cui questo diventerà effettivamente operativo.

Per riprogrammare il modulo Bluetooth si usano i cosiddetti **comandi AT**, noti anche come **comandi Hayes**, dal nome di Dennis Hayes, originale sviluppatore di tale set di comandi. Si tratta di una serie di istruzioni usate storicamente per inviare comandi ai modem attraverso una porta seriale. La sintassi in questione prevede di far seguire alla stringa AT, che si riferisce alla parola inglese **Attention**, lo specifico comando. Vediamo di seguito i principali comandi da inviare.

Scrivendo il semplice comando AT possiamo verificare la comunicazione tra Arduino e il modulo

Bluetooth, in quanto, se questa è presente, il modulo risponderà con la dicitura OK.
Sempre in termini di testing possiamo usare il comando:

AT+VERSION

che restituisce la versione del firmware del modulo.

Per impostare il nome del modulo usiamo il comando:

AT+NAMEmionome

dove `mionome` è il SSID da associare al modulo. Tale nome non deve superare i 20 caratteri.

Per impostare la password usiamo invece il comando:

AT+PINxxxx

dove la stringa `xxxx` deve essere sostituita con la password di nostra scelta.

Infine, è possibile impostare la velocità di comunicazione con la stringa di comando:

AT+BAUDx

dove `x` è una cifra esadecimale che può essere 1 per 1200 bps, 2 per 2400 bps e, di seguito, 3=4800, 4=9600, 5=19200, 6=38400, 7=57600, 8=115200, 9=230400, A=460800, B=921600, C=1382400.

Vediamo allora come inviare i comandi AT al nostro modulo. Per farlo realizziamo un apposito sketch da far eseguire ad Arduino e che utilizzeremo solo per la fase di programmazione in questione in quanto, una volta programmato con i settaggi di nostro interesse, caricheremo su Arduino lo sketch di uso normale. Lo sketch di programmazione farà uso del serial monitor per raccogliere i nostri comandi e inviarli al modulo Bluetooth e al contempo riceverà le risposte dal modulo Bluetooth e le visualizzerà al suo interno. Il serial monitor, come già detto, è connesso alla porta hardware di Arduino, che corrisponde al pin 0 per la ricezione (RX) e al pin 1 per la trasmissione (TX). Faccio incidentalmente notare come di solito le porte seriali vengano chiamate UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) oppure USART (Universal Synchronous-Asynchronous Receiver/Transmitter).

Fortunatamente, per casi come questo in cui abbiamo bisogno di un'ulteriore porta seriale per interfacciarsi con il modulo Bluetooth, Arduino mette a disposizione una specifica libreria software nota come **SoftwareSerial**, che consente di sfruttare due pin digitali di Arduino per adibirli a RX e TX aggiuntivi.

Per sfruttare la nostra nuova libreria sarà sufficiente la seguente direttiva:

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

In seguito dobbiamo istanziare uno specifico oggetto utilizzando il costruttore `SoftwareSerial`, scrivendo qualcosa del tipo:

```
SoftwareSerial Bluetooth(pinRx, pinTx);
```

dove al posto di `pinRx` e `pinTx` indicheremo il numero del pin, rispettivamente, per la ricezione e

trasmissione dei dati e dove `Bluetooth` è un nome di nostra scelta per l’oggetto.

Lo sketch dovrà poi essere in grado di leggere i comandi dal serial monitor e inviarli al modulo Bluetooth raccogliendone le risposte. Vediamo quindi, per intero, il codice in questione:

```
#include <SoftwareSerial.h>
const int RX = 2;
const int TX = 3;
SoftwareSerial Bluetooth(RX, TX);
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Bluetooth.begin(9600);
    Serial.println("Comunicazione inizializzata!");
    Serial.println("Inserire i comandi AT per configurare il modulo.");
}
void loop()
{
    if (Bluetooth.available())
    {
        Serial.write(Bluetooth.read());
    }
    if (Serial.available())
    {
        Bluetooth.write(Serial.read());
    }
}
```

Lo sketch è abbastanza semplice. Come si vede, usiamo i pin 2 e 3 di Arduino per la ricezione e trasmissione dei dati verso il modulo Bluetooth. Nella funzione `setup` impostiamo a 9600 bps le velocità di entrambe le porte seriali, sia quella hardware di default di Arduino `Serial`, sia quella software gestita dall’oggetto che abbiamo chiamato `Bluetooth`.

Ovviamente per il corretto funzionamento dello sketch dovremo collegare i pin 2 e 3 di Arduino rispettivamente ai pin TX e RX del modulo Bluetooth. Per essere più chiari, il pin RX (2) di Arduino deve essere collegato al pin TX del modulo Bluetooth e il pin TX (3) di Arduino al pin RX del modulo in esame.

Procedendo con l’analisi dello sketch, notiamo che nella funzione `loop`, se ci sono dati disponibili nel modulo Bluetooth, `if(Bluetooth.available())`, scriviamo sulla seriale ciò che leggiamo dal modulo Bluetooth, `Serial.write(Bluetooth.read())`.

D’altra parte, se sono presenti dati sulla seriale hardware, `if(Serial.available())`, scriviamo sul modulo Bluetooth ciò che leggiamo dal serial monitor, `Bluetooth.write(Serial.read())`, ovvero i comandi che abbiamo in esso digitati.

Una volta collegati i cavi, eseguito l’upload dello sketch e lanciato il serial monitor, dovrebbe essere possibile inviare i dati di configurazione del modulo, così come mostrato nella Figura 28.22, al quale abbiamo inviato la seguente sequenza di comandi:

```
AT+VERSION
AT+NAMEArduino
AT+PIN4321
```

Nel caso dell'esempio in oggetto è stato usato un modulo HC-06 che non richiede caratteri di fine riga. Tuttavia, con alcuni moduli, potrebbe essere necessario selezionare, nell'apposita lista a cascata del serial monitor, una voce per inviare un a capo (NL ovvero \n) e un ritorno carrello (CR ovvero \r).

NOTA

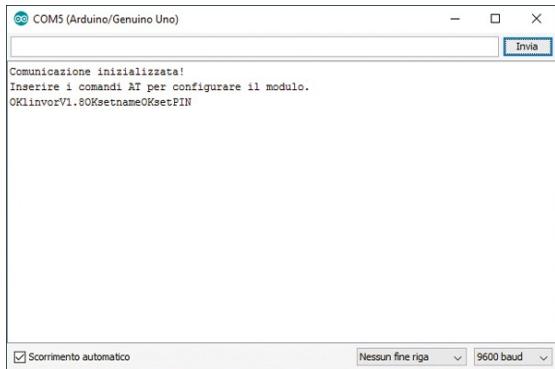


Figura 28.22 – Il serial monitor visualizza l'output dei comandi inviati al modulo Bluetooth.

Come abbiamo visto, lo sketch precedente consente la programmazione del modulo Bluetooth in maniera interattiva, inviando al modulo in questione una serie di comandi AT. In alcuni casi, si potrebbe desiderare di realizzare uno sketch che impartisca comandi ben definiti direttamente in fase di esecuzione dello sketch stesso. Una possibile soluzione, molto semplice, è data dal seguente codice:

```
#include <SoftwareSerial.h>
const int RX = 2;
const int TX = 3;
SoftwareSerial Bluetooth(RX, TX);
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial)
    {
        ; // Attesa per la comunicazione seriale. Necessaria solo nel caso di p
    }
    Serial.println("Programmazione modulo Bluetooth!");
    // imposto velocità seriale Bluetooth
    Bluetooth.begin(9600);
    Bluetooth.print("AT+VERSION");
    AttendiRisposta();

    Bluetooth.print("AT+NAME");
    Bluetooth.print("Arduino");
    AttendiRisposta();

    Bluetooth.print("AT+PIN");
    Bluetooth.print("1234");
    AttendiRisposta();
}
void AttendiRisposta()
```

```
{  
    delay(1000);  
    while (Bluetooth.available())  
    {  
        Serial.write(Bluetooth.read());  
    }  
    Serial.write("\n");  
}  
void loop()  
{  
    //vuoto  
}
```

Come si può facilmente evincere dal codice, i comandi al modulo vengono inviati attraverso istruzioni del tipo:

```
Bluetooth.print("AT+VERSION");
```

Per consentire il ritorno senza problemi dell'output del modulo rispetto a tali comandi, si predispone una funzione, che abbiamo chiamato `AttendiRisposta`, che esegue un'attesa di un secondo e successivamente legge dallo stream del modulo per scriverlo sulla seriale di default. Da notare come la funzione `loop` risulti vuota, non dovendo eseguire alcuna operazione.

In ogni caso, una volta programmato il modulo dovremo uploadare lo sketch da far eseguire alla scheda e, solo successivamente, ricollegare i pin 0 e 1 di Arduino verso i corrispondenti pin del modulo Bluetooth.

Collegamento wireless: il modulo ESP8266

Il collegamento di tipo Bluetooth è eccellente in tutta una serie di situazioni ma esso ha, tuttavia, anche grosse limitazioni, ad esempio legate alla distanza di funzionamento degli apparati. Nel caso si necessiti di collegamento a distanze superiori a qualche decina di metri ci si può affidare a un collegamento di tipo Wi-Fi. Fra le varie possibili soluzioni spicca, per lo straordinario rapporto prezzo-prestazioni, il modulo Wi-Fi basato sull'integrato ESP8266. Si tratta di un cosiddetto **SoC**, acronimo che sta per **System on a Chip**, ovvero un sistema completo realizzato su un singolo circuito integrato (chip), prodotto dall'azienda cinese Espressif Systems.

Basandosi su questo chip, l'azienda AI-Thinker ha realizzato un modulo di grande successo noto come ESP-01, acquistabile facilmente su Internet a un costo irrisorio di qualche euro.

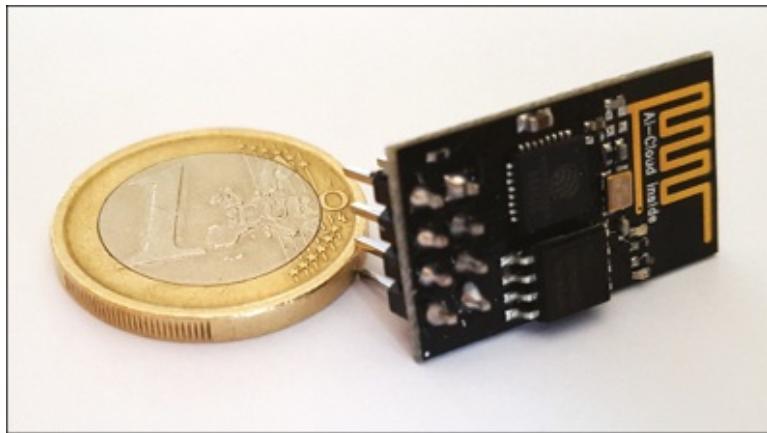


Figura 28.23 – Il modulo ESP-01 ESP8266.

Per collegare il nostro Arduino Uno al modulo in questione bisogna prestare molta attenzione, perché il modulo ESP-01 richiede una tensione sui pin RX e TX di soli 3.3 volt mentre Arduino gestisce 5 volt. Si corre quindi il serio rischio di danneggiare irreparabilmente il modulo. Sebbene sia possibile realizzare specifici artifici per adattare il giusto voltaggio e la giusta corrente richiesta dal modulo, il sistema più pratico per collegare Arduino all'ESP-01 può essere l'acquisto, sempre su Internet e sempre per pochi euro, di uno specifico adattatore la cui sigla è **ADP-01**. Tale adattatore, spesso identificato con la descrizione ADP-01 Adattatore per ESP-01 ESP8266, oltre a convertire la corrente così come richiesta dal modulo (Level Converter 3.3V-5V), consente anche di inserire il tutto su di una breadboard (Breadboard Adapter). Infatti, contrariamente all'adattatore, il modulo ESP-01 ha una piedinatura non compatibile con le distanze tra i fori della breadboard.

Una volta collegati tra loro il modulo e l'adattatore, come mostrato in Figura 28.24, possiamo inserire l'adattatore sulla breadboard e collegare i connettori di alimentazione e quelli di ricezione e trasmissione dei dati. Sull'adattatore sono chiaramente visibili i simboli + e - per l'alimentazione, così come i simboli RX e TX. Per la programmazione del modulo possiamo servirci dello stesso schema e dello stesso sketch utilizzato per la programmazione del modulo Bluetooth, collegando il pin 2 di Arduino al TX dell'adattatore e il pin 3 sempre di Arduino all'RX dell'adattatore.

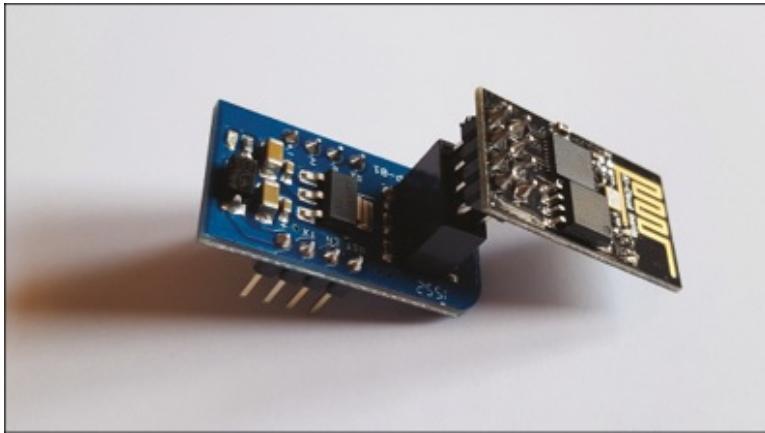


Figura 28.24 – Il modulo ESP-01 ESP8266 pronto per essere inserito sull’adattatore ADP-01.

Come detto, una volta collegati modulo e adattatore sulla breadboard e ad Arduino, possiamo passare alla fase di programmazione vera e propria utilizzando sostanzialmente lo stesso sketch usato per programmare il modulo Bluetooth e che riporto qui di seguito.

```
#include <SoftwareSerial.h>
const int RX = 2;
const int TX = 3;
SoftwareSerial Esp8266(RX, TX);
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Esp8266.begin(9600);
    Serial.println("Comunicazione inizializzata!");
    Serial.println("Inserire i comandi AT per configurare il modulo ESP8266.");
}
void loop()
{
    if (Esp8266.available())
    {
        Serial.write(Esp8266.read());
    }
    if (Serial.available())
    {
        Esp8266.write(Serial.read());
    }
}
```

Come si può osservare, si tratta del medesimo sketch precedente con l’unica differenza che abbiamo chiamato `Esp8266` l’oggetto istanziato con il costruttore `SoftwareSerial`. Ovviamente, avremmo potuto mantenere il nome già utilizzato in precedenza così come sceglierne un altro qualsiasi. Conviene comunque mantenere separati i due sketch sia per una questione di comodità d’uso sia per il fatto che sarà possibile personalizzarli per i moduli specifici.

Arrivati dunque a questo punto, non resta che uploadare lo sketch in questione e aprire il serial monitor. Anche in questo caso possiamo usare i comandi AT dello standard **Hayes** e così proviamo per prima cosa a digitare il solo comando AT in attesa di una risposta positiva di tipo OK. Se i collegamenti sono corretti, il serial monitor dovrebbe mostrare qualcosa di simile a

quanto visualizzato in Figura 28.25.

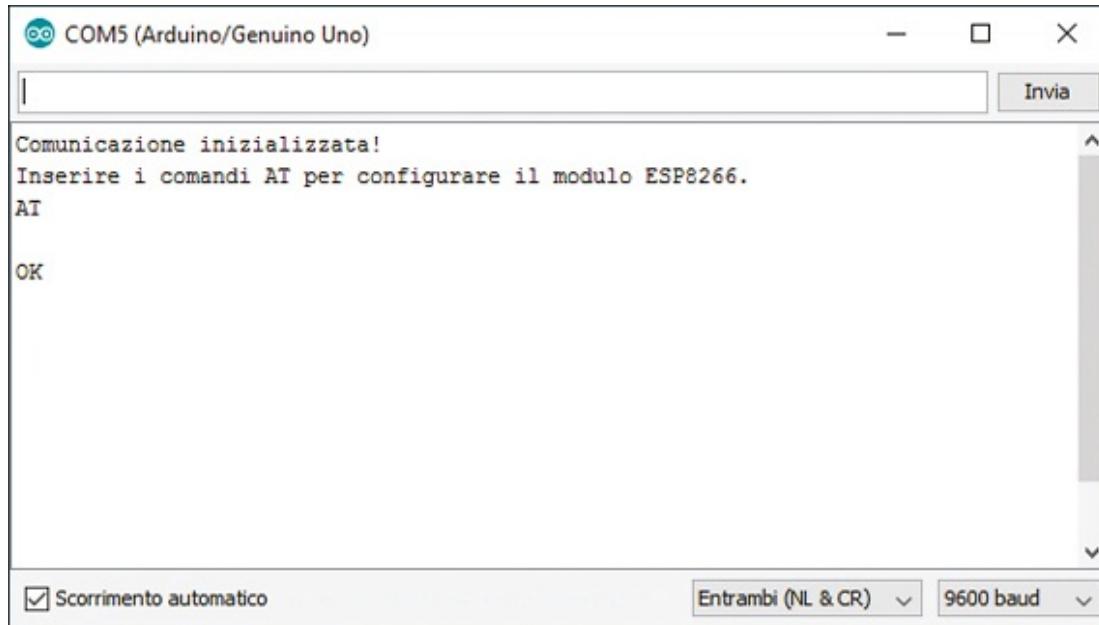


Figura 28.25 – Il serial monitor in programmazione sul modulo ESP-01 ESP8266.

Nel caso di insuccesso della comunicazione può essere utile verificare il tipo di fine linea, che dovrebbe essere **NL & CR**, e la velocità che dovrebbe essere impostata a 9600 bps sia nel serial monitor che nello sketch. In alternativa si potrebbe provare a velocità diverse, come ad esempio 57600 o 115200 bps.

Il primo comando AT da utilizzare può essere `AT+GMR`, che restituisce le informazioni relative alla versione del firmware. Il comando `AT+RST`, invece, consente di riavviare il modulo.

Il modulo ESP-01 può essere configurato sia come semplice client sia come Access Point. Per verificare l'attuale configurazione è possibile usare il comando:

`AT+CWMODE_CUR?`

Questo visualizzerà la configurazione attuale del modulo in relazione al Wi-Fi secondo il seguente schema: 1 per **modalità Station** (client), 2 per **modalità AP** (Access Point) e 3 per modalità AP + modalità Station. La modalità Station (numero 1) prevede che il modulo abbia un indirizzo IP che gli consente di collegarsi, appunto, come client al nostro router wireless. La modalità AP (numero 2) prevede invece che il modulo abbia un indirizzo IP che funga da server, permettendo ad altre macchine di collegarsi a esso.

I numeri in questione possono essere usati per impostare la specifica modalità desiderata. Ad esempio, scrivendo il comando:

`AT+CWMODE_CUR=3`

impostiamo la modalità 3 (modalità AP + modalità Station). I comandi in questione, tuttavia, non salvano la configurazione nella memoria flash. Se si vuole ottenere questo risultato è necessario utilizzare il comando `AT+CWMODE_DEF=<mode>`, dove `<mode>` è un numero da 1 a 3 con il medesimo significato del caso precedente. Ad esempio, per salvare la configurazione per la modalità AP +

modalità Station, scriveremo:

```
AT+CWMODE_DEF=3
```

mentre per ottenere le informazioni relative all'attuale configurazione salvata su flash scriveremo il comando:

```
AT+CWMODE_DEF?
```

Modalità Station

A questo punto possiamo connetterci al nostro router wireless. Per farlo, digitiamo il comando:

```
AT+CWLAP
```

che elenca tutti gli Access Point disponibili. Ovviamente, affinché tale comando non generi un errore, è necessario che la modalità attuale del modulo sia anche di tipo Station, quindi impostata al valore 1 oppure 3. Infatti, in caso contrario, il modulo non avrebbe accesso al nostro router wireless. Individuato il nostro SSID, che in realtà dovremmo già conoscere, usiamo il comando:

```
AT+CWJAP="SSID", "password"
```

inserendo il nome della nostra connessione al posto della stringa SSID e la relativa password, così come nel comando di esempio appena scritto. In caso di successo dovremmo ottenere un messaggio del tipo:

```
WIFI CONNECTED  
WIFI GOT IP
```

Per verificare l'assegnazione dell'indirizzo IP possiamo digitare il comando:

```
AT+CIFSR
```

In output riceveremo qualcosa di simile a ciò che segue:

```
+CIFSR:APIP, "192.168.20.6"  
+CIFSR:APMAC, "5e:cf:7f:0d:42:e6"  
+CIFSR:STAIP, "192.168.20.5"  
+CIFSR:STAMAC, "5c:cf:7f:0d:42:e6
```

dove STAIP sta, come già spiegato in precedenza, per Station IP, ovvero l'indirizzo IP che il modulo gestisce quando si collega ad esempio al nostro router wireless, mentre APIP sta per Access Point IP, ovvero l'indirizzo IP del modulo quando funge appunto da Access Point e quindi quando dà la possibilità di collegarsi a esso.

Per iniziare, vediamo la **gestione degli IP in modalità station**. Per verificare l'attuale configurazione possiamo usare il seguente comando:

```
AT+CIPSTA_CUR?
```

che restituirà qualcosa del tipo seguente:

```
+CIPSTA_CUR:ip:"192.168.20.5"  
+CIPSTA_CUR:gateway:"192.168.20.1"  
+CIPSTA_CUR:netmask:"255.255.255.0"
```

L'output mostra gli attuali parametri di rete fondamentali per qualsiasi connessione: IP, gateway e netmask. Può essere utile, a questo punto della trattazione, spendere qualche parola di carattere generale sugli indirizzi IP e la loro gestione. Come dovrebbe essere noto, un indirizzo IP è l'identificativo associato a una interfaccia di rete con il quale è resa possibile la comunicazione attraverso i protocolli della rete Internet. Ogni macchina necessita quindi di un tale indirizzo per poter comunicare in rete. Oltre a questo è necessario specificare la **netmask**, nota anche come **maschera di rete**, che rende possibile l'identificazione delle macchine che appartengono alla stessa rete della macchina in esame. Infine, è necessario indicare il cosiddetto gateway di default o, più semplicemente, **gateway**, che indica l'IP della macchina con la quale dobbiamo comunicare per raggiungere una macchina di destinazione che non appartiene alla nostra rete. Per specificare questi parametri in maniera statica possiamo usare il seguente comando:

```
AT+CIPSTA_CUR="192.168.1.33"
```

dove `192.168.1.33` è l'indirizzo IP che vogliamo associare al nostro modulo. Interrogando nuovamente il modulo con il comando `AT+CIPSTA_CUR?` avremo un output del tipo seguente:

```
+CIPSTA_CUR:ip:"192.168.1.33"  
+CIPSTA_CUR:gateway:"192.168.1.1"  
+CIPSTA_CUR:netmask:"255.255.255.0"
```

Scopriremo cioè che il comando ha impostato per noi anche un gateway e una netmask di tipo predefinito che andrà bene nella maggioranza dei casi. Volendo impostare dei parametri personalizzati potremo scrivere il comando in questione nella forma seguente:

```
AT+CIPSTA_CUR="192.168.1.33", "192.168.6.101", "255.255.255.0"
```

potendo specificare, separati da una virgola, nell'ordine, l'indirizzo IP, il gateway e la maschera di rete. Tuttavia, la configurazione così ottenuta non viene salvata nella memoria flash del modulo. Per rendercene conto è possibile utilizzare il seguente comando:

```
AT+CIPSTA_DEF?
```

che mostra la configurazione salvata in maniera permanente nel modulo. Per modificare tale configurazione è allora possibile utilizzare il comando `AT+CIPSTA_DEF` con le stesse modalità appena viste per il comando `AT+CIPSTA_CUR`. La sua sintassi è dunque la seguente:

```
AT+CIPSTA_DEF=<IP>[ , <gateway>, <netmask>]
```

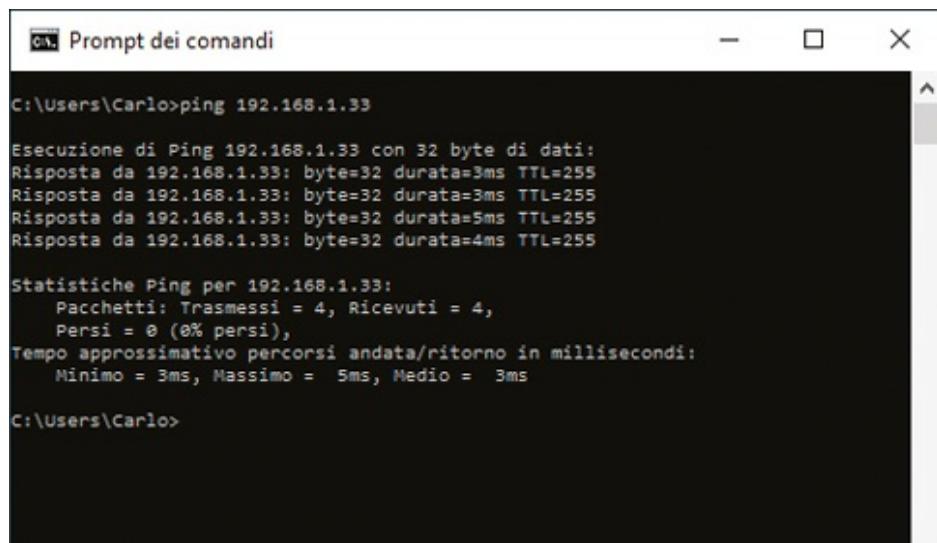
con ovvio significato dei parametri richiesti.

A questo punto è di vitale importanza, per la verifica della correttezza delle configurazioni che andiamo ad effettuare, utilizzare degli strumenti diagnostici che ci consentano di stabilire se è possibile comunicare tra i diversi apparati, come ad esempio tra il nostro PC e il modulo ESP8266. Di norma questi strumenti sono dei semplici comandi da utilizzarsi nella shell testuale

del nostro sistema operativo. Ad esempio, per conoscere l'IP del nostro computer possiamo aprire un prompt dei comandi in Windows e digitare il comando `ipconfig`. Con Linux o OS X possiamo, invece, usare il terminale e digitare il comando `ifconfig`. Per verificare se riusciamo a raggiungere dalla nostra macchina un certo IP possiamo utilizzare un apposito comando, uguale nei vari sistemi operativi, di nome `ping`. Per tale scopo scriviamo un comando del tipo:

```
ping 192.168.1.33
```

dove `192.168.1.33` è l'IP della macchina di cui vogliamo testare la raggiungibilità. Nel nostro caso, questo è proprio l'IP che abbiamo appena assegnato al modulo. La riuscita o meno della comunicazione viene chiaramente indicata dall'output del comando.



```
C:\Users\Carlo>ping 192.168.1.33

Esecuzione di Ping 192.168.1.33 con 32 byte di dati:
Risposta da 192.168.1.33: byte=32 durata=3ms TTL=255
Risposta da 192.168.1.33: byte=32 durata=3ms TTL=255
Risposta da 192.168.1.33: byte=32 durata=5ms TTL=255
Risposta da 192.168.1.33: byte=32 durata=4ms TTL=255

Statistiche Ping per 192.168.1.33:
    Pacchetti: Trasmessi = 4, Ricevuti = 4,
    Persi = 0 (0% persi),
Tempo approssimativo percorsi andata/ritorno in millisecondi:
    Minimo = 3ms, Massimo = 5ms, Medio = 3ms

C:\Users\Carlo>
```

Figura 28.26 – Il comando ping per verificare la connettività tra PC e modulo ESP-01 ESP8266.

Modalità Access Point

Vediamo ora, invece, come assegnare un indirizzo statico al nostro modulo nel momento in cui lo impostiamo in modalità di tipo Access Point. Scopriremo che la procedura è del tutto simile al caso precedente con, ovviamente, nomi di comandi differenti. Innanzitutto proviamo il comando per visualizzare l'attuale configurazione IP del modulo di tipo AP:

```
AT+CIPAP_CUR?
```

otterremo quindi qualcosa del tipo seguente:

```
+CIPAP:ip:"192.168.20.6"
+CIPAP:gateway:"192.168.20.6"
+CIPAP:netmask:"255.255.255.0"
```

Utilizziamo quindi il comando, togliendo il punto interrogativo finale, andando a specificare un indirizzo IP per il modulo:

```
AT+CIPAP_CUR="192.168.1.66"
```

dove, ovviamente, `192.168.1.66` è l'indirizzo che vogliamo impostare. Interrogando nuovamente lo

stato del modulo con il comando AT+CIPAP_CUR? otterremo la seguente situazione:

```
+CIPAP_CUR:ip:"192.168.1.66"  
+CIPAP_CUR:gateway:"192.168.1.66"  
+CIPAP_CUR:netmask:"255.255.255.0"
```

Anche in questo caso, il suffisso _CUR ci fa intuire che la configurazione realizzata con il comando in questione è di tipo momentanea (corrente) ma non è stata salvata nella memoria flash. Per ottenere quest'ultimo risultato dovremo utilizzare, invece, il comando:

```
AT+CIPAP_DEF="192.168.1.66"
```

che imporrà l'IP specificato come default.

Bisogna prestare molta attenzione al fatto che l'IP dell'Access Point può essere "pingato" con successo, ovvero usando il comando ping riusciamo a verificare la presenza della connessione, solo se ci connettiamo alla rete dell'Access Point stesso. In altre parole, non è sufficiente che l'IP del computer che stiamo utilizzando per la programmazione e l'IP del modulo appartengano alla stessa rete, ma è invece necessario che il PC sia connesso alla rete dell'Access Point. In caso contrario, utilizzando il comando:

```
ping 192.168.1.66
```

otterremo qualcosa del tipo:

```
Esecuzione di Ping 192.168.1.66 con 32 byte di dati:  
Risposta da 192.168.1.101: Host di destinazione non raggiungibile.  
...
```

Infatti, dal nostro PC possiamo pingare direttamente solo l'IP di tipo station. Invece, per rendere possibile la comunicazione tra il PC e l'Access Point, dobbiamo, come già detto, collegarci a tale Access Point attraverso le modalità dello specifico sistema operativo. In Figura 28.27 viene mostrato l'elenco dei dispositivi wireless con il modulo ESP8266 che viene indicato come qualcosa del tipo AI-THINKER_X. La rete, per semplicità di sperimentazione, è attualmente aperta.

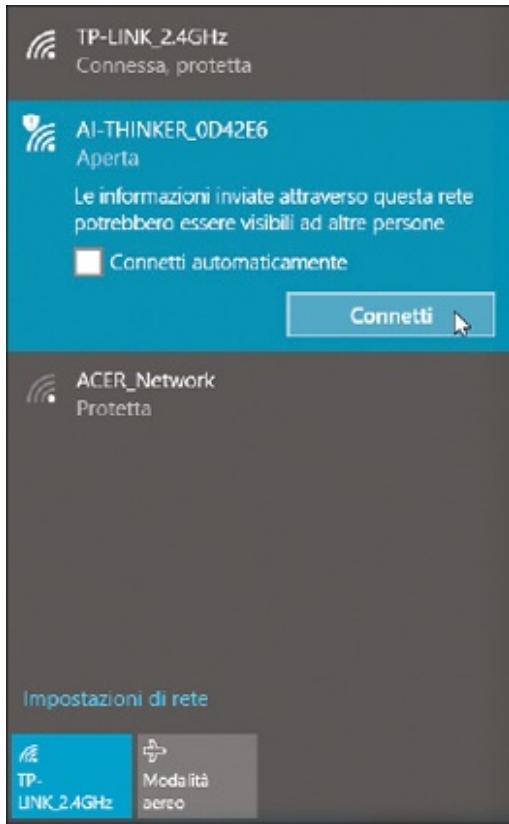


Figura 28.27 – La selezione del modulo wireless ESP-01 ESP8266.

Ovviamente, nel momento in cui accederemo a tale rete, perderemo la connettività a Internet.

NOTA

Per cambiare il nome del modulo (SSID), impostare una password di accesso e specificare la modalità di protezione è possibile fare riferimento ai comandi AT+CWSAP_CUR e AT+CWSAP_DEF.

L'ESP8266 impostato come server

Verifichiamo allora come poter gestire il modulo ESP8266 come un server. Per prima cosa dobbiamo impostare il modulo in modalità Access Point con il comando:

```
AT+CWMODE_CUR=2
```

oppure, analogamente, con il comando AT+CWMODE_CUR=3 che imposta entrambe le modalità (Station + AP). Come si intuisce dal suffisso _CUR, anche in questo caso l'impostazione non è permanente. Per impostare, invece, salvando su flash la modalità desiderata useremo il comando:

```
AT+CWMODE_DEF=2
```

oppure, AT+CWMODE_DEF=3 per la modalità Station e AP insieme. Per interrogare il modulo e verificare quale sia la modalità attualmente impostata possiamo usare i comandi AT+CWMODE_CUR? e AT+CWMODE_DEF?, rispettivamente per la modalità corrente e quella di default.

Inoltre, dobbiamo richiedere al modulo di accettare connessioni multiple, provenienti evidentemente da eventuali differenti client, con il seguente comando:

AT+CIPMUX=1

A questo punto dobbiamo indicare la **porta** sulla quale il nostro server resterà in attesa delle richieste di connessione da parte dei client. Per farlo utilizziamo il seguente comando:

AT+CIPSERVER=1, 80

che imposta la porta 80 come porta di ascolto. Avremmo ovviamente potuto scegliere una qualsiasi altra porta. Una porta non è altro che un identificativo numerico che il sistema operativo consente di associare a uno specifico servizio e che consente di poter gestire contemporaneamente più servizi di tipo server associati allo stesso indirizzo IP. Per completezza, vale la pena di ricordare che l'unione di un indirizzo IP e di un numero di porta prende il nome tecnico di **socket**.

NOTA

Come già spiegato in precedenza, affinché le successive connessioni tra il PC e il modulo siano possibili, è necessario che il PC si connetta alla rete wireless del modulo ESP8266.

Non ci resta quindi che interrogare il nostro server, utilizzando un qualsiasi client capace di effettuare una richiesta sulla porta 80 appena aperta sul nostro modulo. Il modo più semplice, che dimostra in effetti che la porta 80 non era una scelta del tutto casuale, è quella di utilizzare un browser qualsiasi come ad esempio Google Chrome e indicare, nella barra degli indirizzi, l'IP dell'Access Point che, nel caso del nostro esempio, è 192.168.1.66. Come tutta risposta vedremo comparire nel serial monitor un messaggio simile al seguente:

```
0,CONNECT
+IPD,0,391:GET / HTTP/1.1
Host: 192.168.1.66
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
Upgrade-Insecure-Requests: 1
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; WOW64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/62.0.3160.107 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: it-IT,it;q=0.8,en-US;q=0.6,en;q=0.4
```

Si tratta, in buona sostanza, della richiesta effettuata dal browser che per default effettua proprio una richiesta sulla porta 80 cercando di comunicare con un web server. Per studiare in maniera più dettagliata il tipo di comunicazione che si instaura tra client e server possiamo effettuare la richiesta di connessione al server utilizzando come client un qualsiasi emulatore di terminale, come ad esempio PuTTY oppure TeraTerm, solo per citarne alcuni. Entrambi i software citati sono gratuiti e facilmente scaricabili da Internet. Sarà sufficiente allora impostare il protocollo **Telnet** indicando la porta 80 e l'indirizzo IP del modulo ESP8266 per effettuare il collegamento, così come visibile in Figura 28.28, usando come esempio PuTTY.

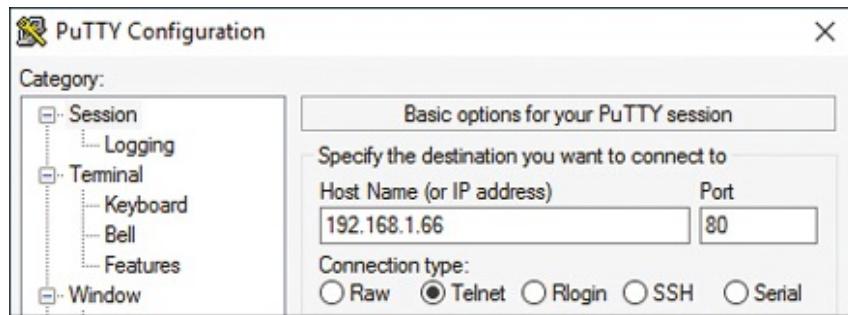


Figura 28.28 – L’emulatore PuTTY con i parametri di collegamento per il modulo ESP-01 ESP8266.

Una volta effettuata la connessione, nel serial monitor dovremo vedere un messaggio del tipo:

```
0,CONNECT  
+IPD,0,21:ÿüÿü ÿüÿü'ÿýÿüÿý
```

che conferma appunto l’avvenuta connessione. Da questo momento in poi tutto ciò che digiteremo nella finestra dell’emulatore PuTTY verrà trasferito via Wi-Fi al modulo ESP e sarà leggibile nel nostro serial monitor. Una sessione di comunicazione di tale tipologia è visibile in Figura 28.29. Dalla figura in questione si evince un particolare di grande interesse relativamente a come il serial monitor raccoglie il testo inviato dal client, come ad esempio nella riga:

```
+IPD,0,14:Salve da PuTTY
```

Il primo numero, in questo caso zero, rappresenta l’identificativo del client. Per ogni client connesso, infatti, il modulo tiene traccia di questo identificativo al fine di poterlo riconoscere per un’eventuale risposta. Il secondo numero, invece, indica la lunghezza del testo trasferito prima di ogni singola digitazione del tasto Invio. A questo punto possiamo quindi rispondere al client sfruttando il serial monitor e scrivendo un comando del tipo:

```
AT+CIPSEND=0,42
```

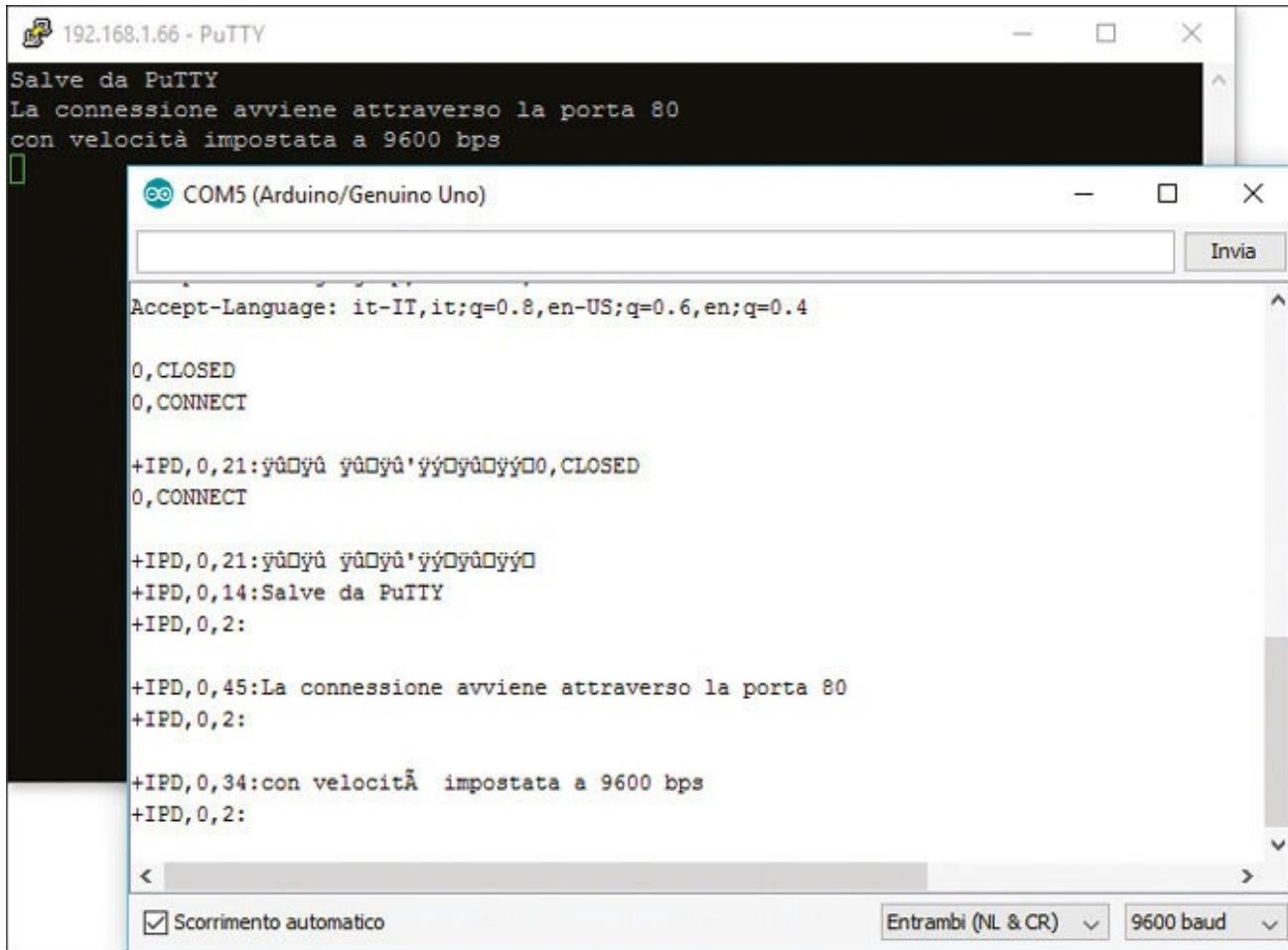


Figura 28.29 – L'emulatore PuTTY e il modulo ESP-01 ESP8266 stabiliscono una connessione.

dove il numero zero rappresenta l'identificativo del client al quale vogliamo rispondere e 42 sono i caratteri che ci accingiamo a inviare. Subito dopo l'inserimento del comando appena visto, nel serial monitor comparirà il simbolo di maggiore > a indicare che il server è pronto per raccogliere la risposta da inviare verso il client. Ad esempio potremo scrivere, sfruttando esattamente 42 caratteri, il seguente messaggio:

Lunga vita e prosperità dal modulo ESP8266

che vedremo comparire nel terminale di PuTTY, che rappresenta il nostro client, così come mostrato in Figura 28.30.

Non ci resta, a questo punto, che chiudere la connessione aperta con il comando:

AT+CIPCLOSE=ID

dove `TD` è l'identificativo della connessione precedentemente aperta. Nel caso dell'esempio, scriveremo quindi:

AT+CIPCLOSE=0

The screenshot shows two PuTTY windows. The top window, titled '192.168.1.240 - PuTTY', displays the following text:

```
Salve da PuTTY
La connessione avviene attraverso la porta 80
con velocità impostata a 9600 bps
Lunga vita e prosperità dal modulo ESP8266
```

The bottom window, titled 'COM5 (Arduino/Genuino Uno)', shows the following interaction:

```
+IPD,0,36:con velocità impostata a 9600 bps
+IPD,0,2:
AT+CIPSEND=0,42

OK
>
busy s...

Recv 42 bytes

SEND OK
```

At the bottom of the window, there are configuration options: 'Scorrimento automatico' (checkbox checked), 'Entrambi (NL & CR)' (dropdown), and '9600 baud' (dropdown).

Figura 28.30 – Esempio di scambio di dati tra il modulo ESP-01 ESP8266 e l’emulatore PuTTY.

Web chiama ESP8266: rispondete!

Sfruttando la conoscenza dei principali comandi di gestione del modulo ESP8266 appena acquisiti, possiamo spingerci oltre realizzando uno sketch di maggiore complessità e utilità. Ci prefiggiamo allora di realizzare uno sketch che gestisca un server in ascolto sulla porta 80 e che quindi consenta di collegarsi al nostro modulo, via Wi-Fi e tramite un qualsiasi browser web, comandando il nostro solito LED.

Per semplificare al massimo l’intera operazione, supporremo che ogni qualvolta richiameremo nel browser il modulo ESP8266, tramite il suo indirizzo IP, sarà come azionare un interruttore di controllo del LED sul pin 13: se questo è spento lo accenderemo, mentre se esso è acceso lo spegneremo.

Poiché il modulo dovrà, per forza di cose, segnalare il completamento dell’operazione al browser web, tale segnalazione dovrà avvenire inviando al browser chiamante una specifica pagina web. La pagina web in questione verrà creata al volo e restituita al browser attraverso il comando **AT+CIPSEND**, visto in precedenza.

Una pagina web non è altro che un insieme di istruzioni di tipo testuale realizzate in linguaggio HTML. Tale linguaggio è, almeno in relazione a un utilizzo minimale, di estrema semplicità. Seppure la sua conoscenza sia ormai molto diffusa, per completezza di trattazione, vediamone di seguito i suoi aspetti fondamentali. Esso si basa su di una serie di marcatori che definiscono la formattazione degli elementi sulla pagina stessa. Un **marcatore** è costituito da una parola chiave racchiusa tra i simboli di minore e maggiore.

Il testo della pagina che faremo restituire al modulo è sostanzialmente il seguente:

```
<html>
```

```

<head>
    <title>ESP8266 - Controllo LED</title>
</head>
<body>
    <h1>ESP8266 - Controllo LED</h1>
    <h2>LED acceso!</h2>
    <h2>LED spento!</h2>
</body>
</html>

```

Generalmente un marcatore, più noto con il termine di **tag**, prevede un'apertura, ovvero una indicazione di inizio del suo funzionamento, e una chiusura, per indicare appunto quando tale comportamento deve cessare.

Il tag di chiusura è identificato dal fatto che all'interno delle parentesi angolari (i simboli di minore e maggiore) la parola chiave è preceduta dal simbolo / di slash. Ad esempio, il principale tag, `<html>` che indica l'inizio del documento, prevede un tag di chiusura scritto come `</html>`. All'interno del blocco di tag `<html></html>` troviamo una sezione di intestazione della pagina delimitata dai tag `<head>` e `</head>`. In questa sezione vengono di norma inserite informazioni utili ai motori di ricerca che indicizzano le pagine presenti in Internet.

Tra queste informazioni quella che non manca mai è relativa al titolo della pagina, indicato con i tag `<title>` e `</title>`. Il titolo è il testo che appare all'interno della finestra del browser, nella sezione superiore, nota appunto come **title bar** o **caption bar**. Il contenuto vero e proprio della pagina web è racchiuso tra i tag `<body>` e `</body>`. Qui inseriremo un testo con grande evidenza utilizzando il tag `<h1>`. La lettera h del tag in oggetto è l'iniziale della parola inglese header, che significa intestazione, e che consente di inserire del testo che risalti all'interno del documento. Il numero 1 insieme al tag h indica la massima dimensione possibile.

Subito dopo sfruttiamo lo stesso tag, ma con il numero 2, inserendo del testo con una dimensione leggermente minore rispetto al precedente. Ovviamente, delle due istruzioni `<h2>LED acceso!</h2>` e `<h2>LED spento!</h2>` ne dovremo inserire una sola, a seconda della situazione reale del LED.

Se si trattasse di un pagina HTML statica avremmo dovuto salvare il file sul disco del nostro computer in formato testuale utilizzando un'estensione di file tipo `.htm` oppure `.html`. Tali file possono essere prodotti da un qualsiasi editor di testi, tipo il Blocco Note di Windows, anche se in generale si preferiscono editor più evoluti come Notepad++ o PSPad, solo per citarne un paio. Tuttavia, il nostro codice HTML, come già detto in precedenza, dovrà essere prodotto in maniera dinamica all'interno del nostro sketch.

Per semplicità di trattazione, cominciamo con il vedere la parte iniziale dello sketch con la funzione `setup()`:

```

#include <SoftwareSerial.h>

const int RX = 2;
const int TX = 3;
const int LED = 13; // Il LED è collegato sul pin 13
SoftwareSerial Esp8266(RX, TX);
void setup()
{
    Serial.begin(9600);

```

```

Esp8266.begin(9600);
//impostiamo il pin LED come output e lo spegniamo
pinMode(LED, OUTPUT);
digitalWrite(LED, LOW);
//settaggio modulo ESP8266
InviaDati("AT+RST\r\n", 2000); // reset del modulo
InviaDati("AT+CWMODE_CUR=2\r\n", 1000); // configurazione modulo come Access Point
InviaDati("AT+CIFSR\r\n", 1000); // stampa indirizzo IP
InviaDati("AT+CIPMUX=1\r\n", 1000); // predisposizione modulo per connessione multipoint
InviaDati("AT+CIPSERVER=1,80\r\n", 1000); // abilitazione server sulla porta 80
Serial.println("Comunicazione inizializzata!");
Serial.println("Il modulo Esp8266 e' in attesa di richieste via web.");
}

```

Come è possibile osservare, la prima parte dello sketch è familiare. Infatti, dopo aver incluso la libreria `SoftwareSerial.h`, definiamo l'oggetto `Esp8266` indicando i soliti terminali RX e TX e definiamo la costante `LED` associata al numero 13. Successivamente impostiamo le velocità di comunicazione per la seriale hardware e quella software e quindi definiamo il pin LED, ovvero 13, come `output`, spegnendolo subito dopo.

In questo sketch, tuttavia, introduciamo una novità di gestione del codice relativa a una specifica funzione, che chiamiamo `InviaDati`, che semplifica appunto l'invio dei dati verso il modulo ESP. Infatti, la funzione prende in input il comando da far eseguire al modulo e il rispettivo tempo di attesa, `timeout`, da utilizzare al fine di consentire il riempimento del buffer, come già visto in precedenza.

```

/* Invio dati al modulo Esp8266 */
void InviaDati(String comando, int timeout)
{
    String risposta = "";

    Esp8266.print(comando); // invio comando verso il modulo ESP8266
    delay(timeout); //attesa per riempire il buffer di risposta
    char c;
    while (Esp8266.available()>0)
    {
        // Il modulo ESP8266 sta inviando dati
        c = Esp8266.read(); // lettura carattere successivo
        risposta+=c;
    }

    //stampa per debug
    Serial.print(risposta);
    return;
}

```

Le funzioni di Arduino sono pressoché identiche a quelle del C puro, se non per il fatto che l'IDE non richiede come indispensabile dichiarare preventivamente il prototipo della funzione. Il primo argomento della funzione è una stringa della classe `String`. Infatti, con Arduino possiamo utilizzare in modo classico le stringhe come array di caratteri, ma volendo è possibile sfruttare la più comoda classe `String` che mette a disposizione, ad esempio, l'operatore `+` di concatenazione. La

nostra funzione, come prima cosa, invia il comando passato come primo argomento al modulo ESP e successivamente attende per il riempimento del buffer di risposta. Successivamente, con il ciclo `while`, preleviamo i caratteri della risposta e li accodiamo nella stringa appositamente creata a tale scopo. Il tutto può essere utile in fase di debug ed eventualmente commentabile in fase di finalizzazione del codice in questione.

Non ci resta ora che analizzare il codice di esecuzione vero e proprio contenuto nella funzione `loop`.

```
void loop()
{
    if(Esp8266.available()>0) // Se il modulo ESP sta inviando dati
    {
        //cerchiamo la stringa "+IPD," dopo della quale ci aspettiamo di leggere
        if(Esp8266.find("+IPD,"))
        {
            delay(1000); // attesa per caricare il buffer seriale

            //Otteniamo l'ID della connessione in modo da poterla successivamente
            //Il valore numerico di tale ID è ottenuto sottraendo 48 al valore leggono
            int connID = Esp8266.read()-48;
            //Se il LED è spento lo accendiamo mentre se è acceso lo spegniamo
            if (digitalRead(LED))
            {
                digitalWrite(LED, LOW); // spegne il LED
            }
            else
            {
                digitalWrite(LED, HIGH); // accende il LED
            }

            //Inizio output
            String strHtml = "";
            strHtml += "<html><head><title>ESP8266 - Controllo LED</title></head>";
            strHtml += "<body><h1>ESP8266 - Controllo LED</h1>";

            String cipSend;
            cipSend = "AT+CIPSEND=";
            cipSend += connID;
            cipSend += ",";
            cipSend += strHtml.length();
            cipSend += "\r\n";
            //inviamo il comando AT+CIPSEND= facendolo seguire da connID
            //e numero di byte da inviare subito di seguito
            InviaDati(cipSend, 1000);
            InviaDati(strHtml, 3000); //invio dati vero e proprio
            if (digitalRead(LED))
            {
                strHtml = "<h2>LED acceso!</h2>";
            }
            else
            {
                strHtml = "<h2>LED spento!</h2>";
            }
        }
    }
}
```

```

        }

        strHtml+= "</body></html>";

        cipSend = "AT+CIPSEND=";
        cipSend += connID;
        cipSend += ",";
        cipSend += strHtml.length();
        cipSend += "\r\n";

        InviaDati(cipSend, 1000);
        InviaDati(strHtml, 2000);

        //Fine output

        //Chiudiamo la connessione
        String cipClose;
        cipClose = "AT+CIPCLOSE=";
        cipClose += connID; // Aggiungo ID della connessione
        cipClose += "\r\n";
        InviaDati(cipClose, 1000); // chiude connessione
    }
}
}
}

```

La prima cosa che verifichiamo, attraverso il controllo `if(Esp8266.available()>0)`, è se il numero di byte che eventualmente sta trasmettendo il modulo è maggiore di zero. In tal caso, effettuiamo un nuovo controllo, `if(Esp8266.find("+IPD,"))`, per verificare se all'interno di questi dati vi sia la stringa `+IPD` che, come abbiamo visto in precedenza, indica l'inizio di una trasmissione, facendo seguire tale stringa da una virgola e dall'ID della connessione. La funzione `find()`, infatti, legge lo stream seriale fino a quando non trova l'argomento a esso passato. Se non lo trova, restituisce `false`, mentre in caso positivo restituisce `true` e quindi si posiziona alla fine della stringa trovata. In tale caso impostiamo un `delay` per dare il tempo per far riempire il buffer. A questo punto possiamo finalmente leggere il numero di connessione passato dopo la stringa `IPD`. Per farlo scriviamo:

```
int connID = Esp8266.read() - 48;
```

dove, banalmente, `Esp8266.read()` legge il byte di nostro interesse. Tuttavia, prima di associarlo alla variabile `connID`, dobbiamo sottrarre da esso il numero 48. Ciò è dovuto al fatto che `read()` legge il valore decimale della posizione nella tavola ASCII relativamente al simbolo in oggetto e quindi, per ottenere il valore di nostro interesse, dobbiamo sottrarre il numero 48 che rappresenta la posizione in cui iniziano i numeri. Infatti, al valore decimale 48 corrisponde il numero zero, al valore decimale 49 il numero uno e così via fino al valore decimale 57 che corrisponde al numero nove.

Arrivati a questo punto gestiamo il nostro semplice attuatore, ovvero il solito LED sul pin 13, verificando se esso sia acceso o meno. In caso risulti acceso lo spegneremo mentre in caso contrario provvederemo ad accenderlo.

Possiamo quindi preparare l'output da restituire al client con il comando `AT+CIPSEND`, per segnalare lo stato in cui abbiamo posto il nostro LED. Per farlo usiamo la classe `String`, dichiarando una variabile che chiamiamo `strHtml` in cui accodiamo il codice HTML che costituirà la pagina web da restituire al nostro client che, essendo con ogni probabilità un browser web, visualizzerà al suo interno il codice in questione in maniera del tutto naturale. Per rendere il codice più pulito utilizziamo una specifica variabile, `cipSend`, per costruire appunto il comando `AT+CIPSEND` con il quale inviare il codice HTML al nostro client. Ovviamente, costruiremo un apposito messaggio di `<h2>LED acceso</h2>` oppure `<h2>LED spento</h2>` a seconda dello stato del LED, verificato con l'istruzione `digitalRead`.

Al comando `AT+CIPSEND=` facciamo seguire l'ID della connessione, una virgola e, sfruttando l'istruzione `strHtml.length`, la lunghezza in byte della stringa di codice HTML che abbiamo appena costruito. Infine, come ultima operazione, provvediamo a chiudere la connessione con il client.



Figura 28.31 – La pagina web restituita dal modulo ESP-01 ESP8266.

È importante sottolineare, infine, come i comandi utilizzati finora siano solo una parte di quelli disponibili per il nostro modulo ESP8266. Infatti, sul sito di riferimento dell'azienda Espressif, espressif.com, è possibile scaricare il manuale in formato PDF dal titolo “ESP8266 AT Instruction Set”, ovvero la documentazione completa dell'intero insieme di comandi AT che è possibile utilizzare con il modulo in questione. Per ottenere tale documento, insieme ad altra documentazione tecnica relativa al modulo, è possibile utilizzare la funzionalità **Search** presente sul portale utilizzando come chiave di ricerca il nome ESP8266.

Hardware libero e sperimentazione

Le osservazioni e le relative sperimentazioni che abbiamo realizzato in questo capitolo non possono, ovviamente, essere minimamente esaustive di un contesto talmente vasto come quello del physical computing e del mondo dell'Internet delle cose. Molti degli approcci utilizzati rappresentano, infatti, solo una delle possibili scelte in merito a un tipo di collegamento piuttosto che a una scelta di componenti o adattatori. Su questi presupposti, tuttavia, si possono fondare le basi per futuri studi e approfondimenti sempre guidati dalla passione per la scoperta di nuove possibili applicazioni pratiche. Fortunatamente viviamo un momento di estrema condivisione, non solo del contesto open source e quindi relativo al software, ma anche, forse più inaspettatamente, rispetto alla divulgazione libera di schemi e dettagli progettuali delle apparecchiature elettroniche. Tale condivisione, che prende il nome di **hardware libero** o, nella dizione inglese, **open source hardware** o, più semplicemente **open hardware**, rappresenta un incredibile volano per la diffusione di una cultura tecnico-scientifica che non sia limitata a una ristretta cerchia di appassionati ma che sia, per quanto possibile, di massa.