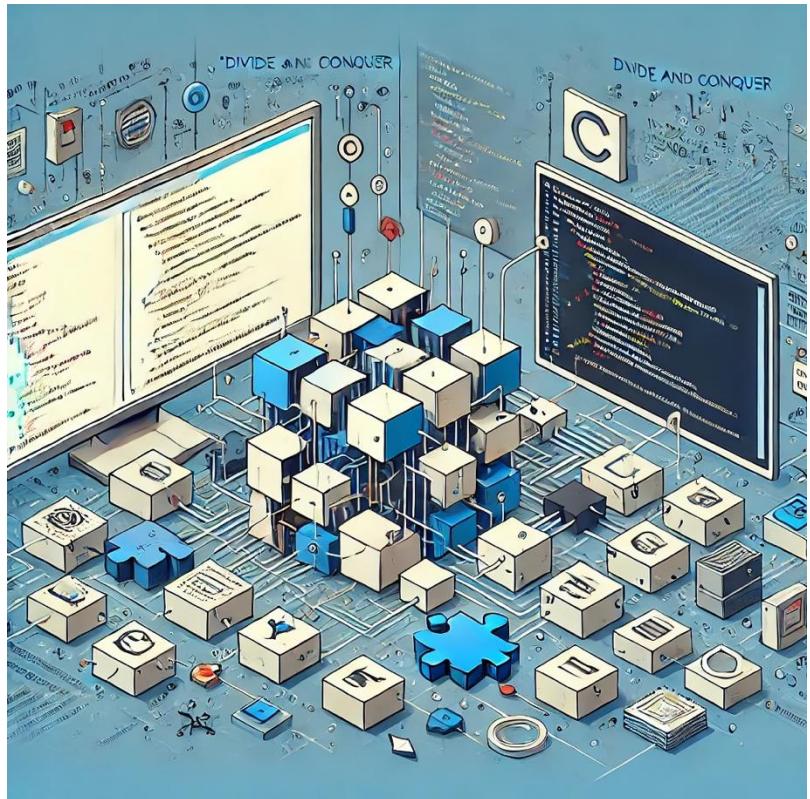


Le funzioni

Introduzione alle funzioni

- I programmi reali sono spesso molto più grandi di quelli introdotti inizialmente
- È importante sviluppare e mantenere programmi di grandi dimensioni in modo efficiente
- Strategia efficace: "**dividi et impera**":
 - Suddividere il programma in elementi più piccoli e gestibili



Fonte: ChatGPT

Modularizzare i programmi in C

- Utilizzo delle funzioni per creare programmi modulari
- Combinazione di nuove funzioni con quelle della **Libreria Standard del C**
 - Calcoli matematici
 - Manipolazioni di stringhe e caratteri
 - Input/Output e altre operazioni comuni
- Funzioni predefinite facilitano lo sviluppo, fornendo capacità necessarie preconfezionate
- Funzioni come `printf`, `scanf` e `pow` fanno parte della Libreria Standard.
- Alcune parti della Libreria sono **opzionali** e potrebbero non essere disponibili in tutti i compilatori

Riutilizzo del codice

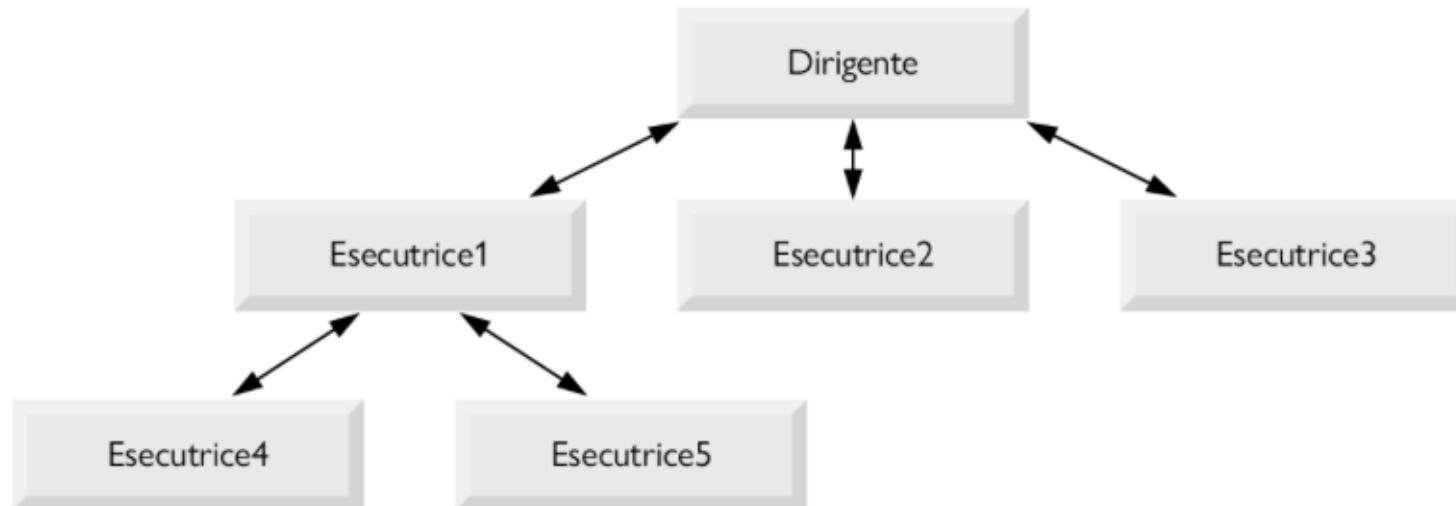
- Evitate di "**reinventare la ruota**"
- Familiarizzare con la Libreria Standard per ridurre i tempi di sviluppo
- Usate le funzioni standard quando possibile:
 - Sono scritte da esperti, ben testate, efficienti e migliorano la portabilità dei programmi
- È possibile definire funzioni per eseguire compiti specifici che possono essere utilizzate in più punti di un programma
- Le istruzioni che definiscono la funzione vengono scritte una volta e sono nascoste alle altre funzioni
- Tale occultamento è fondamentale per una buona ingegneria del software

Chiamata di funzioni

- Una funzione è invocata tramite una **chiamata di funzione**
- La chiamata specifica il **nome** della funzione e fornisce gli **argomenti** necessari per eseguire il compito
- La funzione **chiamante** (dirigente) richiede a una funzione **chiamata** (esecutrice) di svolgere un compito
- La funzione esecutrice esegue il compito e ritorna alla funzione chiamante al completamento
 - Esempio: `int printf(const char *format, ...)`
- La funzione chiamante non conosce i dettagli di come la funzione esecutrice esegue il compito

Gerarchia del codice

- Le funzioni esecutrici possono a loro volta chiamare altre funzioni
- La funzione dirigente può rimanere ignara delle chiamate effettuate dalle funzioni esecutrici
- Un diagramma può mostrare la comunicazione gerarchica tra una funzione dirigente e diverse funzioni esecutrici



Fonte: Deitel & Deitel

Libreria math.h

- Permette di eseguire calcoli matematici comuni
- Esempio: Calcolo e stampa della radice quadrata di 900.0

```
printf("%.2f", sqrt(900.0)); // Stampa "30.00"
```

- La funzione `sqrt` riceve un argomento di tipo `double` e restituisce un risultato di tipo `double`
- Tutte le funzioni della libreria `math` che restituiscono valori in virgola mobile restituiscono `double`
- I valori `double` possono essere stampati con la specifica di conversione `%f`

Risultati e argomenti

- Il risultato di una funzione può essere memorizzato in una variabile:

```
double result = sqrt(900.0);
```

- **Argomenti** delle funzioni:
 - Possono essere costanti, variabili o espressioni
 - Esempio con espressione:

```
double c = 13.0, d = 3.0, f = 4.0;  
printf("%.2f", sqrt(c + d * f)); // Stampa "5.00"
```

Libreria math.h

Funzione	Descrizione	Esempio
<code>sqrt(x)</code>	radice quadrata di x	<code>sqrt(900.0)</code> è uguale a <code>30.0</code> <code>sqrt(9.0)</code> è uguale a <code>3.0</code>
<code>cbrt(x)</code>	radice cubica di x (solo per il C99 e il C11)	<code>cbrt(27.0)</code> è uguale a <code>3.0</code> <code>cbrt(-8.0)</code> è uguale a <code>-2.0</code>
<code>exp(x)</code>	funzione esponenziale e^x	<code>exp(1.0)</code> è uguale a <code>2.718282</code> <code>exp(2.0)</code> è uguale a <code>7.389056</code>
<code>log(x)</code>	logaritmo naturale di x (in base e)	<code>log(2.718282)</code> è uguale a <code>1.0</code> <code>log(7.389056)</code> è uguale a <code>2.0</code>
<code>log10(x)</code>	logaritmo di x (in base 10)	<code>log10(1.0)</code> è uguale a <code>0.0</code> <code>log10(10.0)</code> è uguale a <code>1.0</code> <code>log10(100.0)</code> è uguale a <code>2.0</code>
<code>fabs(x)</code>	valore assoluto di x come numero in virgola mobile	<code>fabs(13.5)</code> è uguale a <code>13.5</code> <code>fabs(0.0)</code> è uguale a <code>0.0</code> <code>fabs(-13.5)</code> è uguale a <code>13.5</code>

Libreria math.h

<code>ceil(x)</code>	arrotonda x all'intero più piccolo non minore di x	<code>ceil(9.2)</code> è uguale a <code>10.0</code> <code>ceil(-9.8)</code> è uguale a <code>-9.0</code>
<code>floor(x)</code>	arrotonda x all'intero più grande non maggiore di x	<code>floor(9.2)</code> è uguale a <code>9.0</code> <code>floor(-9.8)</code> è uguale a <code>-10.0</code>
<code>pow(x, y)</code>	x elevato alla potenza y (x^y)	<code>pow(2, 7)</code> è uguale a <code>128.0</code> <code>pow(9, .5)</code> è uguale a <code>3.0</code>
<code>fmod(x, y)</code>	resto di x/y come numero in virgola mobile	<code>fmod(13.657, 2.333)</code> è uguale a <code>1.992</code>
<code>sin(x)</code>	funzione trigonometrica seno di x (x in radianti)	<code>sin(0.0)</code> è uguale a <code>0.0</code>
<code>cos(x)</code>	funzione trigonometrica coseno di x (x in radianti)	<code>cos(0.0)</code> è uguale a <code>1.0</code>
<code>tan(x)</code>	funzione trigonometrica tangente di x (x in radianti)	<code>tan(0.0)</code> è uguale a <code>0.0</code>

Fonte: Deitel & Deitel

Funzioni in C

- Le funzioni permettono di suddividere un programma in **moduli** più gestibili
- Nei programmi complessi, la funzione `main` è spesso composta da una serie di chiamate a funzioni
- Queste funzioni chiamate eseguono la maggior parte del lavoro del programma

Perché «funzionalizzare» un programma?

- **Divide et impera (Dividi e Conquista):** Semplifica lo sviluppo del programma suddividendolo in parti più gestibili
- **Riutilizzo del software:**
 - Creazione di nuovi programmi utilizzando funzioni esistenti.
 - Concetto chiave nei linguaggi orientati agli oggetti derivati dal C (C++, Java).
- **Astrazione:**
 - Uso di funzioni standard per compiti specifici (Esempio: `printf`, `scanf`, `pow`)

Perché «funzionalizzare» un programma?

- **Evitare la ripetizione del codice:**
 - Racchiudere il codice in funzioni permette di richiamarlo in diversi punti del programma
- **Buone pratiche per le funzioni:**
 - Ogni funzione dovrebbe eseguire *un unico compito* ben definito
 - Il *nome* della funzione deve riflettere chiaramente il compito svolto
 - Se una funzione svolge troppi compiti, suddividerla in funzioni più piccole (*scomposizione*)

Funzione square

```
1 // fig05_01.c
2 // Creazione e uso di una funzione.
3 #include <stdio.h>
4
5 int square( int number); // prototipo di funzione
6
7 int main(void) {
8     // ripeti 10 volte e ogni volta calcola e stampa il quadrato di x
9     for (int x = 1; x <= 10; ++x) {
10         printf("%d ", square(x)); // chiamata della funzione
11     }
12     puts("");
13
14     // la definizione di square restituisce il quadrato del suo parametro
15     int square( int number) { // number e' una copia dell'argomento della funzione
16         return number * number; // restituisce il quadrato di number come valore int
17     }
18 }
```

```
1 4 9 16 25 36 49 64 81 100
```

Funzione square

```
int main(void) {
    // ripeti 10 volte e ogni volta calcola e stampa il quadrato di x
    for (int x = 1; x <= 10; ++x) {
        printf("%d ", square(x)); // chiamata della funzione
    }
}
```

- La funzione `square` è chiamata nella funzione `main` all'interno di `printf`
- Riceve una copia del valore dell'argomento `x` nel parametro `number`
- Calcola `number * number` e restituisce il risultato
- Il risultato è passato a `printf`, che lo stampa sullo schermo.
- L'intero processo è ripetuto 10 volte tramite un ciclo `for`

Chiamata di funzione square

```
// la definizione di square restituisce il quadrato del suo parametro
int square( int number) { // number e' una copia dell'argomento della funzione
    return number * number; // restituisce il quadrato di number come valore int
}
```

- Accetta un parametro **intero** chiamato number
- La parola chiave int indica che la funzione restituisce un valore intero
- L'istruzione return restituisce il quadrato di number (ossia number * number)

Definire una funzione

- Scegliere nomi chiari per funzioni e parametri
- Migliora la leggibilità del codice e riduce la necessità di commenti esplicativi
- Scrivi programmi come collezioni di piccole funzioni (modularità)
 - Facilita la scrittura, il debugging, la manutenzione, la modifica e il riutilizzo del codice

Definire una funzione

- Funzioni con molti parametri possono essere troppo complesse
- Meglio suddividere funzioni grandi in più funzioni più piccole e specializzate
- Dichiarazione del tipo di ritorno, nome e lista dei parametri dovrebbe essere su una singola riga, se possibile, per mantenere il codice chiaro e compatto

Quiz



Variabili e parametri

- Le variabili definite all'interno di una funzione sono **variabili locali**
- Vi si può accedere solo all'interno della funzione in cui sono state dichiarate
- Le funzioni utilizzano **parametri** per ricevere dati
- Gli **argomenti** passati durante la chiamata della funzione permettono la comunicazione tra le funzioni
- I parametri di una funzione sono considerati **variabili locali** della funzione stessa
 - Sono visibili e utilizzabili solo all'interno della funzione in cui sono definiti

Parametri e argomenti

- I parametri sono le variabili definite nella dichiarazione di una funzione o metodo
- Servono come "posti riservati" per i dati che la funzione utilizzerà.
 - I parametri sono specificati nella **dichiarazione** e **definizione** della funzione
 - Rappresentano le **specifiche** di cosa una funzione si aspetta di ricevere quando viene chiamata
- Gli argomenti sono i valori **effettivi** che vengono passati alla funzione quando la chiamata viene effettuata.
 - Gli argomenti sono forniti durante la **chiamata** della funzione
 - Rappresentano i dati concreti che verranno utilizzati dalla funzione

Parametri e argomenti

```
// la definizione di square restituisce il quadrato del suo parametro
int square( int number) { // number e' una copia dell'argomento della funzione
    return number * number; // restituisce il quadrato di number come valore int
}
```

...

```
int main(void) {
    // ripeti 10 volte e ogni volta calcola e stampa il quadrato di x
    for (int x = 1; x <= 10; ++x) {
        printf("%d ", square(x)); // chiamata della funzione
    }
}
```

- Parametro: variabile **int** di nome **number**
- Argomento: variabile **x**

Prototipo di una funzione

```
int square(int number);
```

- Il prototipo informa il compilatore sui dettagli della funzione:
 - int prima del nome indica il tipo di valore restituito dalla funzione
 - int dentro le parentesi indica che la funzione accetta un parametro di tipo intero
- Il punto e virgola alla fine di un prototipo di funzione è obbligatorio
 - **Dimenticarlo** è considerato un errore di sintassi
- Il compilatore confronta la chiamata della funzione con il suo prototipo per garantire:
 - **Numero di argomenti** corretto
 - **Tipi degli argomenti** corretti
 - **Ordine degli argomenti** corretto
 - **Tipo di ritorno** coerente con l'uso previsto

Coerenza tra prototipo e definizione

- Il prototipo della funzione, la definizione e le chiamate devono:
 - Concordare nel **numero**, **tipo** e **ordine** degli argomenti e dei parametri
 - Avere lo stesso **tipo di ritorno**
- Il tipo di ritorno influisce sull'uso della funzione:
 - Funzioni con tipo di ritorno **void** non possono essere usate per **assegnazioni**:
 - Esempio:

```
// Definizione della funzione di tipo void
void printSum(int a, int b) {
    // Calcolo della somma e stampa del risultato
    int sum = a + b;
    printf("La somma di %d e %d è %d\n", a, b, sum);
}
```

Formato definizione di una funzione

```
tipo-del-valore-di-ritorno1 nome-della-  
funzione2(lista-dei-parametri3) {  
    istruzioni  
}
```

¹ Tipo del valore di ritorno: Indica il tipo del valore che la funzione restituisce

² Nome della funzione: Qualsiasi identificatore valido che rappresenta la funzione

³ Lista dei parametri: Elenco dei parametri che la funzione accetta, separati da virgole. Se non ci sono parametri, usa void nella lista dei parametri

Parametri e tipo di ritorno

- Ogni parametro deve specificare il suo tipo. Mancare di farlo porta a **errori di compilazione**
- La dichiarazione di `void` nella lista dei parametri indica che la funzione non accetta parametri
- **Errori comuni:**
 - **Punto e virgola errato:** Non inserire un punto e virgola dopo la parentesi destra che chiude la lista dei parametri nella definizione della funzione
 - **Nomi ambigui:** Evitare di usare lo stesso nome per variabili locali e per i parametri della funzione per evitare ambiguità

Corpo della funzione

- Le istruzioni racchiuse tra parentesi graffe {} formano il **corpo della funzione** (anche chiamato blocco).
- **Variabili locali** possono essere dichiarate all'interno di qualsiasi blocco e i blocchi possono essere **annidati**
- Le **funzioni non possono essere annidate**: non è permesso definire una funzione all'interno di un'altra funzione (*errore di sintassi*)

Restituzione del controllo da una funzione

- Il controllo viene restituito quando si raggiunge la parentesi graffa che termina la funzione, oppure con l'istruzione `return`
- La funzione può restituire il controllo con o senza valore di ritorno
- Funzione `main`
 - **Valore di ritorno:** `int` indica lo stato di esecuzione del programma
 - **Valore di successo:** `return 0;`
(0 solitamente indica che il programma è stato eseguito correttamente)
- **Comportamento standard:** Il C standard imposta che `main` restituisca implicitamente 0 se non viene specificata una istruzione `return`
- **Valori di errore:** È possibile restituire valori diversi da zero per segnalare problemi durante l'esecuzione

Esempio: funzione massimo

```
1 // fig05_02.c
2 // Trovare il maggiore di tre interi.
3 #include <stdio.h>
4
5 int maximum( int x, int y, int z); // prototipo di funzione
6
7 int main(void) {
8     int number1 = 0; // primo intero inserito dall'utente
9     int number2 = 0; // secondo intero inserito dall'utente
10    int number3 = 0; // terzo intero inserito dall'utente
11
12    printf("%s", "Enter three integers: ");
13    scanf("%d%d%d", &number1, &number2, &number3);
14
15    // number1, number2 e number3 sono argomenti
16    // nella chiamata della funzione maximum
17    printf("Maximum is: %d\n", maximum(number1, number2, number3));
18 }
19
20 // Definizione della funzione maximum
21 int maximum( int x, int y, int z) {
22     int max = x; // supponi che x sia il maggiore
23
24     if (y > max) { // se y e' piu' grande di max,
25         max = y; // assegna y a max
26     }
27
28     if (z > max) { // se z e' piu' grande di max,
29         max = z; // assegna z a max
30     }
31
32     return max; // max e' il valore piu' grande
33 }
```

```
Enter three integers: 22 85 17
Maximum is: 85
```

```
Enter three integers: 47 32 14
Maximum is: 47
```

```
Enter three integers: 35 8 79
Maximum is: 79
```

Prototipi di funzione

- Il prototipo di funzione è una caratteristica fondamentale del C, **presa in prestito dal C++**
- I prototipi aiutano il compilatore a verificare la correttezza delle chiamate alle funzioni
- Le versioni precedenti del C non eseguivano controlli sui prototipi
- Le chiamate alle funzioni potevano essere fatte in modo **improprio** senza che il compilatore segnalasse errori
- Questo poteva causare errori critici o problemi difficili da rilevare durante l'esecuzione.
- I prototipi di funzione correggono queste carenze e **migliorano la sicurezza del codice.**
- È importante includere i prototipi per tutte le funzioni per sfruttare il controllo dei tipi del C
 - Utilizzare la direttiva #include per inserire prototipi da file di intestazione della Libreria Standard, librerie di terze parti, o intestazioni personalizzate

Prototipi di funzione

```
int maximum(int x, int y, int z);
```

- La funzione maximum riceve tre argomenti di tipo int e restituisce un valore di tipo int
- I nomi dei parametri nel prototipo sono per **documentazione**
- Il compilatore ignora i nomi dei parametri. Ad esempio, anche il seguente prototipo è valido:

```
int maximum(int , int , int);
```

Errori di compilazione

- Una chiamata a una funzione che non corrisponde al prototipo della funzione genera un errore di compilazione
- Un errore di compilazione si verifica anche se ci sono discrepanze tra il prototipo e la definizione della funzione

- **Esempio di errore:**

- Prototipo:

```
void maximum(int x, int y, int z);
```

- Definizione:

```
int maximum(int x, int y, int z) {  
    // istruzioni  
}
```

- I compilatori genererebbero un errore poiché il tipo di ritorno void nel prototipo è diverso dal tipo di ritorno int nella definizione

Coercizione degli argomenti

- La coercione degli argomenti è la **conversione implicita** degli argomenti al tipo appropriato definito nel prototipo della funzione
- La funzione `sqrt` della libreria `math` accetta un parametro di tipo `double`, ma può essere chiamata con un argomento di tipo `int`
- Il compilatore converte **automaticamente** l'argomento `int` in `double`
 - Esempio: `printf("%.3f\n", sqrt(4));`
 - Stampa 2.000 perché `sqrt(4)` converte 4 da `int` a `double` (4.0) e calcola la radice quadrata correttamente

Regole di conversione aritmetica

- Le conversioni implicite devono seguire le **normali regole di conversione aritmetica** del C, che determinano come i valori possono essere convertiti tra tipi **senza perdita di dati**
- Conversione da int a double: non causa perdita di dati perché double può rappresentare un intervallo di valori molto più grande di int
- Conversione da double a int: la parte frazionaria del double viene troncata, modificando il valore originale

Espressioni con tipi misti

- Le regole di conversione aritmetica sono gestite dal **compilatore** e si applicano a espressioni con tipi misti, ovvero espressioni che contengono valori di più tipi di dati
- Il compilatore crea *copie temporanee* dei valori da convertire e li converte al tipo di dato "più alto" nell'espressione, processo noto come **promozione**
- **Espressioni con tipi misti e valori in virgola mobile:**
 - long double: gli altri valori vengono convertiti in long double
 - double: gli altri valori vengono convertiti in double
 - float: gli altri valori vengono convertiti in float
- **Espressioni con solo tipi interi**
 - Se l'espressione contiene solo tipi interi, le normali regole di conversione aritmetica stabiliscono un insieme di regole di **promozione intera**

Specifiche di conversione per `printf` e `scanf` (tipi in virgola mobile)

Tipo di dati	Specifiche di conversione per <code>printf</code>	Specifiche di conversione per <code>scanf</code>
<i>Tipi in virgola mobile</i>		
<code>long double</code>	<code>%Lf</code>	<code>%Lf</code>
<code>double</code>	<code>%f</code>	<code>%lf</code>
<code>float</code>	<code>%f</code>	<code>%f</code>

Fonte: Deitel & Deitel

Specifiche di conversione per printf e scanf (tipi interi)

Tipi interi

unsigned long long int	%llu	%llu
------------------------	------	------

long long int	%lld	%lld
---------------	------	------

unsigned long int	%lu	%lu
-------------------	-----	-----

long int	%ld	%ld
----------	-----	-----

unsigned int	%u	%u
--------------	----	----

int	%d	%d
-----	----	----

unsigned short	%hu	%hu
----------------	-----	-----

short	%hd	%hd
-------	-----	-----

char	%c	%c
------	----	----

Conversioni tra tipi di dati

- È possibile convertire un valore in un tipo più basso solo tramite:
 - assegnazione esplicita a una variabile di tipo più basso
 - utilizzo di un operatore di cast
- Esempio:
 - se passiamo un double alla funzione square che accetta un int, il double viene convertito in int, portando a risultati non corretti
 - square (4.5) restituisce 16 invece di 20.25
- Convertire da un tipo di dato **più alto a uno più basso** può cambiare il valore dei dati
- Molti compilatori emettono **avvisi** quando si verificano queste conversioni

Nota sui prototipi di funzione

- Se non è presente un prototipo per una funzione, il compilatore **crea** un prototipo basato sulla prima occorrenza della funzione (definizione o chiamata).
 - questo può generare avvisi o errori a seconda del compilatore.
- Includete sempre i prototipi per le funzioni definite o usate nel programma per prevenire errori e avvisi in fase di compilazione
- Un prototipo di funzione posto al di fuori della definizione di qualsiasi altra funzione è valido per tutte le chiamate alla funzione che seguono il prototipo
- Un prototipo posto all'interno del corpo di una funzione è valido solo per le chiamate a quella funzione fatte dopo il prototipo

Intervallo



Fonte: PlaygroundAI

Pila delle chiamate delle funzioni

- Il C esegue le chiamate di funzione usando il concetto di pila
- Una pila è una struttura di dati che segue il principio **Last-In, First-Out (LIFO)**
 - l'ultimo elemento inserito è il primo a essere rimosso.
- Operazioni Fondamentali:
 - **push**: aggiungere un elemento in cima alla pila.
 - **pop**: rimuovere l'elemento in cima alla pila.



Fonte: Wikipedia

Pila delle chiamate delle funzioni

- La pila delle chiamate delle funzioni (o **pila di esecuzione del programma**) gestisce le chiamate e i ritorni delle funzioni
- Supporta anche la creazione, il mantenimento e la distruzione delle variabili locali delle funzioni chiamate
- **Chiamata di funzione:**
 - Quando una funzione viene chiamata, i dati relativi alla chiamata (come gli argomenti e il punto di ritorno) vengono inseriti nella cima della pila
- **Ritorno dalla funzione:**
 - Quando una funzione termina, i dati relativi alla chiamata vengono rimossi dalla cima della pila e il controllo ritorna alla funzione chiamante

Record di attivazione

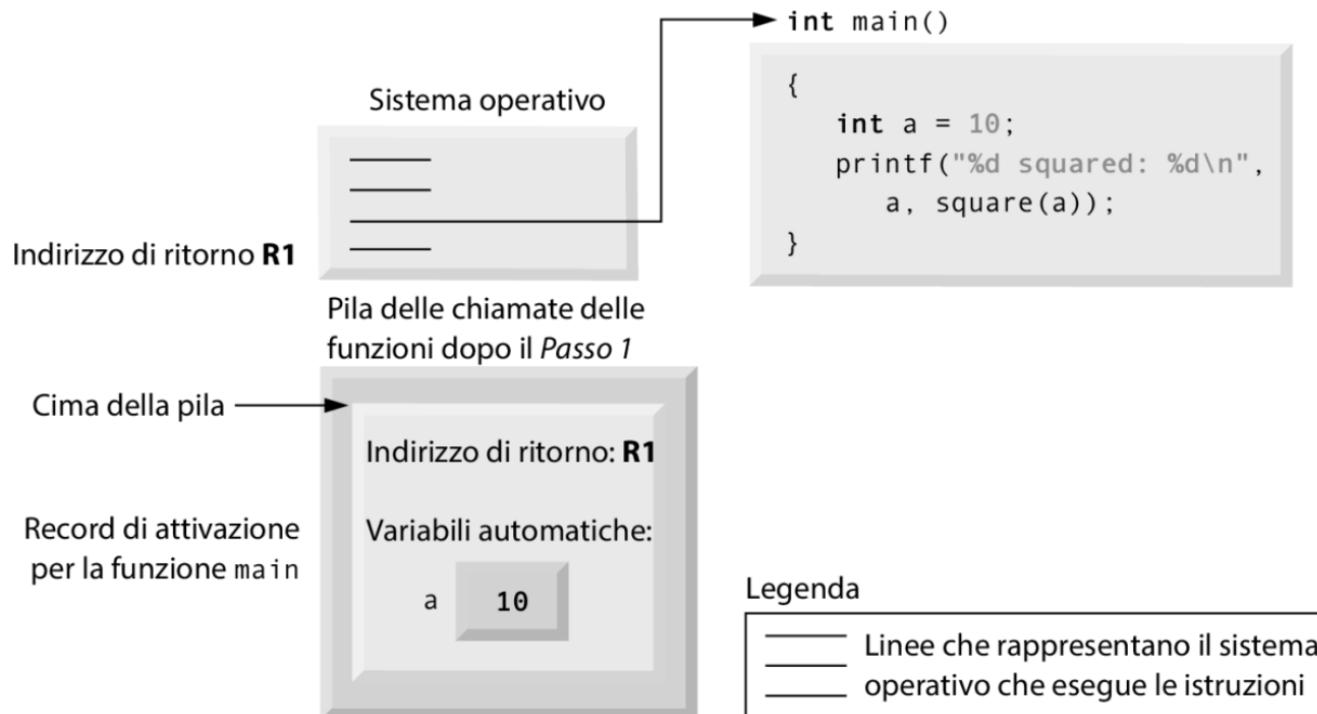
- Una funzione può chiamare altre funzioni, e queste possono a loro volta chiamare ulteriori funzioni
- Tutte le chiamate devono essere gestite prima che la funzione ritorni alla sua funzione chiamante
- La pila delle chiamate tiene traccia degli **indirizzi di ritorno** necessari per le funzioni per tornare alla funzione che le ha chiamate
- Ogni volta che una funzione chiama un'altra funzione, viene inserito un nuovo elemento nella cima della pila, chiamato **record di attivazione**
- Questo record contiene:
 - L'indirizzo di ritorno per tornare alla funzione chiamante
 - Altre informazioni aggiuntive, come gli argomenti passati e le variabili locali

Gestione della memoria

- La memoria disponibile in un computer è finita
- Solo una certa quantità di memoria può essere utilizzata per memorizzare i record di attivazione nella pila delle chiamate delle funzioni
- Se il numero di chiamate di funzioni supera la capacità della pila delle chiamate, si verifica un errore noto come **stack overflow**
- Questo errore avviene quando non c'è più spazio nella pila per memorizzare nuovi record di attivazione
- Il nome **stackoverflow.com** di un popolare sito web per la programmazione deriva da questo concetto

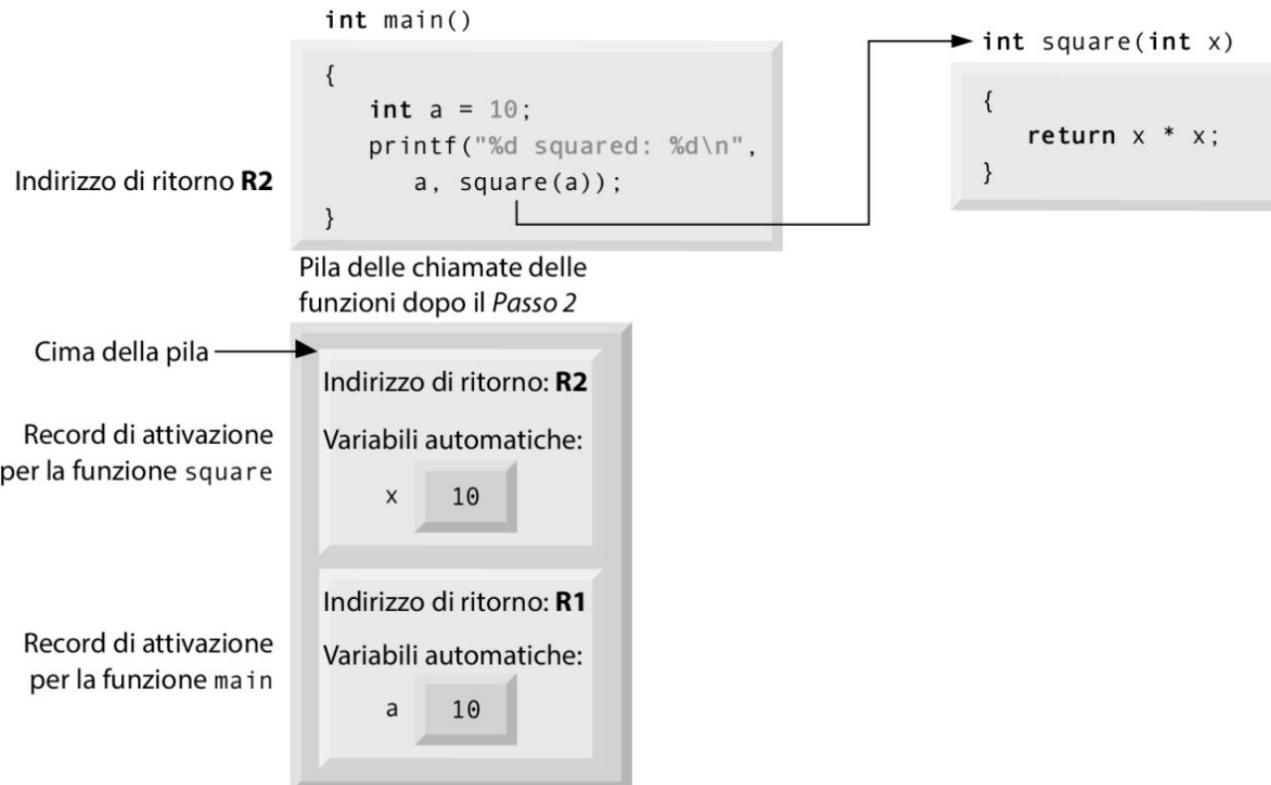
Esempio: funzione square

- Passo 1: il sistema operativo invoca il main per eseguire l'applicazione



Esempio: funzione square

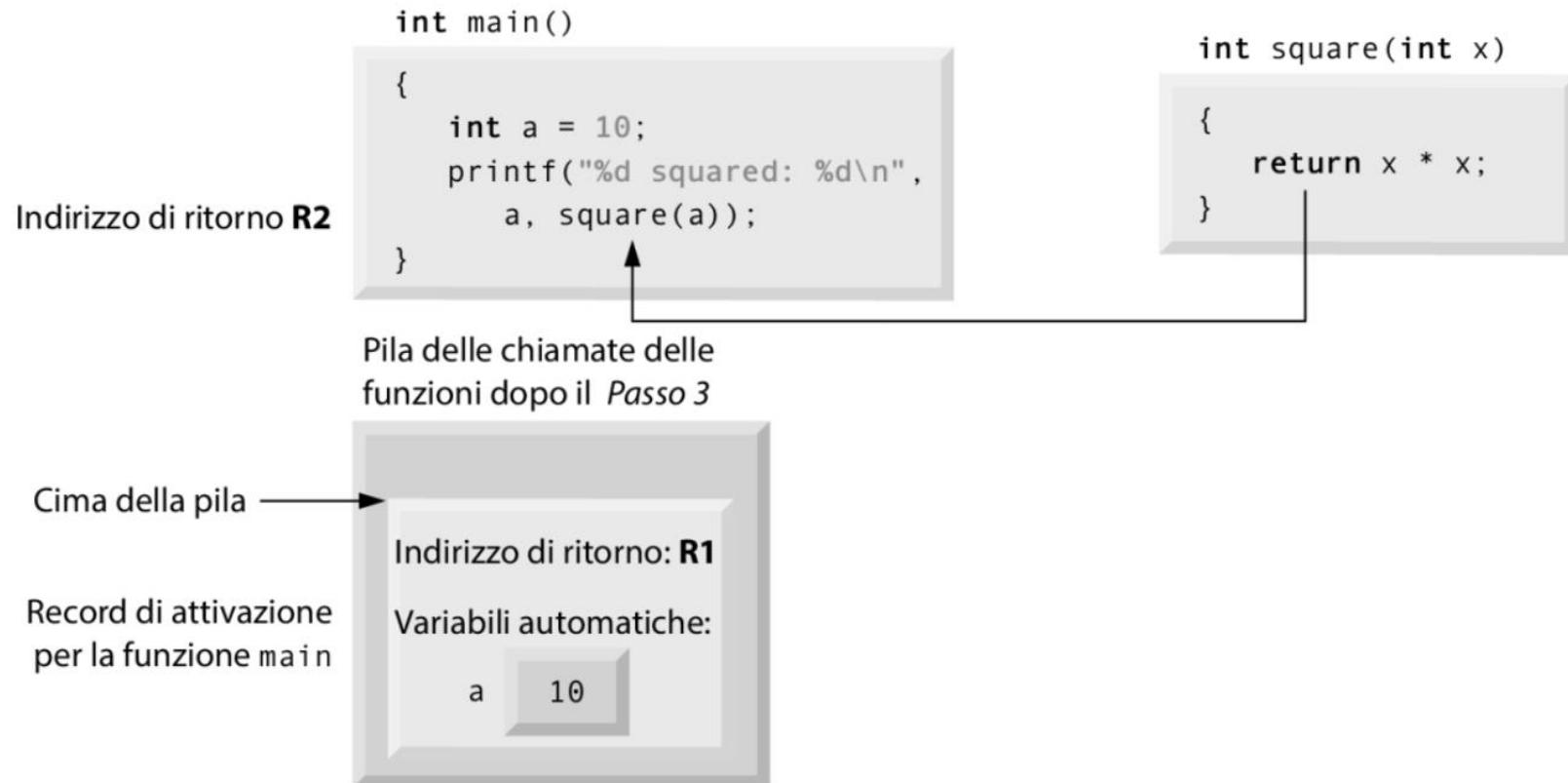
- Passo 2: main invoca la funzione square per eseguire il calcolo



Fonte: Deitel & Deitel

Esempio: funzione square

- Passo 3: square restituisce il suo risultato a main



Fonte: Deitel & Deitel

Ordine di esecuzione

- Anche `printf` è una funzione, ma gli argomenti devono essere noti prima dell'esecuzione
- Potreste essere propensi a dire che `printf` chiami `square`
- **In realtà:**
 1. Il sistema operativo chiama `main`, quindi il record di attivazione di `main` viene inserito con un `push` in cima alla pila
 2. `main` chiama `square`, quindi il record di attivazione di `square` viene inserito con un `push` in cima alla pila
 3. `square` esegue il calcolo e restituisce a `main` un valore da usare nella lista di argomenti di `printf`, quindi il record di attivazione di `square` viene rimosso dalla pila con un `pop`
 4. `main` chiama `printf`, quindi il record di attivazione di `printf` viene inserito con un `push` in cima alla pila
 5. `printf` stampa i suoi argomenti, poi restituisce il suo risultato a `main`, quindi il record di attivazione di `printf` viene rimosso dalla pila con un `pop`
 6. `main` termina, quindi il record di attivazione di `main` viene rimosso dalla pila con un `pop`

File di intestazione (header)

- Ogni libreria standard ha un file di intestazione corrispondente
- **Prototipi** di funzioni per tutte le funzioni della libreria
- **Definizioni** di vari tipi di dati e costanti necessari per le funzioni

<code><assert.h></code>	Contiene informazioni per aggiungere istruzioni di diagnostica che agevolano il debugging (ricerca di errori e correzione) dei programmi.
<code><ctype.h></code>	Contiene prototipi di funzioni per le funzioni che verificano certe proprietà dei caratteri e per le funzioni che si possono usare per convertire lettere minuscole in lettere maiuscole e viceversa.
<code><float.h></code>	Contiene i limiti per i valori in virgola mobile del sistema.
<code><limits.h></code>	Contiene i limiti per i valori interi del sistema.
<code><math.h></code>	Contiene i prototipi di funzioni per le funzioni della libreria math.
<code><signal.h></code>	Contiene i prototipi di funzioni e le macro per gestire varie situazioni che possono insorgere durante l'esecuzione di un programma.
<code><stdarg.h></code>	Definisce le macro per trattare liste di argomenti per una funzione, il cui numero e i cui tipi non sono noti a priori.
<code><stdio.h></code>	Contiene i prototipi di funzioni per le funzioni della libreria standard di input/output, nonché le informazioni usate da queste.
<code><stdlib.h></code>	Contiene i prototipi di funzioni per convertire numeri in testo e testo in numeri, per allocare memoria, per trattare numeri casuali e per altre funzioni di utilità.
<code><string.h></code>	Contiene i prototipi di funzioni per le funzioni di elaborazione di stringhe.
<code><time.h></code>	Contiene i prototipi di funzioni e i tipi per manipolare il tempo e le date.

Argomenti per valore e riferimento

- **Passaggio per Valore:**

- Una **copia** del valore dell'argomento viene passata alla funzione chiamata
- Le **modifiche** alla copia non influenzano il valore originale nella funzione chiamante
- **Usato quando:** La funzione chiamata non ha bisogno di modificare il valore originale
- **Vantaggio:** Evita effetti secondari, migliorando la correttezza e l'affidabilità del software

Argomenti per valore e riferimento

- **Passaggio per Riferimento:**
 - La funzione chiamante consente alla funzione chiamata di **modificare** il valore originale della variabile
 - **Usato quando:** La funzione chiamata deve effettivamente modificare la variabile originale
 - **Precauzione:** Utilizzare solo con funzioni affidabili per evitare modifiche indesiderate

Quiz



Generazione di numeri casuali

```
int value = rand();
```

- Genera un numero intero casuale tra 0 e RAND_MAX
 - costante definita nel file di intestazione <stdlib.h>
- Deve essere almeno 32.767 (massimo valore per un intero di due byte, cioè 16 bit).
 - 32.767 in Visual C++ di Microsoft.
 - 2.147.483.647 in gcc di GNU e Clang di Xcode
- Se la funzione è davvero casuale, ogni numero tra 0 e RAND_MAX ha un'uguale probabilità di essere generato

Lanciare un dado a 6 facce

```
1 // fig05_04.c
2 // Interi casuali con spostamento e variazione di scala prodotti da 1 + rand() % 6.
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5
6 int main(void) {
7
8     for (int i = 1; i <= 10; ++i) {
9         printf("%d ", 1 + (rand() % 6)); // stampa valore del dado casuale
10    }
11
12 }
```

```
6 6 5 5 6 5 1 1 5 3
```

Fonte: Deitel & Deitel

- Utilizzando l'operatore resto effettuiamo una **variazione di scala**
- Il numero 6 è noto come **fattore di scala**
- L'output conferma che i risultati stanno nell'intervallo da 1 a 6 (l'ordine nel quale questi valori casuali sono scelti può variare in base al compilatore)

Lanciare un dado a 6 facce (60 M volte)

```
1 // fig05_05.c
2 // Lancio di un dado a sei facce 60.000.000 di volte.
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5
6 int main(void) {
7     int frequency1 = 0; // contatore per il valore 1
8     int frequency2 = 0; // contatore per il valore 2
9     int frequency3 = 0; // contatore per il valore 3
10    int frequency4 = 0; // contatore per il valore 4
11    int frequency5 = 0; // contatore per il valore 5
12    int frequency6 = 0; // contatore per il valore 6
13
14    // ripeti 60.000.000 di volte e riepiloga i risultati
15    for (int roll = 1; roll <= 60000000; ++roll) {
16        int face = 1 + rand() % 6; // numero casuale da 1 a 6
17
18        // determina il valore di face e incrementa il contatore appropriato
19        switch (face) {
20            case 1: // valore 1
21                ++frequency1;
22                break;
23            case 2: // valore 2
24                ++frequency2;
25                break;
26            case 3: // valore 3
27                ++frequency3;
28                break;
29            case 4: // valore 4
30                ++frequency4;
31                break;
32            case 5: // valore 5
33                ++frequency5;
34                break;
35            case 6: // valore 6
36                ++frequency6;
37                break; // opzionale
38        }
39
40        // stampa i risultati in formato tabellare
41        printf("%s%13s\n", "Face", "Frequency");
42        printf("    1%13d\n", frequency1);
43        printf("    2%13d\n", frequency2);
44        printf("    3%13d\n", frequency3);
45        printf("    4%13d\n", frequency4);
46        printf("    5%13d\n", frequency5);
47        printf("    6%13d\n", frequency6);
48    }
49}
```

Face	Frequency
1	9999294
2	10002929
3	9995360
4	10000409
5	10005206
6	9996802

- Con gli **array** scriveremo l'equivalente dello `switch` in una singola riga!



Randomizzazione del generatore di numeri casuali

- Una nuova esecuzione del programma precedente produce **sempre** la stessa sequenza di numeri
- Questa ripetibilità può sembrare contraddittoria con il concetto di "casualità", ma è una caratteristica voluta della funzione `rand`
- La ripetizione dei numeri è utile durante il **debugging**, poiché permette di testare e verificare in modo coerente le correzioni apportate al programma
- La funzione `rand` genera numeri "**pseudocasuali**": una sequenza di numeri che appaiono casuali, ma che si ripete esattamente a ogni esecuzione del programma
- Questa ripetizione si verifica perché `rand` utilizza un **algoritmo deterministico** che genera la stessa sequenza a partire da un "seme" fisso

Funzione srand

- Per ottenere una sequenza diversa di numeri casuali a ogni esecuzione del programma, si utilizza la funzione `srand`
- `srand` accetta un argomento `int` (il "seme") e lo passa alla funzione `rand` per generare una nuova sequenza di numeri casuali
- In questo modo, ogni volta che si esegue il programma con un **seme diverso**, `rand` produrrà una sequenza diversa di numeri, aumentando la variabilità e simulando una **vera casualità**
- Quindi, mentre `rand` di per sé produce una sequenza deterministica di numeri pseudocasuali, `srand` consente di modificare il seme per generare sequenze diverse in ogni esecuzione del programma

Funzione srand

```
1 // fig05_06.c
2 // Randomizzare il programma del lancio del dado.
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5
6 int main(void) {
7     printf("%s", "Enter seed: ");
8     int seed = 0 ; // numero usato come seme per il generatore di numeri casuali
9     scanf("%d", &seed);
10
11    for (int i = 1; i <= 10; ++i) {
12        printf("%d ", 1 + (rand() % 6)); // stampa il valore del dado casuale
13    }
14
15 }
```

```
Enter seed: 67
6 1 4 6 2 1 6 1 6 4
```

```
Enter seed: 867
2 4 6 1 6 1 1 3 6 2
```

```
Enter seed: 67
6 1 4 6 2 1 6 1 6 4
```

Funzione `srand`

- Randomizzare il seme senza specificarlo ogni volta:
`srand(time(NULL));`
- `time(NULL)`: questa funzione legge l'orologio del sistema e restituisce il numero di secondi trascorsi dalla mezzanotte del 1° gennaio 1970 (notoriamente chiamata "Unix epoch")
- `srand` utilizza questo valore restituito da `time` come seme per il generatore di numeri casuali `rand`
- Utilizzando il valore attuale dell'orologio di sistema come seme, ogni esecuzione del programma ha un **seme diverso**, garantendo che la sequenza di numeri casuali generati da `rand` sia differente ogni volta
- Nota: Il **prototipo** di funzione per `time` si trova nel file di intestazione `<time.h>`

Generalizzazione dell'intervallo di numeri casuali

- I valori generati direttamente da `rand` sono sempre nell'intervallo:

$$0 \leq \text{rand}() \leq \text{RAND_MAX}$$

- Per creare numeri casuali in qualsiasi intervallo di interi consecutivi:

```
int n = a + rand() % b;
```

- a: Rappresenta il **valore di spostamento**, che è il primo numero nell'intervallo desiderato
- b: È il **fattore di scala**, che determina l'ampiezza dell'intervallo (cioè il numero di interi consecutivi desiderati)
- Questa formula può essere adattata per generare numeri casuali in qualsiasi intervallo specificato da a (il numero iniziale) e b (l'ampiezza dell'intervallo)

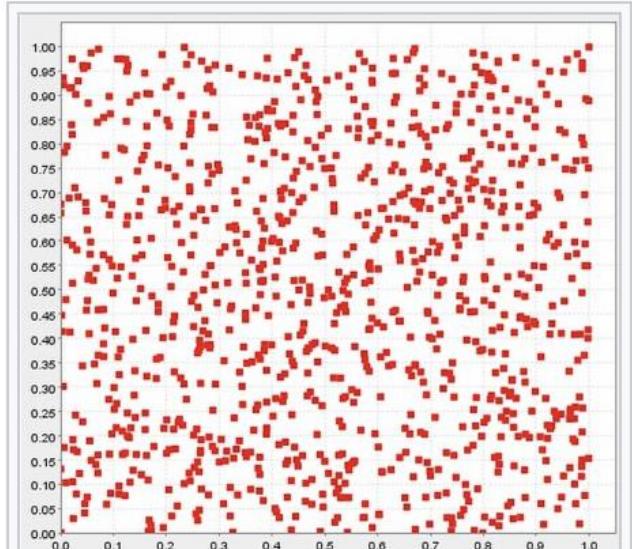
Generatore lineare congruenziale

- **Metodo classico** per generare numeri pseudo-casuali; ampiamente utilizzato grazie alla sua semplicità e velocità.
- **Formula generale:**

$$X_{n+1} = (aX_n + c) \mod m$$

Dove:

- X_n è il numero casuale corrente,
 - a è il moltiplicatore,
 - c è l'incremento (opzionale, nel caso di un LCG additivo),
 - m è il modulo,
 - X_0 è il **seme** o valore iniziale.
- **Periodo massimo:** un LCG può generare un massimo di m numeri distinti prima di ripetersi.
Il periodo massimo si raggiunge se vengono soddisfatte certe condizioni per a , c , e m :
- c deve essere coprimo con m ,
 - $a - 1$ deve essere divisibile per tutti i fattori primi di m ,
 - $a - 1$ deve essere divisibile per 4 se m è divisibile per 4.



La disposizione dei punti generati dal Generatore Lineare ran0

Fonte: Wikipedia

Intervallo



Fonte: PlaygroundAI

Caso pratico sulla simulazione di numeri casuali

- Deitel & Deitel code example (cap. 5): `fig05_07.c`
- Utilizzo di enum
 - un'**enumerazione** è un insieme di costanti intere rappresentate da identificatori
 - utilizzare costanti di enumerazione rende i programmi più leggibili e più facili da mantenere
- Gli identificatori all'interno di un'enumerazione devono essere **unici**
- I valori associati a questi identificatori possono essere duplicati
- Le costanti di enumerazione sono spesso scritte in lettere **maiuscole** (CONTINUE, WON, LOST) per farle risaltare nel codice e per indicare che non sono variabili modificabili

Ricorsione

- Una funzione ricorsiva **chiama sé stessa** direttamente o indirettamente attraverso un'altra funzione
- La ricorsione è particolarmente utile per risolvere problemi che possono essere suddivisi in **sottoproblemi simili** alla loro struttura originale
- La ricorsione è un argomento **complesso** e viene esplorata in dettaglio in corsi avanzati di informatica

Funzioni ricorsive

- Una funzione ricorsiva conosce solo come risolvere i casi più semplici, noti come **casi di base**
- Per i casi di base, la funzione restituisce direttamente un risultato
- Per i problemi più complessi, la funzione divide il problema in due parti:
 - Una parte che sa come risolvere
 - Una parte che non sa come risolvere
- Per rendere la ricorsione fattibile, il problema rimanente deve essere una versione più semplice o più piccola del problema originale

Chiamata ricorsiva

- La funzione chiama se stessa per risolvere il problema più semplice
- Questo passaggio è noto come chiamata **ricorsiva** o **passo di ricorsione**
- Il passo di ricorsione include un'istruzione `return` per combinare i risultati
- Il risultato della chiamata ricorsiva viene **combinato** con la porzione del problema che la funzione sa risolvere
- Questo produce un risultato che viene restituito alla funzione chiamante originale

Convergenza al caso base

- Durante il passo di ricorsione, la chiamata originaria alla funzione si arresta e attende il risultato dal passo di ricorsione
 - molte chiamate ricorsive aggiuntive mentre la funzione continua a suddividere il problema
- Per terminare la ricorsione, la sequenza di problemi più semplici deve convergere infine al **caso di base**
 - Ogni chiamata ricorsiva deve ridurre il problema verso il caso di base
- Quando la funzione riconosce il caso di base, **restituisce** un risultato alla copia precedente della funzione
- Questo avvia una sequenza di restituzioni che **risale** attraverso tutte le chiamate ricorsive
- La chiamata originaria infine restituisce il risultato finale alla sua funzione chiamante

Calcolo del fattoriale

- Il fattoriale di un intero non negativo n è definito come:

$$n! = n \cdot (n - 1) \cdot (n - 2) \cdot \dots \cdot 1$$

- $5! = 5 * 4 * 3 * 2 * 1 = 120$

- Si può calcolare in maniera iterativa con un for

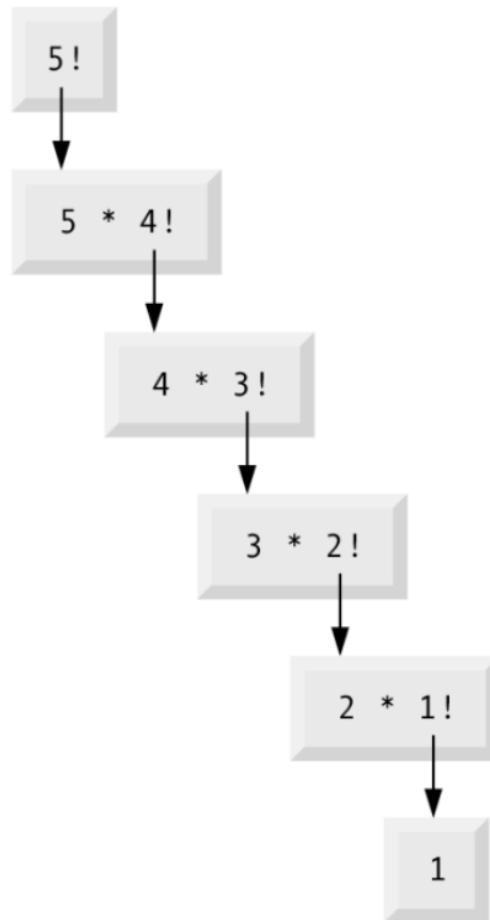
```
unsigned long long int factorial = 1;  
for (int counter = number; counter > 1; --counter)  
    factorial *= counter;
```

- Definizione ricorsiva:

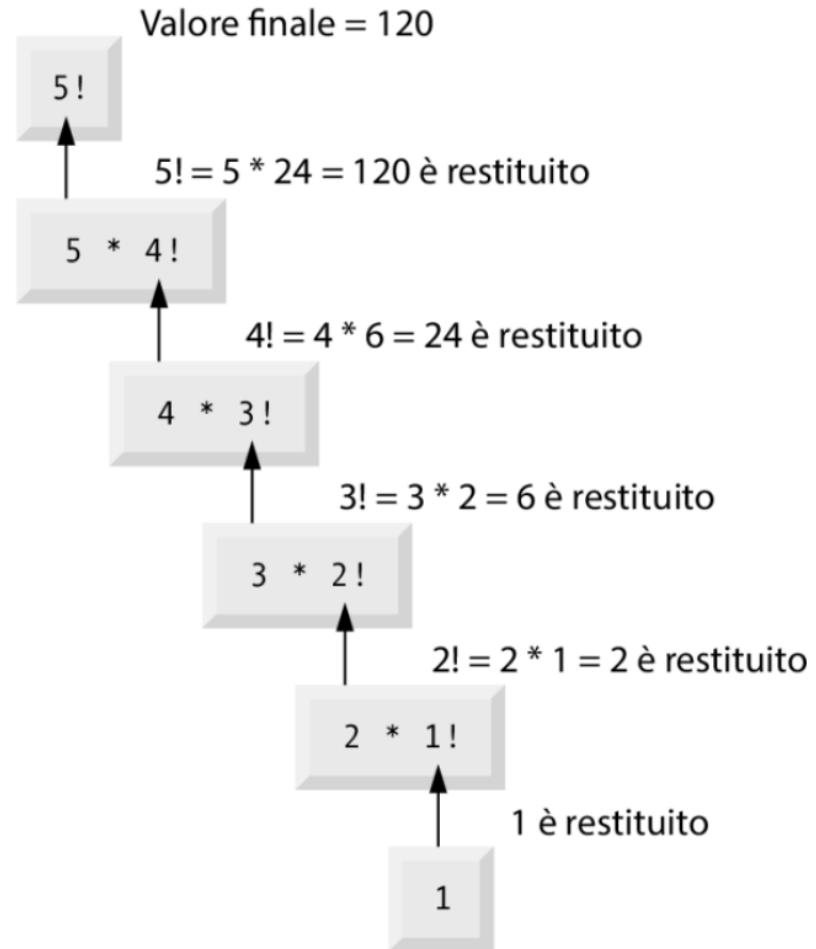
$$n! = n \cdot (n - 1)!$$

Calcolo del fattoriale con la ricorsione

a) Sequenza di chiamate ricorsive



b) Valori restituiti da ogni chiamata ricorsiva



Calcolo del fattoriale con la ricorsione

```
1 // fig05_09.c
2 // Funzione fattoriale ricorsiva.
3 #include <stdio.h>
4
5 unsigned long long int factorial( int number);
6
7 int main(void) {
8     // calcolo dei fattoriali e stampa del risultato
9     for (int i = 0; i <= 21; ++i) {
10         printf("%d! = %llu\n", i, factorial(i));
11     }
12
13     // definizione ricorsiva della funzione fattoriale
14     unsigned long long int factorial( int number) {
15         if (number <= 1 ) { // caso di base
16             return 1 ;
17         }
18         else { // passo ricorsivo
19             return (number * factorial(number - 1 ));
```

0! = 1
1! = 1
2! = 2
3! = 6
4! = 24
5! = 120
6! = 720
7! = 5040
8! = 40320
9! = 362880
10! = 3628800
11! = 39916800
12! = 479001600
13! = 6227020800
14! = 87178291200
15! = 1307674368000
16! = 20922789888000
17! = 355687428096000
18! = 6402373705728000
19! = 121645100408832000
20! = 2432902008176640000

Funzione factorial

- Verifica se la condizione di terminazione è vera:
number <= 1
- Altrimenti ricorre su (number - 1)
- L'**omissione** del caso di base o una scrittura errata del passo di ricorsione può portare a una ricorsione **infinita**
 - Questo porta all'esaurimento della memoria
 - È simile a un ciclo infinito in una soluzione iterativa, ma i cicli infiniti di solito non esauriscono la memoria

Crescita rapida dei fattoriali

- La funzione factorial restituisce un risultato di tipo unsigned long long int
 - Questo tipo può rappresentare valori fino a 18.446.744.073.709.551.615
- I fattoriali crescono rapidamente e superano facilmente il valore massimo di unsigned long long int
- Si possono calcolare fattoriali solo fino a circa $21!$
- Linguaggi come il C non possono essere facilmente estesi per gestire numeri molto grandi
 - Linguaggi a oggetti superano questa limitazione con le classi

La serie di Fibonacci

- Inizia con 0 e 1
- Ogni numero successivo è la somma dei due numeri precedenti.
- Esempio: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, ...
- La serie di Fibonacci appare frequentemente in natura e descrive forme a spirale
- Il rapporto tra numeri successivi converge verso 1,618..., noto come **proporzione aurea** o **sezione aurea**
- Gli esseri umani tendono a trovare la sezione aurea esteticamente attraente
- Architetti e designer usano spesso la proporzione aurea per progettare finestre, stanze e edifici

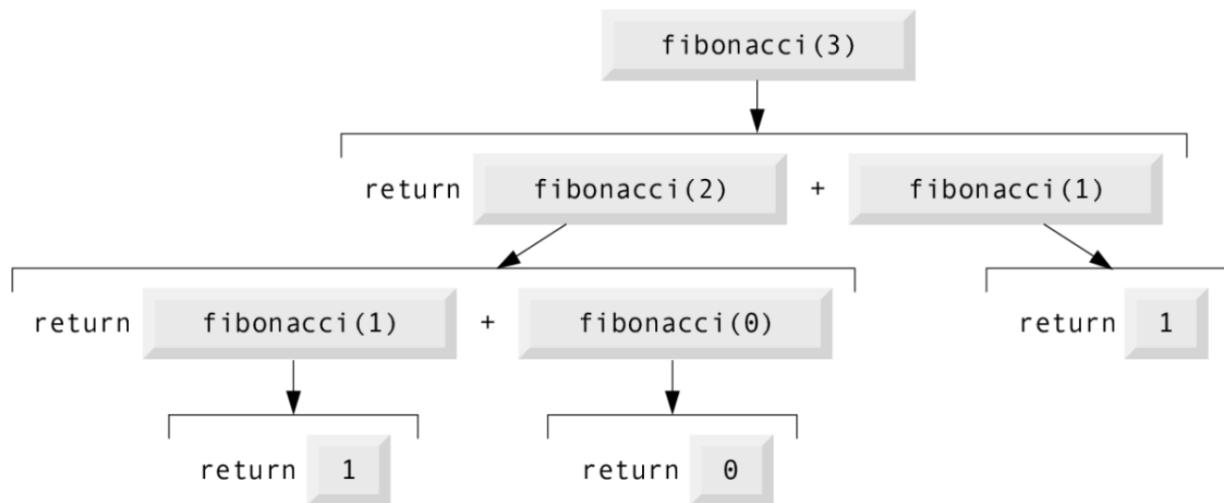
La serie di Fibonacci con la ricorsione

```
1 // fig05_10.c
2 // Funzione ricorsiva fibonacci.
3 #include <stdio.h>
4
5 unsigned long long int fibonacci( int n); // prototipo di funzione
6
7 int main(void) {
8     // calcola e stampa fibonacci(number) per 0-10
9     for (int number = 0; number <= 10; number++) {
10         printf("Fibonacci(%d) = %llu\n", number, fibonacci(number));
11     }
12
13     printf("Fibonacci(20) = %llu\n", fibonacci( 20 ) );
14     printf("Fibonacci(30) = %llu\n", fibonacci( 30 ) );
15     printf("Fibonacci(40) = %llu\n", fibonacci( 40 ) );
16
17     // Definizione ricorsiva della funzione fibonacci
18     unsigned long long int fibonacci(int n) {
19         if ( 0 == n || 1 == n) { // caso di base
20             return n;
21         }
22         else { // passo ricorsivo
23             return fibonacci(n - 1 ) + fibonacci(n - 2 );
24         }
25     }
26 }
```

```
Fibonacci(0) = 0
Fibonacci(1) = 1
Fibonacci(2) = 1
Fibonacci(3) = 2
Fibonacci(4) = 3
Fibonacci(5) = 5
Fibonacci(6) = 8
Fibonacci(7) = 13
Fibonacci(8) = 21
Fibonacci(9) = 34
Fibonacci(10) = 55
Fibonacci(20) = 6765
Fibonacci(30) = 832040
Fibonacci(40) = 102334155
```

La serie di Fibonacci con la ricorsione

- È interessante notare che, se n è maggiore di 1, il passo di ricorsione genera due chiamate ricorsive, ognuna delle quali risolve un problema leggermente più semplice dell'originaria chiamata a fibonacci



Ordine di valutazione degli operandi

- Il C non specifica l'ordine in cui gli operandi degli operatori sono **valutati**
- Durante la valutazione di fibonacci (3) , vengono effettuate chiamate ricorsive a fibonacci (2) e fibonacci (1)
 - L'ordine in cui queste chiamate ricorsive vengono eseguite non è definito dal C
- Sebbene l'ordine di applicazione degli operatori sia determinato dalle regole di precedenza e associatività, l'ordine di valutazione degli operandi può variare
- In molti casi, il risultato finale rimane lo stesso indipendentemente dall'ordine di valutazione.
- In programmi complessi, la valutazione non deterministica degli operandi può avere effetti secondari che influenzano il risultato finale

Ordine di valutazione degli operandi

- Il C specifica l'ordine di valutazione degli operandi per quattro operatori: `&&`, `||`, `,` (operatore virgola) e `?:` (operatore ternario)
- Per gli operatori **binari** `&&` (AND logico), `||` (OR logico) e `,` (virgola), gli operandi vengono valutati da sinistra a destra
 - Nota: Le virgole usate per separare gli argomenti nelle chiamate di funzione non sono operatori virgola e non seguono questa regola
- Operatore **ternario** `?:`
 - L'ordine di valutazione è specifico: l'operando più a sinistra (la condizione) viene valutato per primo
 - Se l'operando più a sinistra è diverso da zero (vero), viene valutato l'operando centrale e l'ultimo operando viene ignorato
 - Se l'operando più a sinistra è uguale a zero (falso), viene valutato il terzo operando e l'operando centrale viene ignorato

Complessità esponenziale

- Nella funzione di Fibonacci ogni chiamata ricorsiva raddoppia il numero di chiamate
- Per calcolare l' n^{mo} numero serviranno un ordine 2^n chiamate
 - 20esimo numero = $2^{20} \sim 1 \text{ M}$ di chiamate
- Questo fenomeno si chiama **complessità esponenziale** in Informatica
- Sebbene la soluzione ricorsiva sia intuitiva, esistono approcci migliori per calcolare i numeri di Fibonacci che possono essere più **efficienti**
- I problemi con complessità esponenziale sono studiati in dettaglio nei corsi avanzati di informatica, specialmente quelli riguardanti gli algoritmi

Ricorsione o iterazione

- Strutture di controllo:
 - Selezione **vs** iterazione
- Ripetizione:
 - chiamata a funzione **vs** iterazione
- Terminazione:
 - caso di base **vs** condizione del ciclo
- Procedimento:
 - versioni più semplici del problema **vs** modifica contatore o variabile

Errori comuni

- Iterazione infinita:
 - spesso dovuta a errori nella logica che impediscono al ciclo di terminare
- Ricorsione infinita:
 - spesso dovuta a errori nella logica che impediscono al problema di ridursi al caso di base

Overhead ricorsione

- La ricorsione invoca ripetutamente il meccanismo di chiamata di funzione, creando un aggravio di calcolo e di spazio di memoria
- Ogni chiamata ricorsiva crea una nuova copia della funzione (solo variabili, non l'intero codice), il che può consumare molta memoria

La ricorsione non è richiesta

- Qualunque problema risolvibile in modo ricorsivo può essere risolto anche in modo iterativo
- Preferita quando il problema si adatta naturalmente a una soluzione ricorsiva e produce un codice più leggibile e manutenibile
- In alcuni casi, la soluzione iterativa può non essere immediatamente evidente o può essere più complessa da implementare rispetto a una soluzione ricorsiva

Esempio: da ricorsione ad iterazione

Versione ricorsiva (Potenza)

```
c Copia codice

#include <stdio.h>

// Funzione ricorsiva per calcolare x^n
int potenza(int base, int esponente) {
    if (esponente == 0) {
        return 1;
    } else {
        return base * potenza(base, esponente - 1); // Chiamata ricorsiva
    }
}

int main() {
    int base = 2, esponente = 5;
    printf("%d^%d = %d\n", base, esponente, potenza(base, esponente));
    return 0;
}
```

Versione iterativa (Potenza)

```
c Copia codice

#include <stdio.h>

// Funzione iterativa per calcolare x^n
int potenza(int base, int esponente) {
    int risultato = 1;
    for (int i = 0; i < esponente; i++) {
        risultato *= base;
    }
    return risultato;
}

int main() {
    int base = 2, esponente = 5;
    printf("%d^%d = %d\n", base, esponente, potenza(base, esponente));
    return 0;
}
```

Recap

- Modularizzazione dei programmi con le funzioni
- Definizione funzioni e prototipi
- Pila delle chiamate di funzione e record di attivazione
- Passare argomenti
- Ricorsione