INFORmazione+autoMATICA

Calcolatore:
un supporto per la rappresentazione di informazione che può:

- raccogliere impressionanti quantità di dati
- eseguire velocemente e con precisione sequenze di operazioni elementari

Perché saperne di piu'?

- A differenza di altre macchine automatiche i calcolatori sono programmabili: la funzione svolta di volta in volta dipende dal particolare programma con cui l'utente istruisce la macchina. http://studio.code.org/hoc/1
- Non puó essere usato in modo consapevole e informato da chi non conosce i principi generali di funzionamento.
- Chi sa come funziona puó decidere se puó essere o meno di aiuto per realizzare un certo compito.

Cosa intendiamo per programmazione

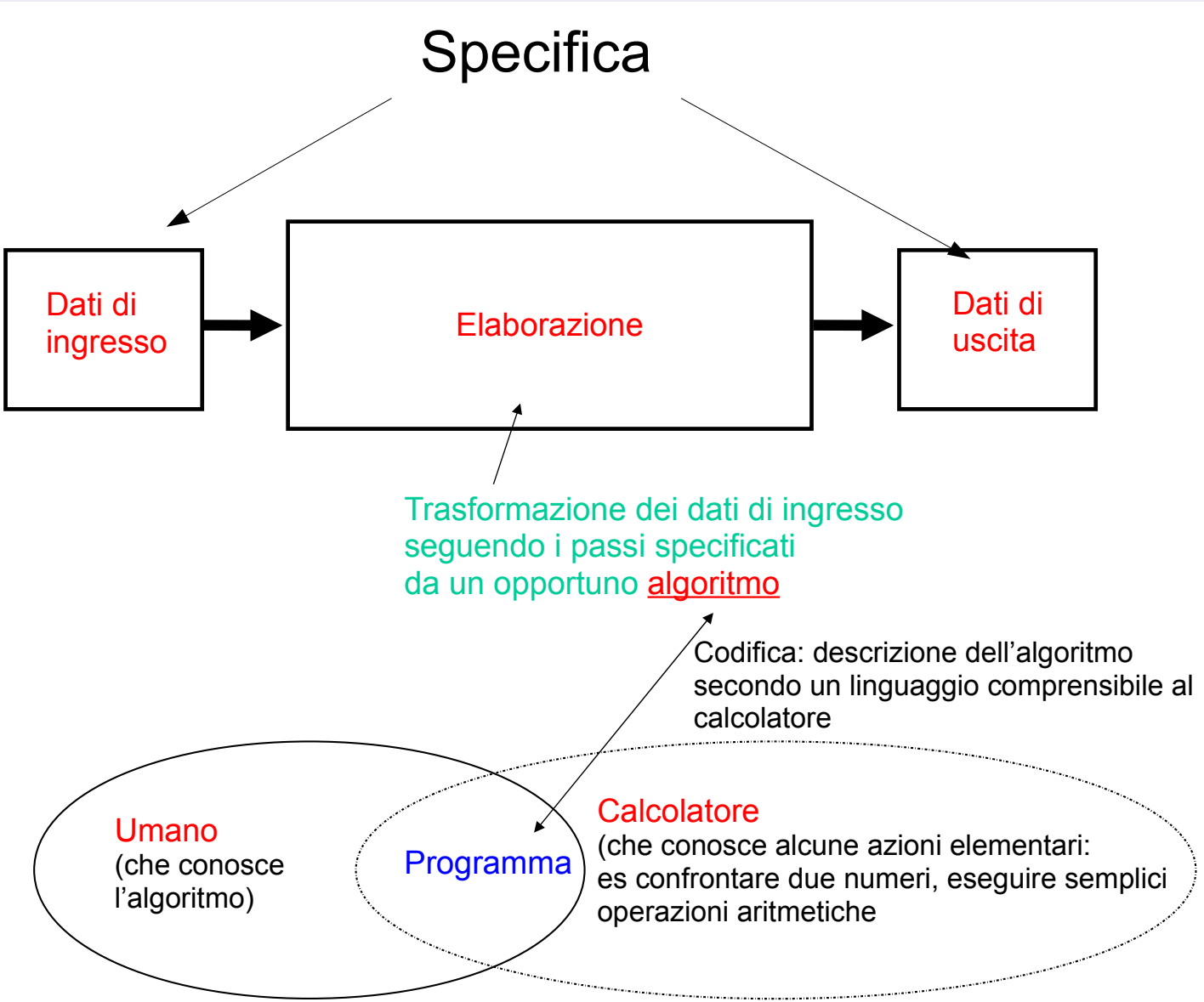
- Un programma è una sequenza di operazioni necessarie per risolvere un problema, espressa in un linguaggio di programmazione che il calcolatore è in grado di comprendere ed eseguire.
- Il procedimento che porta alla definizione dei programmi adatti a risolvere problemi è detto programmazione.

Le fasi della programmazione

Ad un primo livello di astrazione l'attività della programmazione può essere suddivisa in quattro (macro) fasi principali.

1. Definizione del problema (specifica)
2. Individuazione di un procedimento risolutivo (algoritmo)
3. Codifica dell'algoritmo in un linguaggio di programmazione (codifica)
4. Esecuzione e messa a punto (esecuzione)

Le fasi della programmazione II



Specifica

- La prima fase della programmazione consiste nel comprendere e definire (specificare) il problema che si vuole risolvere.
- La specifica del problema può essere fatta in maniera più o meno rigorosa, a seconda del formalismo descrittivo utilizzato.
- La specifica di un problema prevede la descrizione dello stato iniziale del problema (dati iniziali, input) e dello stato finale atteso (i risultati, output).
- La caratterizzazione degli stati iniziale e finale dipende dal particolare problema in esame e dagli oggetti di interesse.

Esempi di specifica informale

1. Dati due numeri, trovare il maggiore.
2. Dato un elenco telefonico e un nome, trovare il numero di telefono corrispondente.
3. Data la struttura di una rete stradale e le informazioni sui flussi dei veicoli, determinare il percorso più veloce da A a B.
4. Scrivere tutti i numeri pari che non sono la somma di due numeri primi (Congettura di Goldbach).
5. Decidere per ogni programma e per ogni dato in ingresso, se il programma C termina quando viene eseguito su quel dato.

Esempi (contd.)

Caratteristiche comuni ai problemi

informazioni in ingresso $\Longrightarrow$ informazioni in uscita

stato iniziale $\Longrightarrow$ stato finale

Osservazioni sulla formulazione dei problemi:

- la descrizione non fornisce un metodo risolutivo (es. 3 ▸)
- la descrizione del problema è talvolta ambigua o imprecisa (es. 2, con Mario Rossi che compare più volte ▸)
- per alcuni problemi non è noto un metodo risolutivo (es. 4 ▸)
- esistono problemi per i quali è stato dimostrato che non può esistere un metodo risolutivo (es. 5 ▸)

Noi considereremo solo problemi per i quali è noto che esiste un metodo risolutivo.

Algoritmi

- Una volta specificato il problema, si determina un procedimento risolutivo dello stesso (algoritmo), ovvero un insieme di azioni da intraprendere per ottenere i risultati attesi.
- Il concetto di algoritmo ha origini molto lontane: l'uomo ha utilizzato spesso algoritmi per risolvere problemi di varia natura. Solo in era moderna, tuttavia, ci si è posti il problema di caratterizzare problemi e classi di problemi per i quali è possibile individuare una soluzione algoritmica e solo nel secolo scorso è stato dimostrato che esistono problemi per i quali non è possibile individuare una soluzione algoritmica.

Algoritmi (cont.)

- Utilizziamo algoritmi nella vita quotidiana tutte le volte che, ad esempio, seguiamo le istruzioni per il montaggio di una apparecchiatura, per la sostituzione della cartuccia di una stampante, per impostare il ciclo di lavaggio di una lavastoviglie, per prelevare contante da uno sportello Bancomat, ecc.

Un algoritmo è una sequenza di passi che, se intrapresa da un esecutore, permette di ottenere i risultati attesi a partire dai dati forniti.

Proprietà di un algoritmo

La descrizione di un procedimento risolutivo può considerarsi un algoritmo se rispetta alcuni requisiti essenziali, tra i quali:

Finitezza: un algoritmo deve essere composto da una sequenza finita di passi elementari.

Eseguibilità: il potenziale esecutore deve essere in grado di eseguire ogni singola azione in tempo finito con le risorse a disposizione

Non-ambiguità: l'esecutore deve poter interpretare in modo univoco ogni singola azione.

Tipici procedimenti che non rispettano alcuni dei requisiti precedenti sono:

- le ricette di cucina: *aggiungere sale q.b.* - non rispetta 3)
- le istruzioni per la compilazione della dichiarazione dei redditi (!)

Codifica

- Questa fase consiste nell'individuare una rappresentazione degli oggetti di interesse del problema ed una descrizione dell'algoritmo in un opportuno linguaggio noto all'esecutore.
- Nel caso in cui si intenda far uso di un elaboratore per l'esecuzione dell'algoritmo, quest'ultimo deve essere tradotto (codificato) in un opportuno linguaggio di programmazione. Il risultato in questo caso è un programma eseguibile al calcolatore.
- Quanto più il linguaggio di descrizione dell'algoritmo è vicino al linguaggio di programmazione scelto, tanto più semplice è la fase di traduzione e codifica. Se addirittura il linguaggio di descrizione coincide con il linguaggio di programmazione, la fase di traduzione è superflua.

Codifica (cont.)

I linguaggi di programmazione forniscono strumenti linguistici per rappresentare gli algoritmi sottoforma di programmi che possano essere compresi da un calcolatore.

In particolare dobbiamo rappresentare nel linguaggio di programmazione

- l'algoritmo $\Longrightarrow$ programma
- le informazioni iniziali $\Longrightarrow$ dati in ingresso
- le informazioni utilizzate dall'algoritmo $\Longrightarrow$ dati ausiliari
- le informazioni finali $\Longrightarrow$ dati in uscita

In questo corso impareremo a codificare algoritmi utilizzando il linguaggio di programmazione denominato C.

Esecuzione

- La fase conclusiva consiste nell'esecuzione vera e propria del programma.
- Spesso questa fase porta alla luce errori che possono coinvolgere ciascuna delle fasi precedenti, innescando un procedimento di messa a punto tale da richiedere la revisione di una o piú fasi (dalla specifica, alla definizione dell'algoritmo, alla codifica di quest'ultimo).
- Nel caso dei linguaggi di programmazione moderni, vengono forniti strumenti (denominati di solito debugger) che aiutano nella individuazione degli errori e nella messa a punto dei programmi.

Esempi

Negli esempi che seguono, utilizziamo un linguaggio pseudo-naturale per la descrizione degli algoritmi.

Tale linguaggio utilizza, tra l'altro, le comuni rappresentazioni simboliche dei numeri e delle operazioni aritmetiche.

Problema 1: Calcolo del prodotto di due interi positivi

Specifica

Input: due valori interi positivi A e B

Output: il valore di A×B

Algoritmo

Se l'esecutore che scegliamo è in grado di effettuare tutte le operazioni di base sui numeri, un semplice algoritmo è il seguente:

Passo 1.	Acquisisci il primo valore, sia esso A
Passo 2.	Acquisisci il secondo valore, sia esso B
Passo 3.	Ottieni il risultato dell'operazione A×B

Problema 1 (cont.)

Codifica

Un esecutore che rispetta le ipotesi precedenti è una persona dotata di una calcolatrice tascabile. La codifica dell'algoritmo in questo caso può essere allora la seguente:

Passo 1.	Digita in sequenza le cifre decimali del primo valore
Passo 2.	Digita il tasto $*$
Passo 3.	Digita in sequenza le cifre decimali del secondo valore
Passo 4.	Digita il tasto $=$

Esecuzione

Problema 1 (cont.)

- Supponiamo ora che l'esecutore scelto sia in grado di effettuare solo le operazioni elementari di somma, sottrazione, confronto tra numeri.
- È necessario individuare un nuovo procedimento risolutivo che tenga conto delle limitate capacità dell'esecutore

Algoritmo 2

Passo 1.	Acquisisci il primo valore, sia esso A
Passo 2.	Acquisisci il secondo valore, sia esso B
Passo 3.	Associa 0 ad un terzo valore, sia esso C
Passo 4.	**Finché** B>0 **ripeti**
Passo 4.1.	Somma a C il valore A
Passo 4.2.	Sottrai a B il valore 1
Passo 5.	Il risultato è il valore C

Problema 1: (cont.)

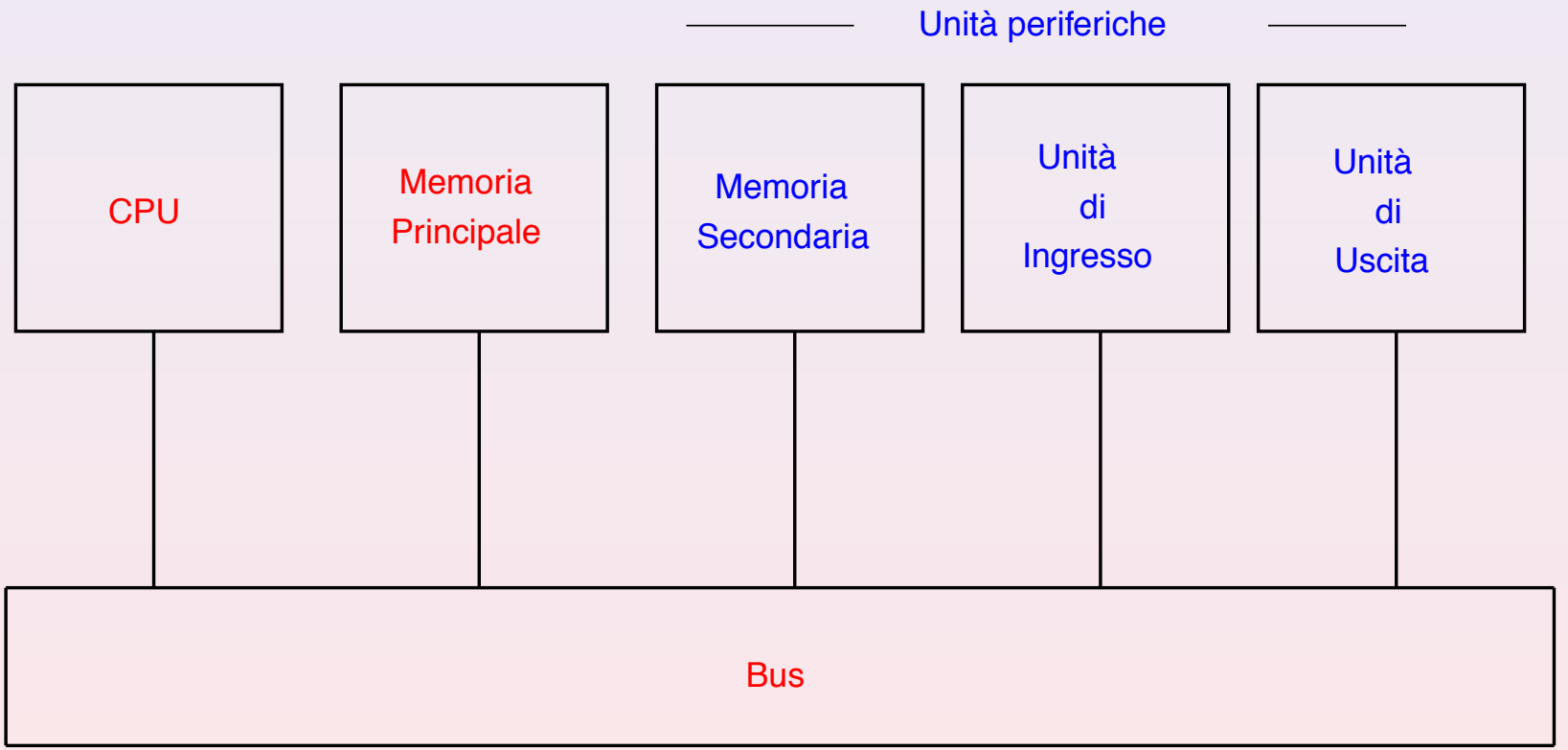
Un esecutore che rispetta le ipotesi precedenti è un bimbo in grado di effettuare le operazioni richieste (somma, sottrazione e confronto) e di riportare i risultati di semplici calcoli su un quaderno.

Codifica

Passo 1.	Scrivi il primo numero nel riquadro A
Passo 2.	Scrivi il secondo numero nel riquadro B
Passo 3.	Scrivi il valore 0 nel riquadro C
Passo 4.	Ripeti i seguenti passi finché il valore nel riquadro B è maggiore di 0: - calcola la somma tra il valore in A e il valore in C - scrivi il risultato ottenuto in C - calcola la differenza tra il valore in B ed il numero 1 - scrivi il risultato ottenuto in B
Passo 5.	Il risultato è quanto contenuto nel riquadro C.

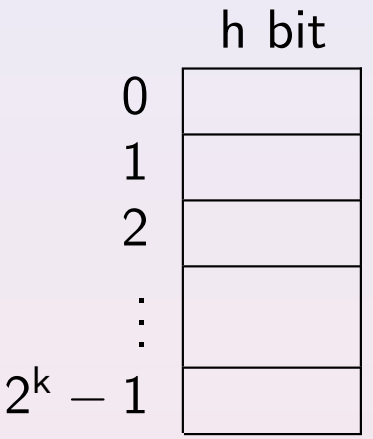
Architettura di Von Neumann

- L'architettura è ancora quella classica sviluppata da Von Neumann nel 1947.
- L'architettura di Von Neumann riflette le funzionalità richieste da un elaboratore:
  - memorizzare i dati e i programmi $\Longrightarrow$ memoria principale
  - i dati devono essere elaborati $\Longrightarrow$ unità di elaborazione (CPU)
  - comunicazione con l'esterno $\Longrightarrow$ unità di ingresso/uscita (periferiche)
  - le componenti del sistema devono scambiarsi informazioni $\Longrightarrow$ bus di sistema



Tra le periferiche evidenziamo la memoria secondaria.

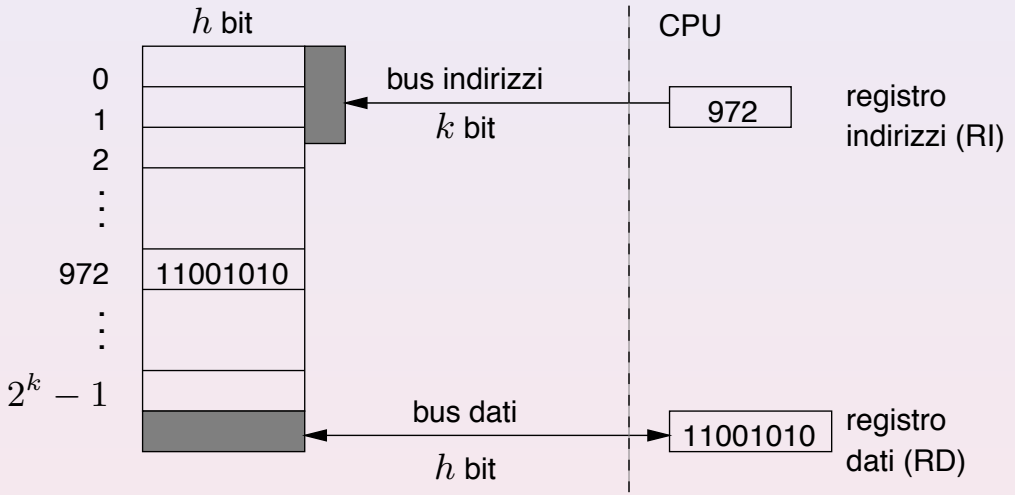
Memoria centrale (o RAM)



- è una sequenza di celle di memoria (dette parole), tutte della stessa dimensione
- ogni cella è costituita da una sequenza di bit
- il numero h di bit di una cella di memoria (dimensione) dipende dall'elaboratore, ed è un multiplo di 8: 8, 16, 32, 64
- ogni cella di memoria è identificata in modo univoco dal suo indirizzo
- il numero k di bit necessari per l'indirizzo dipende dal numero di celle di memoria

$$k \text{ bit} \Longrightarrow 2^k \text{ celle}$$

Memoria centrale



Operazione di lettura:

1. CPU scrive l'indirizzo della cella di memoria da cui leggere nel registro indirizzi (RI)
2. esegue l'operazione ("apre i circuiti")
3. il valore della cella indirizzata viene trasferito nel registro dati (RD)

Operazione di scrittura: al contrario

Memoria centrale

Caratteristiche principali

- è una memoria ad accesso casuale, ossia il tempo di accesso ad una cella di memoria è indipendente dalla posizione della cella $\Longrightarrow$ viene chiamata RAM (random access memory)
- può essere sia letta che scritta
  scrittura distruttiva – lettura non distruttiva
- alta velocità di accesso
- è volatile (si perde il contenuto quando si spegne il calcolatore)
- capacità ordine di GB

Dimensione della memoria: misurata in byte (1 byte=8 bit)

Kilobyte	$=$	2^{10}	$\sim$	10^3 byte
Megabyte	$=$	2^{20}	$\sim$	10^6 byte
Gigabyte	$=$	2^{30}	$\sim$	10^9 byte
Terabyte	$=$	2^{40}	$\sim$	10^{12} byte

Memoria secondaria

- non volatile
- capacità maggiore della memoria centrale (diverse centinaia di GB o pochi TB)
- tempo di accesso lento rispetto alla memoria centrale
- accesso sequenziale e non casuale
- tipi di memoria secondaria: dischi rigidi, floppy, CDROM, CDRW, DVD, nastri, ...

Bus di sistema suddiviso in tre parti:

- bus indirizzi: k bit
- bus dati: h bit
- bus comandi: trasferisce i comandi tra le varie unità

  $\Longrightarrow$ parallelismo (attualmente si arriva a 128 bit)

CPU (Central Processing Unit)

- coordina le attività di tutte le componenti del calcolatore
- interpreta ed esegue le istruzioni del programma
- 3 componenti principali:

  unità logico-aritmetica (ALU): effettua i calcoli

  unità di controllo: coordinamento di tutte le operazioni

  registri: celle di memoria ad accesso molto veloce
  - registro istruzione corrente (IR): contiene l'istruzione in corso di esecuzione
  - contatore di programma (PC): contiene l'indirizzo della prossima istruzione da eseguire
  - accumulatori: utilizzati dalla ALU per gli operandi ed il risultato
  - registro dei flag: memorizza alcune informazioni sul risultato dell'ultima operazione (carry, zero, segno, overflow, ...)
  - registro interruzioni: utilizzato per la comunicazione con le periferiche
  - registro indirizzi (RI) e registro dati (RD) per il trasferimento da e verso la memoria centrale

CPU

Ciclo dell'unità di controllo

- Tutte le attività interne alla CPU sono regolate da un orologio (clock) che genera impulsi regolari ad una certa frequenza (ad es. 800 MHz, 1 GHz, 2 GHz, ...).
- Il programma è memorizzato in celle di memoria consecutive, sulle quali l'unità di controllo lavora eseguendo il ciclo di

  prelievo — decodifica — esecuzione

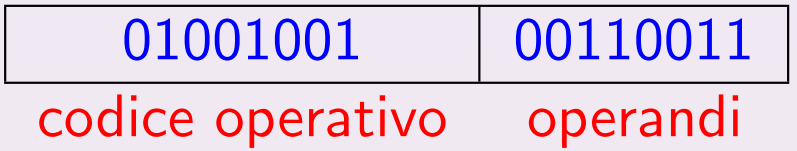
```
while macchina in funzione do
preleva dalla memoria l'istruzione indirizzata da PC
e caricala in IR
  (aggiorna PC in modo che indirizzi la prossima istruzione)
decodifica l'istruzione in IR
esegui l'istruzione
endwhile
```

CPU - Ciclo dell'unità di controllo

1. fase di prelievo (fetch)
   l'unità di controllo acquisisce dalla memoria l'istruzione indirizzata da PC e aggiorna PC in modo che indirizzi la prossima istruzione
   $$PC = PC + n$$
   dove n è la lunghezza in byte dell'istruzione prelevata
2. fase di decodifica
   viene decodificato il tipo di istruzione per determinare quali sono i passi da eseguire per la sua esecuzione
3. fase di esecuzione
   vengono attivate le componenti che realizzano l'azione specificata

Istruzioni

Ogni istruzione è costituita da:



Tipi di istruzione

- istruzioni di trasferimento dati
  - da e verso la memoria centrale
  - ingresso/uscita
- istruzioni logico/aritmetiche
- istruzioni di controllo
  - istruzioni di salto

Le istruzioni dettano il flusso del programma. Vengono eseguite in sequenza, a meno che non vi sia un'istruzione di controllo che altera il normale flusso (istruzione di salto).

Dal codice sorgente al codice macchina

I concetti di algoritmo e di programma permettono di astrarre dalla reale struttura del calcolatore, che comprende sequenze di 0 e 1, ovvero un linguaggio macchina.

Livelli di astrazione ai quali possiamo vedere i programmi:

- Linguaggio macchina (o codice binario): livello più basso
  - un programma è una sequenza di 0 e 1 (suddivisi in parole) che codificano le istruzioni
  - dipende dal calcolatore
- Linguaggio assemblativo: livello intermedio
  - dipende dal calcolatore e le sue istruzioni sono in corrispondenza 1-1 con le istruzioni in linguaggio macchina
  - istruzioni espresse in forma simbolica $\Longrightarrow$ comprensibile da un umano
- Linguaggi ad alto livello: (e.g. C, Pascal, C++, Java, Fortran, ...)
  - si basano su costrutti non elementari, comprensibili da un umano
  - istruzioni più complesse di quelle eseguibili da un calcolatore (corrispondono a molte istruzioni in linguaggio macchina)
  - in larga misura indipendenti dallo specifico elaboratore

Per arrivare dalla formulazione di un problema all'esecuzione del codice che lo risolve, bisogna passare attraverso diversi stadi:

problema (specifica)
⇓
algoritmo (pseudo-codice)
⇓
codice sorgente (linguaggio ad alto livello)
⇓ compilazione — [compilatore]
codice oggetto (simile al codice macchina, ma con riferimenti simbolici)
⇓ collegamento tra le diverse parti — [collegatore (linker)]
codice macchina (eseguibile)
⇓ caricamento — [caricatore (loader)]
codice in memoria eseguito

Esempio: dati due interi positivi X ed Y, eseguire il loro prodotto usando solo le operazioni di somma e sottrazione

```
Input(X);
Input(Y);
somma = 0;
contatore = 0;
while (contatore < Y)
{
    somma = somma + X;
    contatore = contatore + 1;
}
Output(somma);
```

Codifica dell'algoritmo in C

```
#include <stdio.h>
 void main (void) {
  int x, y;
  int cont = 0;
  int somma = 0;
  printf("Introduci due interi da moltiplicare\n");
  scanf("%d%d", &x, &y);
  while (cont < y) {
    somma = somma + x;
    cont = cont + 1;
  }
  printf("La somma di %d e %d e' pari a %d\n", x, y, somma);
}
```

Linguaggio assembler

Vediamo per comodità un esempio di linguaggio assembler: (corrisponde 1-1 al codice in linguaggio macchina, ma è più leggibile).

Caricamento dati

LOAD R1 X LOAD R2 X	Carica nel registro R1 (o R2) il dato memorizzato nella cella di memoria identificata dal nome simbolico X
LOAD R1 #C	Carica nel registro R1 la costante numerica C

Somma e Sottrazione

SUM R1 R2 SUB R1 R2	Somma (sottrae) il contenuto di R2 al contenuto di R1 e memorizza il risultato in R1

Memorizzazione

STORE R1 X STORE R2 X	Memorizza il contenuto di R1 (R2) nella cella con nome simbolico X

Linguaggio assembler

Controllo

JUMP A	La prossima istruzione da eseguire è quella con etichetta A
JUMPZ A	Se il contenuto di R1 è uguale a 0, la prossima istruzione da eseguire è quella con etichetta A
STOP	Ferma l'esecuzione del programma

Lettura/Scrittura

READ X	Legge un dato e lo memorizza nella cella di nome simbolico X
WRITE X	Scrive il valore contenuto nella cella di nome simbolico X

Programma per il prodotto in linguaggio assembler

	Etic.	Istr. assembler	Istruzione C	Significato
0		READ X	scanf	Leggi valore e mettilo nella cella *X*
1		READ Y	scanf	Leggi valore e mettilo nella cella *Y*
2		LOAD R1 #0	cont = 0	Inizializzazione di *cont*; metti 0 in *R1*
3		STORE R1 CONT		Metti il valore di *R1* in *CONT*
4		LOAD R1 #0	somma = 0	Inizializzazione di *SOMMA*; metti 0 in
5		STORE R1 SOMMA		Metti il valore di *R1* in *SOMMA*
6	INIZ	LOAD R1 CONT	while (*cont* < *y*)	Esecuzione del test:
7		LOAD R2 Y		Metti in *R1* (*R2*) il valore di *CONT* (Y
8		SUB R1 R2	(se cont=y,	Sottrai *R2* (ossia *Y*) da *R1*
9		JUMPZ FINE	vai a FINE)	Se *R1* = 0 (quindi CONT=Y) vai a FIN
10		LOAD R1 SOMMA	somma =	Metti in *R1* il valore di *SOMMA*
11		LOAD R2 X	somma + x	Metti in *R2* il valore di *X*
12		SUM R1 R2		Metti in *R1* la somma tra *R1* ed *R2*
13		STORE R1 SOMMA		Metti il valore di *R1* in *SOMMA*
14		LOAD R1 #1	cont =	Incremento contatore; metti 1 in *R1*
15		LOAD R2 CONT	cont + 1	Metti in *R2* il valore di *CONT*
16		SUM R1 R2		Metti in *R1* la somma tra *R1* ed *R2*
17		STORE R1 CONT		Metti il valore di *R1* in *CONT*
18		JUMP INIZ		Salta a *INIZ*
19	FINE	WRITE SOMMA	printf	Scrive il contenuto di *SOMMA*
20		STOP		Fine dell'esecuzione

Osservazioni sul codice assembler

- ad una istruzione C corrispondono in genere più istruzioni assembler (e quindi linguaggio macchina)

  Esempio: somma = somma + x

  $\Longrightarrow$ 1. carica il valore di *X* in un registro
  2. carica il valore di *SOMMA* in un altro registro
  3. effettua la somma tra i due registri
  4. memorizza il risultato nella locazione di memoria di *SOMMA*
- JUMP e JUMPZ interrompono la sequenzialità delle istruzioni
- In realtà il compilatore (ed il linker) genera linguaggio macchina
  - ogni istruzione è codificata come una sequenza di bit
  - ogni istruzione occupa una (o più celle di memoria)
  - istruzione costituita da 2 parti:
    codice operativo
    operandi

Un esempio di linguaggio macchina

Per semplicità consideriamo istruzioni con al più un operando (un indirizzo di memoria ind)

Istruzione assembler	Codice operativo
LOAD R1 ind	0000
LOAD R2 ind	0001
STORE R1 ind	0010
STORE R2 ind	0011
SUM R1 R2	0100
SUB R1 R2	0101
JUMP ind	0110
JUMPZ ind	0111
READ ind	1000
WRITE ind	1001
STOP	1011
LOAD R1 #c	1100

	Indirizzo	Codice operativo	Indirizzo operando	Istr. assembler
0	00000	1000	10101	READ X
1	00001	1000	10110	READ Y
2	00010	1100	00000	LOAD R1 #0
3	00011	0010	11000	STORE R1 CONT
4	00100	1100	00000	LOAD R1 #0
5	00101	0010	10111	STORE R1 SOMMA
6	00110	0000	11000	LOAD R1 CONT
7	00111	0001	10110	LOAD R2 Y
8	01000	0101	-----	SUB R1 R2
9	01001	0111	10011	JUMPZ FINE
10	01010	0000	10111	LOAD R1 SOMMA
11	01011	0001	10101	LOAD R2 X
12	01100	0100	-----	SUM R1 R2
13	01101	0010	10111	STORE R1 SOMMA
14	01110	1100	00001	LOAD R1 #1
15	01111	0001	11000	LOAD R2 CONT
16	10000	0100	-----	SUM R1 R2
17	10001	0010	11000	STORE R1 CONT
18	10010	0110	00110	JUMP INIZ
19	10011	1001	10111	WRITE SOMMA
20	10100	1011	-----	STOP
21	10101			X
22	10110			Y
23	10111			SOMMA
24	11000			CONT