

1 - Nozioni di background su Architetture degli Elaboratori, Linguaggi di Programmazione e Algoritmi

Programmazione e analisi di dati
Modulo A: Programmazione in Java

Paolo Milazzo

Dipartimento di Informatica, Università di Pisa
<http://www.di.unipi.it/~milazzo>
milazzo@di.unipi.it

Corso di Laurea Magistrale in Informatica Umanistica
A.A. 2013/2014

Sommario

- 1 Come è fatto un computer
- 2 Rappresentazione binaria dell'informazione
- 3 Linguaggi di programmazione e algoritmi

Com'è fatto un computer (1)

In questo corso impareremo a scrivere programmi che dovranno essere eseguiti da un computer

E' quindi bene sapere com'è fatto e come funziona un computer...

Com'è fatto un computer (2)

Il miglior modo per capire com'è fatta una cosa è... smontarla!



Foto da tutorial PC professionale

<http://www.pcprofessionale.it/2012/03/28/costruire-un-pc-la-guida-passo-passo-completa/>

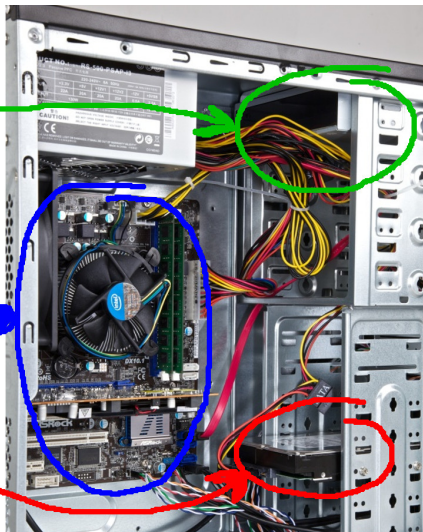
Com'è fatto un computer (3)

Identifichiamo i componenti più “appariscenti”

Lettores DVD/
Masterizzatore

Scheda madre

Hard disk



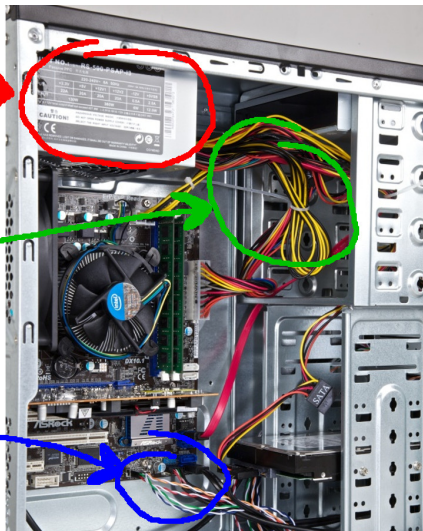
Com'è fatto un computer (4)

Innanzitutto dobbiamo scollegare i cavi di alimentazione...

Alimentatore →

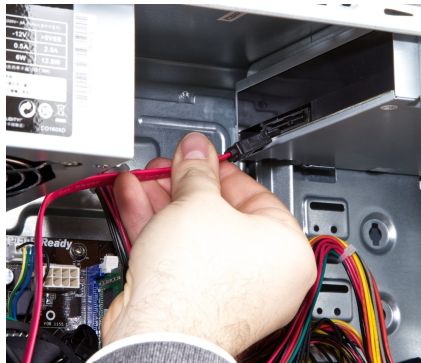
Cavetti di alimentazione

Cavetti vari
(pulsante on/off,
led frontali,
altop. interno,...)



Com'è fatto un computer (5)

... e i cavi-dati



Com'è fatto un computer (6)

Ora possiamo rimuovere il DVD e l'hard disk



Com'è fatto un computer (7)

A questo punto possiamo dedicarci alla scheda madre e ai componenti ad essa collegati. Per prima la scheda video (a cui era collegato il monitor)



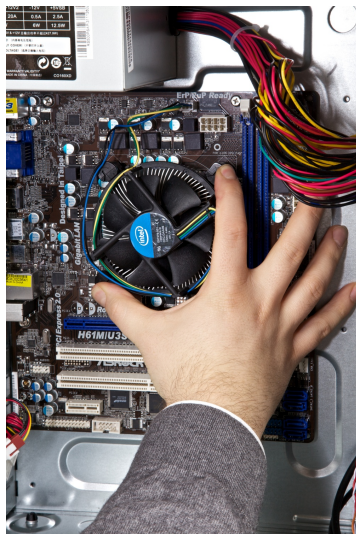
Com'è fatto un computer (8)

Ora la memoria RAM



Com'è fatto un computer (9)

Sotto il grosso dissipatore (con ventola) posizionato al centro della scheda madre...



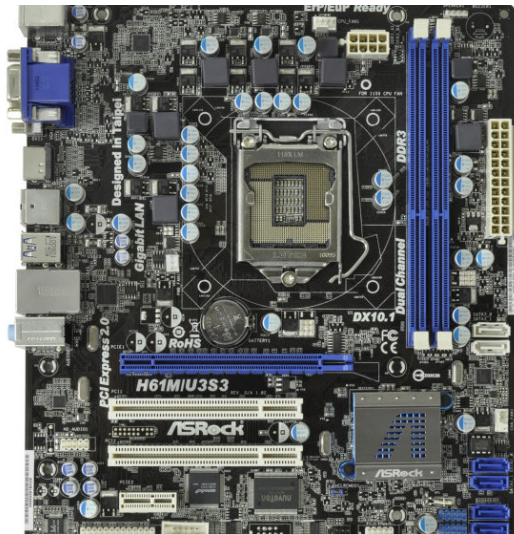
Com'è fatto un computer (9)

...troviamo il processore (o CPU)



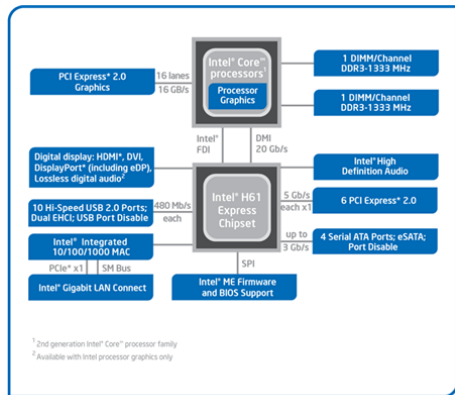
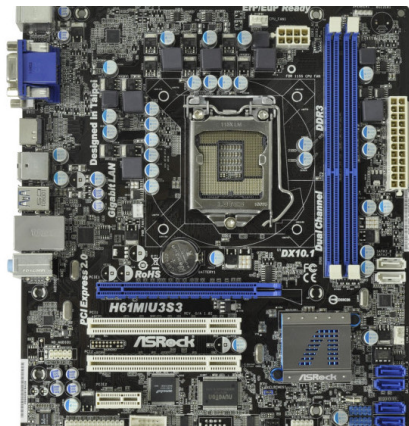
Com'è fatto un computer (10)

E infine non ci rimane che rimuovere la scheda madre



Com'è fatto un computer (11)

Una rappresentazione schematica (ufficiale – Intel). I componenti sono collegati tramite BUS di comunicazione gestiti dal processore e da un apposito chipset.



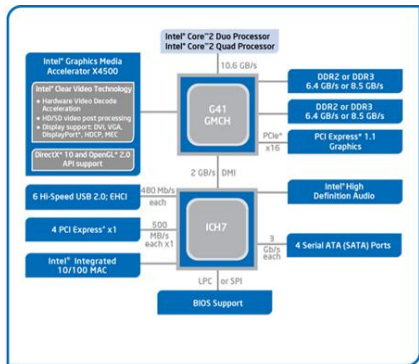
Intel® H61 Express Chipset Platform Block Diagram

¹ 2nd generation Intel® Core™ processor family

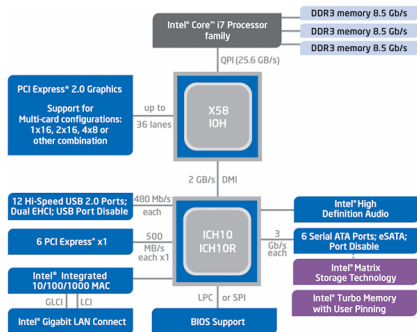
² Available with Intel processor graphics only

Com'è fatto un computer (11)

Un'altra architettura tipica è quella northbridge/southbridge, in cui il chipset è costituito da 2 chip che gestiscono i bus di comunicazione.

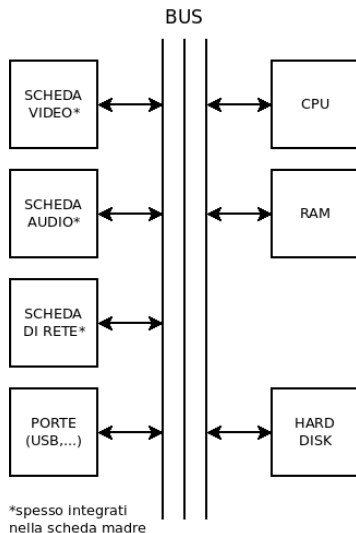


Intel® G41 Express Chipset Block Diagram



Com'è fatto un computer (12)

Una rappresentazione semplificata (unico bus di comunicazione in cui il chipset non è rappresentato)



La CPU e la memoria RAM

I componenti chiave per l'esecuzione di un programma sono la CPU e la memoria RAM.

- La **CPU** è un chip capace di eseguire operazioni molto semplici (operazioni aritmetiche, operazioni logiche, scrittura/lettura di piccole quantità di dati nella memoria RAM, ecc...) in tempi rapidissimi, nell'ordine dei miliardi di operazioni al secondo (in teoria...).
- La **memoria RAM** è una memoria volatile (si cancella quando non è alimentata) che consente di memorizzare grandi quantità di dati rappresentati in formato binario (ossia come sequenze di valori 0 e 1).

La CPU

Le operazioni che può svolgere la CPU sono codificate tramite un linguaggio in codice binario detto **linguaggio macchina**

```
Program Fragment:      Y = Y + X
Machine Language Code
(Binary Code)

Opcode      Address
1100 0000   0010 0000 0000 0000
1011 0000   0001 0000 0000 0000
1001 0000   0010 0000 0000 0000
```

Il linguaggio macchina è di solito rappresentato tramite una notazione simbolica detta **linguaggio assembly**

```
mov bx,ax      ;copy the content of ax into bx
add ax,bx      ;add value in bx to value in ax
sub bx,1       ;subtract 1 from the bx value
add [bx],ax    ;add value in ax to memory _word_ pointed to by bx
add [bx],al    ;add value in al to memory _byte_ pointed to by bx
```

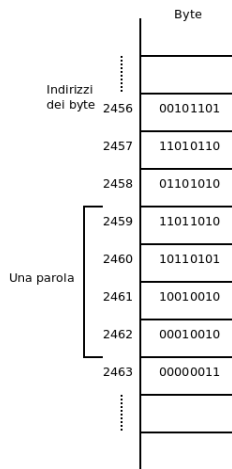
La memoria RAM

Un modulo di memoria RAM può memorizzare decine di miliardi di bit 0/1.

- I bit sono organizzati in gruppi di 8, detti **byte**
- I byte sono organizzati in gruppi di 4 (32 bit) oppure 8 (64 bit) detti **word** (o **parola**)

I singoli byte della memoria RAM sono associati ad un valore numerico (**indirizzo di memoria**) che li distingue.

Una parola solitamente è la quantità **massima** di memoria che una CPU può utilizzare in una singola operazione. Operazioni che lavorano su dati più grandi vengono svolte in più passi dalla CPU.



E ora?

Prima di poter programmare un computer dobbiamo:

- trovare un modo per rappresentare i nostri dati in memoria
 - ▶ **Rappresentazione binaria**
- trovare dei linguaggi più semplici da usare rispetto all'assembly
 - ▶ **Linguaggi di programmazione e algoritmi**

Vediamo questi due argomenti in dettaglio...

Sommario

- 1 Come è fatto un computer
- 2 Rappresentazione binaria dell'informazione**
- 3 Linguaggi di programmazione e algoritmi

Rappresentazione binaria dell'informazione (1)

Per informazione intendiamo tutto quello che viene manipolato da un calcolatore:

- Numeri (naturali, interi, reali, ...)
- Caratteri
- Immagini
- Suoni
- Programmi

Rappresentazione binaria dell'informazione (2)

La più piccola unità di informazione memorizzabile o elaborabile da un calcolatore, il **bit**, corrisponde allo stato di un dispositivo fisico (ad esempio spento/acceso) che viene interpretato come 0 o 1.

In un calcolatore tutte le informazioni sono rappresentate in forma **binaria**, come sequenze di 0 e 1.

Per **motivi tecnologici**: distinguere tra due valori di una grandezza fisica è più semplice che non ad esempio tra dieci valori

- Ad esempio, verificare se su un connettore c'è una tensione elettrica di 5V o meno **è più facile** che verificare se sullo stesso connettore c'è una tensione di 0V, 1V, 2V, 3V, 4V o 5V.

Rappresentazione posizionale (1)

Un numero naturale può essere **rappresentato** mediante una **sequenza di simboli** in diversi modi

E' importante distinguere tra un numero e la sua rappresentazione:

- la **sequenza di cifre** "234" è la rappresentazione decimale del numero 234
- la **sequenza di cifre romane** "CCXXXIV" è un'altra rappresentazione dello stesso numero

La rappresentazione decimale è un esempio di rappresentazione **posizionale**:

- ogni cifra contribuisce al numero con un valore che dipende dalla posizione in cui si trova nella sequenza
- ad esempio: nella rappresentazione "2426" il primo 2 contribuisce più del secondo (2000 vs 20) a rappresentare il numero 2426

Rappresentazione posizionale (2)

Nella sequenza di cifre:

$$c_{n-1} c_{n-2} \cdots c_1 c_0$$

- la cifra c_0 viene detta cifra **meno significativa**
- la cifra c_{n-1} viene detta cifra **più significativa**

Ad esempio, nella rappresentazione "2435"

- la cifra meno significativa è 5
- la cifra più significativa è 2

Rappresentazione di numeri naturali (1)

La rappresentazione decimale dei numeri naturali si basa su un insieme di cifre costituito da 10 simboli $(0,1,\dots,9)$.

Il numero b di cifre usate è detto **base** del sistema di numerazione. Ad ogni cifra è associato un valore compreso tra 0 e $b-1$.

| Base | Cifre | Sistema | Esempio |
|------|-------------------|-------------|------------|
| 2 | 0,1 | binario | 1001010110 |
| 8 | 0,1,...,7 | ottale | 40367 |
| 10 | 0,1,...,9 | decimale | 3954 |
| 16 | 0,1,...,9,A,...,F | esadecimale | 2DE4 |

Nel sistema esadecimale **A vale 10, B vale 11, ..., F vale 15.**

Rappresentazione di numeri naturali (2)

Il numero N rappresentato da una sequenza di cifre $c_{n-1} c_n \cdots c_0$ **dipende dalla base b** e si ottiene tramite la seguente formula:

$$N = c_{n-1} \cdot b^{n-1} + c_{n-2} \cdot b^{n-2} + \cdots + c_1 \cdot b^1 + c_0 \cdot b^0$$

Ad esempio:

- il numero binario 1101 corrisponde a $1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 13$
- il numero ottale 345 corrisponde a $3 \cdot 8^2 + 4 \cdot 8^1 + 5 \cdot 8^0 = 229$
- il numero decimale 243 corrisponde a $2 \cdot 10^2 + 4 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0 = 243$
- il numero esadecimale 2FA corrisponde a $2 \cdot 16^2 + 15 \cdot 16^1 + 10 \cdot 16^0 = 762$

Rappresentazione binaria di numeri naturali (1)

Nella pratica, **per convertire un numero binario in formato decimale** si può costruire una semplice tabellina come nel seguente esempio:

Numero da convertire: 10110101

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Numero da convertire | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Potenze di 2 corrispondenti | 2^7 | 2^6 | 2^5 | 2^4 | 2^3 | 2^2 | 2^1 | 2^0 |

Il risultato è la somma delle potenze di 2 associate a valori 1 nella tabellina (in rosso):

$$\begin{aligned} & 2^7 + 2^5 + 2^4 + 2^2 + 2^0 \\ &= 128 + 32 + 16 + 4 + 1 \\ &= 181 \end{aligned}$$

Il risultato coincide con quanto calcolato dalla formula definita in precedenza.

Rappresentazione binaria di numeri naturali (2)

Anche **per convertire un numero decimale in formato binario** si può costruire una tabellina, in cui si divide ripetutamente il numero decimale per 2.

Il numero binario sarà dato dai **resti delle divisioni** presi in ordine inverso.

Esempio: numero da convertire: 25

| N : 2 | Quoziente | Resto | Cifra |
|--------------|------------------|--------------|--------------|
| 25 : 2 | 12 | 1 | c_0 |
| 12 : 2 | 6 | 0 | c_1 |
| 6 : 2 | 3 | 0 | c_2 |
| 3 : 2 | 1 | 1 | c_3 |
| 1 : 2 | 0 | 1 | c_4 |

Il risultato è quindi $c_4 c_3 c_2 c_1 c_0$ che corrisponde a 11001.

Operazioni aritmetiche su numeri binari

Le operazioni aritmetiche su numeri binari sono analoghe a quelle su numeri decimali

- Ma ricordando che $1 + 1 = 10$

$$\begin{array}{r} 11100 + 1011 = 100111 \\ 1011 = 00110011 = 01100110 \\ 10011001 \times 1011 = 11010010011 \end{array}$$

| | | | | | |
|----------|---|----------|---|--------|-----|
| 10011001 | × | 1011 | = | 111100 | 100 |
| 10011001 | + | 00000000 | + | 111 | 100 |
| 10011001 | + | 10011001 | + | 110 | 100 |
| 10011001 | + | 111100 | + | 100 | 100 |
| | | | | | === |

Le operazioni aritmetiche possono creare situazioni di **overflow** (trabocco) quando la rappresentazione del risultato richiede più bit di quelli a disposizione

- Queste situazioni vengono monitorate dalla CPU, ciò nonostante usando certi linguaggi di programmazione (ad es. il C) bisogna porvi attenzione

Intervallo di rappresentazione

Quanti numeri si possono rappresentare con un byte? E con una parola?

Nel sistema binario con n cifre si possono rappresentare 2^n valori diversi,

- i valori vanno da 0 a $2^n - 1$

Ad esempio:

| | | |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------|
| Con 1 cifra binaria (1 bit) | 2^1 valori | {0, 1} |
| Con 8 cifre binarie (1 byte) | 2^8 valori | {0, 1, ..., 255} |
| Con 16 cifre binarie (2 byte) | 2^{16} valori | {0, 1, ..., 65.535} |
| Con 32 cifre binarie (4 byte) | 2^{32} valori | {0, 1, ..., 4.294.967.295} |

Rappresentazione binaria di numeri interi (1)

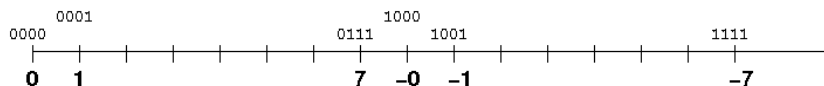
Nella rappresentazione vista abbiamo considerato solo numeri senza segno

Quando si considerano valori interi, per rappresentare il **segno** si può pensare di usare uno dei bit (quello più significativo)

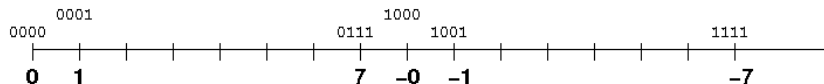
Questa convenzione viene detta rappresentazione tramite **modulo e segno**

- Il bit più significativo (c_{n-1}) rappresenta il segno
- le altre cifre ($c_{n-2} \cdots c_0$) rappresentano il valore assoluto

Esempio con 4 bit:



Rappresentazione binaria di numeri interi (2)



La rappresentazione tramite **modulo e segno** presenta diversi **problemi**:

- doppia rappresentazione dello zero (come 00...00 e 10...00)
- le operazioni aritmetiche diventano complicate (analisi per casi)

Rappresentazione in complemento a 2 (1)

Una rappresentazione alternativa a quella modulo e segno è la rappresentazione **in complemento a 2**.

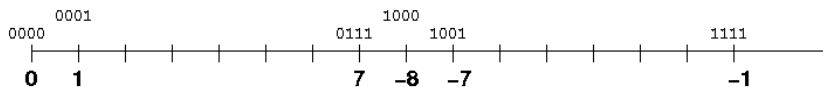
Come prima si usa il bit più significativo per rappresentare il **segno**

Anche la rappresentazione dei **numeri positivi** non cambia

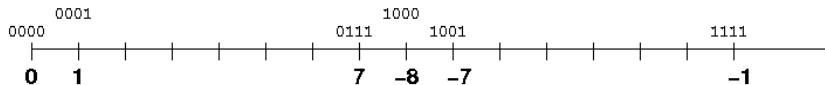
Un numero negativo $-N$ invece viene rappresentato come $2^n - N$, dove n è il numero dei bit a disposizione (incluso il bit del segno).

Ad esempio, con 4 bit ($n = 4$) rappresentiamo il numero negativo -3 come $2^4 - 3 = 16 - 3 = 13$ che in binario è 1101.

Quindi:



Rappresentazione in complemento a 2 (2)

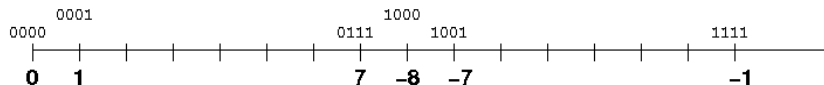


La rappresentazione in **complemento a 2** presenta diversi **vantaggi**

- Lo zero ha una sola rappresentazione (00...00)
- Le operazioni aritmetiche rimangono facili
 - ▶ Si può trasformare un numero positivo in un negativo semplicemente (vedere dopo...)
 - ▶ La somma è come abbiamo visto in precedenza (bit a bit)
 - ▶ La sottrazione si ottiene trasformando il secondo operando in negativo e sommando
 - ▶ Moltiplicazione e divisione si basano su somma e sottrazione

Per trasformare un numero positivo nel corrispondente negativo è sufficiente invertire tutti i bit e sommare 1

Rappresentazione in complemento a 2 (3)



Esempio: trasformare 5 in -5 (con 4 bit)

- 5 è 0101
- inverto tutti i bit: 1010
- sommo uno: 1011
- quello che ottengo è -5

Rappresentazione di numeri reali (1)

Anche in un intervallo chiuso, l'insieme dei numeri reali (e dei razionali) è infinito.

- Non è possibile rappresentare tutti i possibili valori di un certo intervallo

Rappresentazione in **virgola fissa** (poco usata):

- Si rappresentano separatamente, usando un numero fissato di cifre, la **parte intera** e la **parte frazionaria**
- Ad esempio:
 - ▶ usando 8 bit, di cui 4 per la parte intera e 4 per la parte frazionaria
 - ▶ 5.75 in binario diventa 0101.1100
 - ▶ Per la parte frazionaria: $1 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} + 0 \cdot 2^{-3} + 0 \cdot 2^{-4} = 0.75$

Rappresentazione di numeri reali (2)

Rappresentazione in **virgola mobile**:

- Per rappresentare un numero reale N usa **notazione esponenziale**:

$$N = m \cdot 2^e$$

dove:

- ▶ m è la **mantissa** in base 2: numero frazionario tale che

$$0.5 \leq |m| < 1$$

- ▶ e è l'**esponente** in base 2: numero intero
- Esempio: per rappresentare 0.125 avremo
 - ▶ $m = 0.5$ (in binario 0.1)
 - ▶ $e = -2$ (in binario con 4 bit 1110)
 - ▶ infatti: $0.5 + 2^{-2} = 0.125$

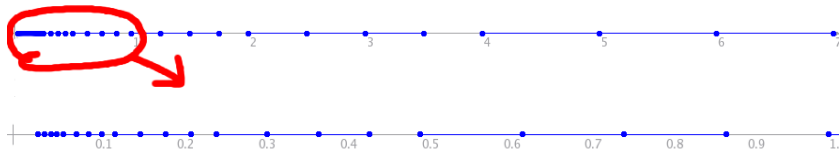
Rappresentazione di numeri reali (3)

I numeri rappresentabili in virgola mobile:

- Sono distribuiti simmetricamente rispetto allo 0
- **NON** sono uniformemente distribuiti sull'asse reale
 - ▶ sono più densi intorno allo 0!
- Ad esempio, con 3 bit per la mantissa e 3 bit per l'esponente:

| m\e | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|--------------|-----------|----------|---------|--------|-------|------|-----|---|
| 0.100 | 0.03125 | 0.0625 | 0.125 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 | 4 |
| 0.101 | 0.0390625 | 0.078125 | 0.15626 | 0.3125 | 0.625 | 1.25 | 2.5 | 5 |
| 0.110 | 0.046875 | 0.09375 | 0.1875 | 0.375 | 0.75 | 1.5 | 3 | 6 |
| 0.111 | 0.0546875 | 0.109375 | 0.21875 | 0.4375 | 0.875 | 1.75 | 3.5 | 7 |

Graficamente (i punti sono numeri rappresentabili):



Rappresentazione di numeri reali (4)

Problemi della rappresentazione in virgola mobile:

- Molti razionali non sono rappresentabili (ad esempio $1/3$)
- Non è chiuso rispetto ad addizioni e moltiplicazioni
- Per rappresentare un reale N si sceglie l'elemento rappresentabile **più vicino** ad N
- Perdita di precisione:
 - ▶ **Arrotondamento**: mantissa non sufficiente a rappresentare tutte le cifre significative del numero
 - ▶ **Errore di overflow**: esponente non sufficiente (numero troppo grande)
 - ▶ **Errore di underflow**: numero troppo piccolo (rappresentato come 0)

Rappresentazione di numeri reali (5)

Esempi reali di rappresentazione in virgola mobile:

- Standard IEEE 754 a 32 bit (precisione singola– **float**):
 - ▶ 1 bit per il segno della mantissa
 - ▶ 8 bit per l'esponente
 - ▶ 23 bit per la mantissa
 - ▶ alcune configurazioni riservate (0, Not-a-number, Infinito)
- Standard IEEE 754 a 64 bit (precisione doppia– **double**):
 - ▶ 1 bit per il segno della mantissa
 - ▶ 11 bit per l'esponente
 - ▶ 52 bit per la mantissa
 - ▶ alcune configurazioni riservate (0, Not-a-number, Infinito)

Rappresentazione di caratteri e testi (1)

I singoli caratteri di un testo possono essere rappresentati come numeri.

La seguente tabella riporta la codifica **ASCII** (o meglio, US-ASCII) è nata negli anni 60 per rappresentare (con 7 bit) i simboli della tastiera americana

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------|----|------------|----|------------|----|---|----|---|----|---|-----|---|-----|-----|
| 0 | <i>NUL</i> | 16 | <i>DLE</i> | 32 | <i>SPC</i> | 48 | 0 | 64 | @ | 80 | P | 96 | ` | 112 | p |
| 1 | <i>SOH</i> | 17 | <i>DC1</i> | 33 | ! | 49 | 1 | 65 | A | 81 | Q | 97 | a | 113 | q |
| 2 | <i>STX</i> | 18 | <i>DC2</i> | 34 | " | 50 | 2 | 66 | B | 82 | R | 98 | b | 114 | r |
| 3 | <i>ETX</i> | 19 | <i>DC3</i> | 35 | # | 51 | 3 | 67 | C | 83 | S | 99 | c | 115 | s |
| 4 | <i>EOT</i> | 20 | <i>DC4</i> | 36 | \$ | 52 | 4 | 68 | D | 84 | T | 100 | d | 116 | t |
| 5 | <i>ENQ</i> | 21 | <i>NAK</i> | 37 | % | 53 | 5 | 69 | E | 85 | U | 101 | e | 117 | u |
| 6 | <i>ACK</i> | 22 | <i>SYN</i> | 38 | & | 54 | 6 | 70 | F | 86 | V | 102 | f | 118 | v |
| 7 | <i>BEL</i> | 23 | <i>ETB</i> | 39 | ' | 55 | 7 | 71 | G | 87 | W | 103 | g | 119 | w |
| 8 | <i>BS</i> | 24 | <i>CAN</i> | 40 | (| 56 | 8 | 72 | H | 88 | X | 104 | h | 120 | x |
| 9 | <i>HT</i> | 25 | <i>EM</i> | 41 |) | 57 | 9 | 73 | I | 89 | Y | 105 | i | 121 | y |
| 10 | <i>LF</i> | 26 | <i>SUB</i> | 42 | * | 58 | : | 74 | J | 90 | Z | 106 | j | 122 | z |
| 11 | <i>VT</i> | 27 | <i>ESC</i> | 43 | + | 59 | ; | 75 | K | 91 | [| 107 | k | 123 | { |
| 12 | <i>FF</i> | 28 | <i>FS</i> | 44 | , | 60 | < | 76 | L | 92 | \ | 108 | l | 124 | |
| 13 | <i>CR</i> | 29 | <i>GS</i> | 45 | - | 61 | = | 77 | M | 93 |] | 109 | m | 125 | } |
| 14 | <i>SO</i> | 30 | <i>RS</i> | 46 | . | 62 | > | 78 | N | 94 | ^ | 110 | n | 126 | ~ |
| 15 | <i>SI</i> | 31 | <i>US</i> | 47 | / | 63 | ? | 79 | O | 95 | _ | 111 | o | 127 | DEL |

Rappresentazione di caratteri e testi (2)

La codifica ASCII è stata superata negli anni da codifiche più ricche.

In primis, la codifica Extended-ASCII (8 bit)

Attualmente, una codifica che si sta affermando (specialmente in ambito web) è **UTF-8**

- usa da 1 a 4 byte (variabile) per rappresentare un carattere

Le **stringhe** sono sequenze di caratteri che possono contenere un testo

- possono essere rappresentate nella memoria di un computer come una sequenza di caratteri terminata dal carattere NUL (= numero 0)

Rappresentazione di immagini e altri dati

Una immagine può essere rappresentata nella memoria di un computer codificando **il colore dei singoli pixel** che la compongono tramite valori numerici

Ad esempio, nel formato `bmp` a 24 bit ogni pixel dell'immagine viene rappresentato da 3 byte

- ogni byte (256 valori) rappresenta il livello di un colore fondamentale RGB
- `111111110000000000000000` = (255,0,0) = rosso
- `000000001111111100000000` = (0,255,0) = verde
- `000000000000000011111111` = (0,0,255) = blu
- `111111111111111111111111` = (255,255,255) = bianco
- `111111111001100110011001` = (255,204,204) = rosa

Altri formati più sofisticati (`gif`, `png`, `jpeg`) utilizzano metodi di **compressione** per ridurre la dimensione della rappresentazione

Approcci simili sono adottati per rappresentare suoni e filmati...

Sommario

- 1 Come è fatto un computer
- 2 Rappresentazione binaria dell'informazione
- 3 Linguaggi di programmazione e algoritmi**

Problemi computazionali

L'Informatica è una scienza che studia principalmente metodi e strumenti per la risoluzione di problemi computazionali (**problem solving**)

Un **problema computazionale** è un problema che richiede

- di calcolare un risultato (**output**)
- a partire da determinati valori noti (**input**)

Esempi di problemi computazionali:

- Calcolo del massimo comune divisore di due numeri
- Preparazione di un risotto ai funghi
- Tessitura di tappeto con un telaio meccanico
- Ordinamento di una sequenza di numeri
- Ricerca di una parola in un testo
- Risoluzione di un Sudoku

Algoritmi (1)

I problemi computazionali possono essere risolti tramite algoritmi.

Un **algoritmo** è una sequenza finita di passi di elaborazione che, dato un input, consentono di ottenere l'output ad esso corrispondente.

Algoritmi (2)

Un algoritmo si può esprimere in molti modi diversi:

- In linguaggio naturale:
 - ▶ “Per calcolare il massimo comune divisore di X e Y maggiori di 0 bisogna ripetutamente sottrarre il più piccolo dei due dal più grande. Quando i due numeri saranno diventati uguali tra loro, il loro valore corrisponderà al risultato.”

- Tramite formule matematiche:

$$\text{▶ } mcd(X, Y) = \begin{cases} mcd(X - Y, Y) & \text{se } X > Y \\ mcd(X, Y - X) & \text{se } Y > X \\ X & \text{altrimenti} \end{cases}$$

- In **pseudo-codice**:

```
finchè X!=Y ripeti {  
  se Y>X scambia(X,Y)  
  X = X-Y  
}  
stampa X
```


Algoritmi (3)

Un buon algoritmo deve soddisfare alcune proprietà:

- **Non ambiguità**: I singoli passi devono essere “elementari”: facilmente eseguibili (atomici) e non ambigui
- **Determinismo**: Eseguito più volte sullo stesso input, l'algoritmo deve eseguire sempre la stessa sequenza di passi (e conseguentemente deve dare lo stesso risultato)
- **Terminazione**: L'esecuzione dell'algoritmo deve prima o poi terminare e fornire un risultato

Esempi di Algoritmi (1)

Supponiamo di voler comprare un'auto il più possibile economica:

Ci vengono proposte due alternative:

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| 10000 euro | 15000 euro |
| 8 km/l | 20 km/l |

Quale scegliamo?

Esempi di Algoritmi (2)

Ci serve qualche informazione in più:

- Vogliamo percorrere circa 50000 km
- Il prezzo della benzina è circa 2 euro al litro

Ora possiamo usare il seguente algoritmo (in pseudo-codice):

```
per ogni auto calcola {
    costo_gas = (km_percorsi/km_al_litro) x prezzo_benzina
    costo_tot = prezzo_acquisto + costo_gas
}
se costo_tot(auto1) < costo_tot(auto2)
    compra auto1
altrimenti
    compra auto2
```

Questo algoritmo è non ambiguo (i passi sono semplici), termina (il ciclo “per ogni” prima o poi finisce) ed è deterministico

Qual è il risultato?

Esempi di Algoritmi (3)

Vogliamo scrivere un algoritmo che possa essere usato da un braccio meccanico per ordinare i mattoncini di Lego mettendo i pezzi blu a sinistra e pezzi gialli a destra.



Esempi di Algoritmi (4)

Primo Tentativo (in pseudo-codice):

```
solleva tutti i mattoncini  
posali tutti in ordine giusto
```

- Questo algoritmo è **ambiguo** in quanto i singoli passi non sono atomici (elementari)
 - ▶ il braccio meccanico può sollevare un mattoncino per volta

Secondo Tentativo (in pseudo-codice):

```
finche i mattoncini non sono in ordine giusto {  
  scambia un mattoncino blu e uno giallo  
}
```

- Questo algoritmo **non è deterministico**: ad ogni passo ho più scelte di mattoncini da scambiare
- Inoltre **potrebbe non terminare**

Esempi di Algoritmi (5)

Terzo Tentativo (in pseudo-codice):

```
finche i mattoncini non sono in ordine giusto {  
    indiviuda la coppia di mattoncini giallo-blu piu a sinistra  
    scambia i due mattoncini  
}
```

Questo algoritmo:

- **non è ambiguo**: in quanto i singoli passi semplici
- è **deterministico**: la scelta della coppia di mattoncini da scambiare è precisamente ben determinata (la più a sinistra)
- ed è facile convincersi che **termini**, perchè ad ogni iterazione un mattoncino blu si sposta a sinistra e uno giallo verso destra

Questo è un **buon algoritmo**!

Esempi di Algoritmi (6)

Prova di esecuzione:

```
finche i mattoncini non sono in ordine giusto {  
    indiviuda la coppia di mattoncini giallo-blu piu a sinistra  
    scambia i due mattoncini  
}
```



Input:



Passo 1:



Passo 2:



Passo 3: come continua?

Algoritmi: calcolabilità

Ora sappiamo che si possono risolvere problemi computazionali tramite algoritmi

In realtà non tutti i problemi computazionali possono essere risolti

- Alcuni problemi sono **indecidibili** (o **non calcolabili**)
- Ad esempio: non è possibile scrivere un algoritmo che prenda in input la descrizione di un qualunque altro algoritmo A e dia come output “SI” o “NO” a seconda che l’algoritmo A termini o meno (**problema della fermata**)

Algoritmi: complessità computazionale

Inoltre, tra i problemi calcolabili si distinguono:

- Problemi **trattabili**: che possono essere risolti da un algoritmo in tempi “ragionevoli”
 - ▶ Esempio: ordinare una sequenza di n numeri naturali si può fare con un algoritmo che esegue circa n^2 passi (o anche meno...)
- Problemi **intrattabili**: i cui algoritmi di soluzione richiedono tempi di “non ragionevoli”
 - ▶ Esempio: risolvere un sudoku con una griglia di $n \times n$ caselle può richiedere un algoritmo che esegue circa 2^n passi¹
 - ▶ Quando n diventa grande (circa 45), il tempo di esecuzione dell'algoritmo su un computer può diventare di **milioni di anni**...

Per approfondimenti:

- Capitolo 1 di: Crescenzi, Gambosi, Grossi. **Strutture dati e algoritmi. Progettazione, analisi e visualizzazione.**
Pearson–Addison Wesley

¹questa è una semplificazione... il discorso sarebbe molto più complicato. >

Dagli algoritmi ai programmi

Ora: come dare in pasto un algoritmo al computer?

Il computer parla il linguaggio macchina... è piuttosto difficile esprimere un algoritmo in linguaggio macchina!

Ecco: i **linguaggi di programmazione!**

I linguaggi di programmazione

Un **linguaggio di programmazione** è un “linguaggio formale” che consente scrivere programmi che realizzano algoritmi

- Un **linguaggio formale** (a differenza del linguaggio naturale) è un linguaggio con regole sintattiche e semantiche ben precise che rendono i costrutti del linguaggio stesso **privi di ambiguità**
- I programmi potranno poi essere **tradotti** in linguaggio macchina per essere eseguiti dal computer
- Essendo il linguaggio specificato su regole ben precise, la traduzione può essere fatta da un altro programma!

Terminologia:

- I linguaggi di programmazione sono detti **linguaggi di alto livello**
 - ▶ **astraggono** dai dettagli di funzionamento dell'elaboratore
- Il linguaggio macchina e l'assembly sono **linguaggi di basso livello**

Compilazione e interpretazione (1)

Come tradurre un programma dal linguaggio di programmazione in linguaggio macchina?



Compilazione e interpretazione (2)

Pensiamo al mondo reale: come si può comunicare con una persona che parla solo cinese?



Due soluzioni:

scriviamo una lettera in italiano e la portiamo all'ambasciata cinese per farla tradurre



troviamo un interprete che faccia una traduzione simultanea



Image courtesy of [stockimages](#) / [FreeDigitalPhotos.net](#)

Compilazione e interpretazione (3)

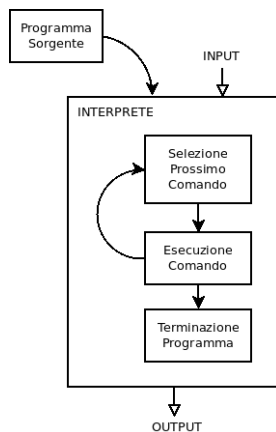
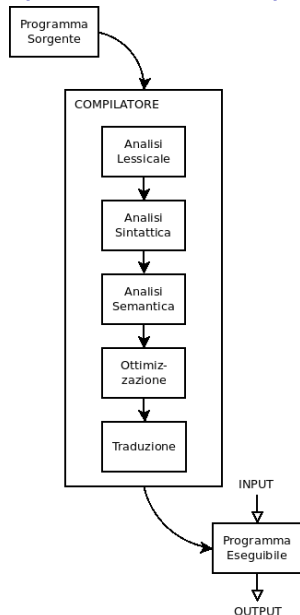
Analogamente, per tradurre un programma (**sorgente**) in linguaggio macchina si può usare:

- Un **compilatore**: ossia un programma che prende in input il programma sorgente e produce in output il corrispondente programma in linguaggio macchina, **eseguibile successivamente** dal computer
- Un **interprete**: ossia un programma che prende in input il programma sorgente, traduce un comando per volta e **lo esegue** man mano.

Esempi:

- Il linguaggio C è un linguaggio compilato
- Il linguaggio JavaScript è un linguaggio interpretato

Compilazione e interpretazione (4)



Compilazione e interpretazione (5)

Vantaggi \uparrow e svantaggi \downarrow della **compilazione**:

- \downarrow Compilare un programma può richiedere molto tempo
- \uparrow Il programma eseguibile che si ottiene è veloce
- \uparrow Il programma eseguibile può essere eseguito più volte senza ricompilare
- \uparrow Il compilatore può controllare e ottimizzare il programma prima che venga eseguito
- \downarrow Gli errori che sfuggono al controllo del compilatore non potranno più essere gestiti durante l'esecuzione
- \downarrow Un compilatore produce un eseguibile che funziona su una sola architettura (Intel, ARM, ...) e sistema operativo (Windows, Linux, MacOS, ...)

Compilazione e interpretazione (6)

Vantaggi \uparrow e svantaggi \downarrow della **interpretazione**:

- \downarrow L'esecuzione del programma è rallentata dall'interprete, che deve tradurre ogni comando
- \uparrow Non è necessario ri-compilare tutto il programma ogni volta che si fa una modifica
- \uparrow Portabilità: lo stesso identico programma può essere eseguito su architetture (Intel, ARM,...) e sistemi operativi (Windows, Linux, MacOS, ...) diversi
- \downarrow Nessun controllo sui programmi prima di iniziare l'esecuzione
- \uparrow Gli errori che si incontrano a tempo di esecuzione possono essere gestiti meglio

Compilazione e interpretazione (6)

Alcuni linguaggi combinano compilazione e interpretazione

- Java, ad esempio, è uno di questi (vedremo...)