Numerazione binaria e rappresentazione delle informazioni

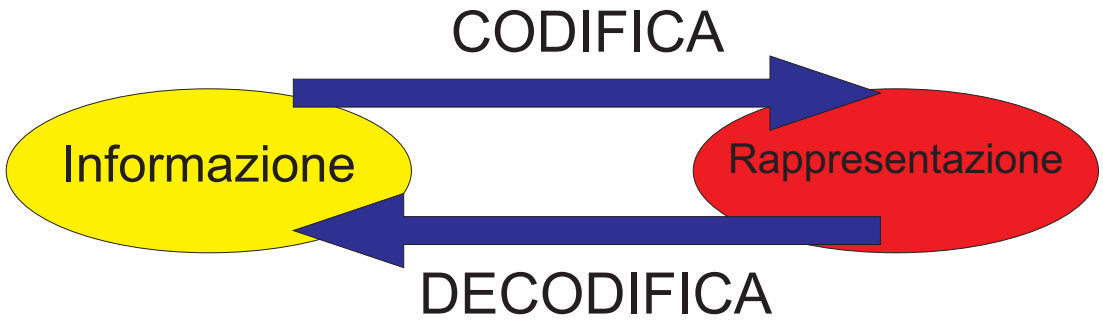
Nicola Basilico (basilico@elet.polimi.it)

Problema

- Abbiamo informazioni (numeri, testi, immagini, suoni...) che vogliamo rappresentare (e poter elaborare) in un calcolatore.
- Vincolo: per motivi tecnologici un calcolatore lavora solo con i valori 0 e 1

Codifica e Decodifica

- Processo che permette di ottenere la rappresentazione delle informazioni



- Il processo inverso è la decodifica

Codifica e Decodifica

- L'elemento base della rappresentazione è il bit (binary digit, cifra binaria)
- Rappresentazione **binaria**
- Con un bit possiamo rappresentare un'informazione che puó assumere 2 valori

Esempio

- Stato di una lampadina: $0 = \textit{spento}$, $1 = \textit{acceso}$
- Veritá di una formula: $0 = \textit{falso}$, $1 = \textit{vero}$

Codifica e Decodifica

- Per rappresentare piú valori è necessario usare **sequenze di bit**

  1 bit 2 valori: 0, 1
  2 bit 4 valori: 00, 01, 10, 11
  3 bit 8 valori: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111

- In generale: n bit rappresentano 2^n diversi valori
- 4 bit: nibble, 8 bit: byte

Codifica e Decodifica

Esempio di codifica

- Vogliamo dare una rappresentazione binaria per i quattro punti cardinali
- Ciascun punto cardinale puó essere rappresentato da una **sequenza di 2 bit** secondo la seguente codifica

Nord	00
Est	01
Sud	10
Ovest	11

- Se avessimo voluto rappresentare i 4 semi di un mazzo di carte?

Codifica e Decodifica

- La codifica è una convenzione!
- E´ il modo in cui associamo un'informazione ad una sua rappresentazione binaria.

Codifica e Decodifica

Esercizio 1

- Domanda:
  quanti diversi valori posso rappresentare con 5 bit?
- Risposta:
  con 5 bit posso rappresentare $2^5 = 32$ diversi valori.

Esercizio 2

- Domanda:
  quanti diversi valori posso rappresentare con 2 byte?
- Risposta:
  2 byte $= 16$ bit, quindi posso rappresentare $2^{16} = 65536$ diversi valori.

Codifica e Decodifica

Esercizio 3

- Domanda: quanti bit mi servono per rappresentare 1000 diversi valori?
- Risposta: devo trovare il minimo numero n di bit che soddisfi $2^n \geqslant 1000$, $2^{10} = 1024$, quindi $n = 10$.

Esercizio 4

- Domanda: quanti bit mi servono per rappresentare 112 diversi valori?
- Risposta: 7 bit ($2^7 = 128$). 6 bit sarebbero stati pochi, mentre 8 bit sarebbero stati troppi!

Codifica e Decodifica

- Attraverso meccanismi di codifica possiamo rappresentare diversi tipi di informazione:
  - Numeri naturali (insieme N)
  - Numeri interi (insieme Z)
  - Numeri razionali (insieme Q)
  - caratteri
  - immagini
  - suoni
  - video
- Esistono diverse convenzioni (codifiche) per fornire a ciascun tipo di informazione una rappresentazione binaria.

Rappresentazione dei numeri naturali

Come rappresentare un numero naturale?

- Rappresentazione decimale posizionale
  - si utilizzano 10 cifre decimali (0, 1, ..., 9): la base è 10
  - *posizionale*: il significato di ogni cifra dipende dalla sua posizione relativa
  - le posizioni si contano da destra a sinistra partendo da 0

$$1919 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 9 \times 10^0$$

Rappresentazione dei numeri naturali

- In generale: numero di n cifre in base b:

$$(a_{n-1}, \ldots, a_1, a_0) = a_{n-1} \times b^{n-1} + \ldots + a_1 \times b^1 + a_0 \times b^0 = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times b^i$$

- cifre usate: 0,1, . . . , b-1
- a_0 è la cifra **meno** significativa (LSD)
- a_{n-1} è la cifra **più** significativa (MSD)

Rappresentazione dei numeri naturali

- Rappresentazione **binaria**
  - base 2 ($b = 2$)
  - le cifre (binarie) sono: 0 e 1
- Rappresentazione **ottale**
  - base 8 ($b = 8$)
  - le cifre (ottali) sono: 0, 1,. . . , 7
- Rappresentazione **esadecimale**
  - base 16 ($b = 16$)
  - le cifre (esadecimali) sono: 0,1,. . . , 9, A, B, C, D, E, F

Rappresentazione dei numeri naturali - conversioni

Da base 2 a base 10:

$(101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 4 + 0 + 1 = (5)_{10}$

$(10100)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 = 16 + 4 = (20)_{10}$

Da base 8 a base 10:

$(12)_8 = 1 \times 8^1 + 2 \times 8^0 = 8 + 2 = (10)_{10}$

$(205)_8 = 2 \times 8^2 + 5 \times 8^0 = 128 + 5 = (133)_{10}$

Da base 16 a base 10:

$(2F)_{16} = 2 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = 32 + 15 = (47)_{10}$

$(31A)_{16} = 3 \times 16^2 + 1 \times 16^1 + 10 \times 16^0 = 768 + 16 + 10 = (794)_{10}$

Rappresentazione dei numeri naturali - conversioni

Esercizio:

convertire in base 10 i seguenti numeri

$$(1101010)_2 \quad (1110001)_2 \quad (1010101110)_2$$

$$(145)_8 \quad (7342)_8 \quad (12345)_8$$

$$(AF4)_{16} \quad (FF5E)_{16} \quad (ADC2D)_{16}$$

Rappresentazione dei numeri naturali - conversioni

- Come convertire un numero da base 10 a base 2, 8 o 16?

Procedimento

Abbiamo un numero $(n)_{10}$ da convertire nella base b:

1. dividere n per b con una divisione intera
2. il resto della divisione diventa la cifra meno significativa (la prima che resta da calcolare) del numero in base b
3. se il quoziente è 0 abbiamo finito
4. se il quoziente è diverso da zero si torna al passo 1 considerando il quoziente come dividendo

Rappresentazione dei numeri naturali - conversioni

Esempio: $(13)_{10} = (1101)_2$

$$
\begin{array}{lll}
13 : 2 = 6 & \text{resto} = 1 & \text{LSD} \\
6 : 2 = 3 & \text{resto} = 0 & \\
3 : 2 = 1 & \text{resto} = 1 & \\
1 : 2 = 0 & \text{resto} = 1 & \text{MSD}
\end{array}
$$

Esempio: $(63)_{10} = (111111)_2$

$$
\begin{array}{lll}
63 : 2 = 31 & \text{resto} = 1 & \text{LSD} \\
31 : 2 = 15 & \text{resto} = 1 & \\
15 : 2 = 7 & \text{resto} = 1 & \\
7 : 2 = 3 & \text{resto} = 1 & \\
3 : 2 = 1 & \text{resto} = 1 & \\
1 : 2 = 0 & \text{resto} = 1 & \text{MSD}
\end{array}
$$

Rappresentazione dei numeri naturali - conversioni

Esempio: $(49)_{10} = (61)_8$

$$\begin{array}{lll} 49 : 8 = 6 & \text{resto} = 1 & \text{LSD} \\ 6 : 8 = 0 & \text{resto} = 6 & \text{MSD} \end{array}$$

Esempio: $(251)_{10} = (FB)_{16}$

$$\begin{array}{lll} 251 : 16 = 15 & \text{resto} = 11 = \text{B} & \text{LSD} \\ 15 : 16 = 0 & \text{resto} = 15 = \text{F} & \text{MSD} \end{array}$$

Rappresentazione dei numeri naturali - conversioni

Esercizio: convertire dalla base 10 i seguenti numeri

$$(59)_{10} \rightarrow (?)_2 \quad (149)_{10} \rightarrow (?)_2 \quad (1387)_{10} \rightarrow (?)_2$$
$$(77)_{10} \rightarrow (?)_8 \quad (132)_{10} \rightarrow (?)_8 \quad (1211)_{10} \rightarrow (?)_8$$
$$(34)_{10} \rightarrow (?)_{16} \quad (112)_{10} \rightarrow (?)_{16} \quad (3459)_{10} \rightarrow (?)_{16}$$

Rappresentazione dei numeri naturali - conversioni

- Come convertire un numero da base 2 a base 8?
- Raggruppiamo il numero binario a gruppi di **tre** cifre
- Convertiamo in sequenza ciascun gruppo in ottale

$$(000\ 100\ 111\ 001)_2 = (0471)_8$$

000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

Rappresentazione dei numeri naturali - conversioni

- Come convertire un numero da base 2 a base 16?
- Raggruppiamo il numero binario a gruppi di **quattro** cifre
- Convertiamo in sequenza ciascun gruppo in esadecimale

$$(0001\ 0011\ 1001)_2 = (139)_{16}$$

0000	0	1000	8
0001	1	1001	9
0010	2	1010	*A*
0011	3	1011	*B*
0100	4	1100	*C*
0101	5	1101	*D*
0110	6	1110	*E*
0111	7	1111	*F*

Rappresentazione dei numeri naturali - somma

Somma tra numeri naturali binari:

$$\begin{aligned} 0+0&=0 \quad \text{riporto} = 0 \\ 0+1&=1 \quad \text{riporto} = 0 \\ 1+0&=1 \quad \text{riporto} = 0 \\ 1+1&=0 \quad \text{riporto} = 1 \end{aligned}$$

Esempio: $1101 + 111$

riporto	1	1	1	1		
		1	1	0	1	+
		0	1	1	1	=
somma	1	0	1	0	0	

Rappresentazione dei numeri naturali - somma

Esercizio:

eseguire in binario le seguenti somme

$$(124 + 98) \quad (44 + 87) \quad (132 + 71)$$
$$(145 + 43) \quad (22 + 22) \quad (123 + 45)$$

Rappresentazione dei numeri naturali

- Con n bit si possono rappresentare 2^n diversi numeri naturali. Quali sono?
- **Dalla codifica utilizzata** si deduce che i numeri rappresentabili appartengono all'intervallo: $(0; 2^n - 1)$

Rappresentazione dei numeri interi modulo e segno

Come rappresentare un numero intero con segno?

- Rappresentazione in **modulo e segno**
  - MSD indica il segno: $1 =$ negativo, $0 =$ positivo
  - i restanti bit indicano il modulo
  - esempio: $(1101)_2 = (-5)_{10}$, $(0111)_2 = (+7)_{10}$
  - notazione intuitiva ma...
  - scomoda per operazioni aritmetiche, lo zero ha due rappresentazioni!
- In questa codifica, con n bit si rappresentano i valori nell'intervallo: $(-2^{n-1} + 1; 2^{n-1} - 1)$

Rappresentazione dei numeri interi complemento a 2

Serve una rappresentazione che faciliti lo svolgimento delle operazioni:

- Rappresentazione in **complemento a 2**
  - Dati n bit, un numero positivo N è rappresentato in modo standard (come abbiamo visto per i naturali)
  - $-N$, invece si rappresenta come $2^n - N$
- Metodo operativo per rappresentare $-N$:
  - rappresentare il modulo N in modo standard
  - complementare tutti i bit ($1 \rightarrow 0$, $0 \rightarrow 1$)
  - sommare 1

Rappresentazione dei numeri interi complemento a 2

- In complemento a 2, con n bit, possiamo rappresentare gli interi nell'intervallo: $(-2^{n-1}; 2^{n-1} - 1)$
- Esempio: con 3 bit rappresentiamo i numeri in $(-4; 3)$

decimale	binario in C2	decimale	binario in C2
-4	100	0	000
-3	101	$+1$	001
-2	110	$+2$	010
-1	111	$+3$	011

- Il primo bit indica ancora il segno
- Lo zero ha una sola codifica

Rappresentazione dei numeri interi complemento a 2

Esercizio: convertire in complemento a 2 i seguenti numeri

$$(12)_{10} \quad (-12)_{10} \quad (-8)_{10}$$
$$(1)_{10} \quad (-101)_{10} \quad (-54)_{10}$$

Rappresentazione dei numeri interi complemento a 2

Come passare da complemento a 2 a base 10?

- Algoritmo inverso:
  - sottrarre 1
  - complementare a 1
  - convertire da binario a decimale e aggiungere il segno
- Metodo facilitato di verifica
  - convertire in decimale con l'algoritmo standard assegnando al bit piú significativo valore negativo
  - Esempio: $(10100)_2 = -1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 = (-12)_{10}$

Rappresentazione dei numeri interi complemento a 2

Esercizio: riconvertire in decimale i seguenti numeri in complemento a 2

(1001010)	(011)	(1101001)
(11111)	(10100)	(101)

Rappresentazione dei numeri interi - somma

Somma tra numeri naturali interi con segno:

- rappresentare i numeri in complemento a 2
- effettuare la somma in modo standard
- non considerare l'eventuale riporto sul bit di segno

Esempio: $60 - 54 = 60 + (-54)$

riporto	1	1	1	1				
		0	1	1	1	1	0	0	+
		1	0	0	1	0	1	0	=
somma	(1)	0	0	0	0	1	1	0	

Rappresentazione dei numeri interi
Overflow

- Sommiamo due numeri in complemento a 2 rappresentati con n bit, quindi appartenenti a $(-2^{n-1}; 2^{n-1} - 1)$
- Puó succedere che il risultato cada al di fuori dell'intervallo
- In altre parole: n bit non bastano per rappresentare il risultato! $\longrightarrow$ **OVERFLOW**
- Come riconoscerlo?
  - puó succedere solo quando si sommano due operandi dello stesso segno: **se il segno del risultato è diverso da quello degli operandi** è avvenuto un overflow!
  - gli ultimi due riporti sono diversi tra loro (01 o 10).

Rappresentazione dei numeri interi
Oveflow

Esempio: $(100)_2 + (101)_2$

riporto	1	0			
		1	0	0	+
		1	0	1	=
somma	(1)	0	0	1	

Rappresentazione dei numeri frazionari

- Numeri frazionari: compresi tra 0 e 1

$$(0.a_{-1}a_{-2}\ldots a_{-n})_b = a_{-1} \times b^{-1} + a_{-2} \times b^{-2} + \ldots + a_{-n} \times b^{-n}$$

Esempio:

$$(0.587)_{10} = 5 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2} + 7 \times 10^{-3}$$

- Conversione da base 2 a base 10:

$$(0.1011)_2 = 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} = (0.6875)_{10}$$

Rappresentazione dei numeri frazionari

- Come convertire n da base 10 a base 2?

Procedimento

1. moltiplicare n per 2
2. la parte intera del risultato diventa la cifra **piú** significativa (la prima che resta da calcolare) del numero in base 2
3. si torna al passo 1 considerando la parte frazionaria del risultato al posto di n

- Quando si finisce?
  - Soltanto i numeri del tipo $\frac{m}{2^z}$ possono essere rappresentati con un numero finito di cifre
  - Ci si ferma quando il numero di cifre calcolate costituisce un'approssimazione sufficiente

Rappresentazione dei numeri frazionari

Esempio: $(0.587)_{10} = (?)_2$

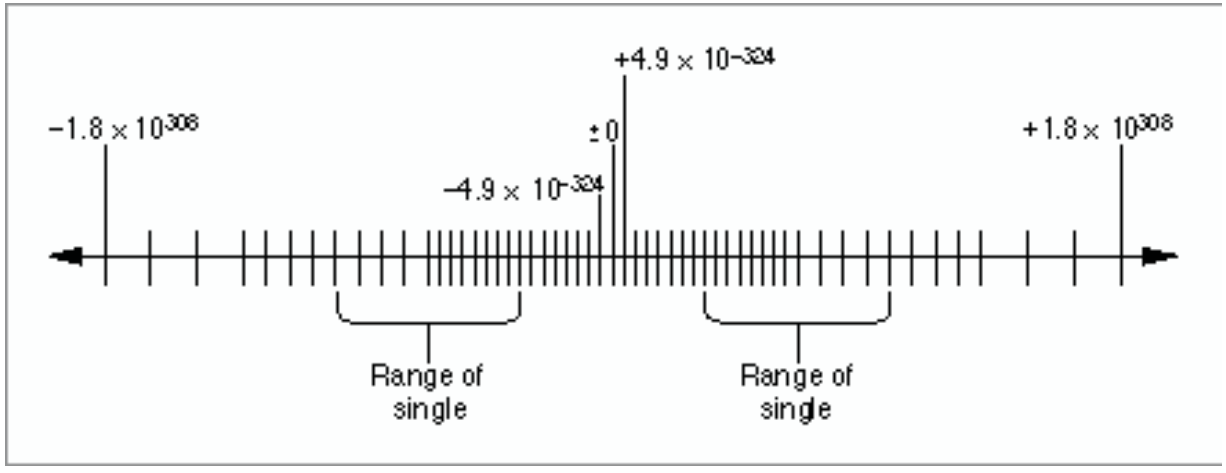
$$
\begin{array}{lll}
0.587 \times 2 = 1.174 & \text{parte intera} = 1 & \text{MSD} \\
0.174 \times 2 = 0.348 & \text{parte intera} = 0 & \\
0.348 \times 2 = 0.696 & \text{parte intera} = 0 & \\
0.696 \times 2 = 1.392 & \text{parte intera} = 1 & \\
0.392 \times 2 = 0.784 & \text{parte intera} = 0 & \\
0.784 \times 2 = 1.568 & \text{parte intera} = 1 &
\end{array}
$$

$$\ldots$$

Rappresentazione dei numeri razionali

- Rappresentazione in **virgola mobile**
- Un numero razionale N è espresso come: $N = m \times 10^e$
  - m è la **mantissa**, numero frazionario con segno
  - e è l'**esponente**, numero intero

Numeri rappresentabili in 64 bit



Rappresentazione dei caratteri

Tre possibili rappresentazioni:

- **ASCII standard**: un carattere è rappresentato con 7 bit *(ASCII = American Standard Code for Information Interchange)*
- **ASCII estesa**: un carattere è rappresentato con 8 bit
- **UNICODE** : un carattere è rappresentato con 16 bit (MS Windows ne usa una simile)

Rappresentazione dei caratteri

Pssiamo rappresentare caratteri, cifre, simboli, . . .

Byte	Cod.	Char
00100000	32	Spc
00100001	33	!
00100010	34	"
00100011	35	#
00100100	36	$
00100101	37	%
00100110	38	&
00100111	39	'
00101000	40	(
00101001	41	)
00101010	42	*
00101011	43	+
00101100	44	,
00101101	45	-
00101110	46	.
00101111	47	/
00110000	48	0
00110001	49	1
00110010	50	2
00110011	51	3
00110100	52	4
00110101	53	5

Byte	Cod.	Char
01000000	64	@
01000001	65	A
01000010	66	B
01000011	67	C
01000100	68	D
01000101	69	E
01000110	70	F
01000111	71	G
01001000	72	H
01001001	73	I
01001010	74	J
01001011	75	K
01001100	76	L
01001101	77	M
01001110	78	N
01001111	79	O
01010000	80	P
01010001	81	Q
01010010	82	R
01010011	83	S
01010100	84	T
01010101	85	U

Byte	Cod.	Char
01100000	96	`
01100001	97	a
01100010	98	b
01100011	99	c
01100100	100	d
01100101	101	e
01100110	102	f
01100111	103	g
01101000	104	h
01101001	105	i
01101010	106	j
01101011	107	k
01101100	108	l
01101101	109	m
01101110	110	n
01101111	111	o
01110000	112	p
01110001	113	q
01110010	114	r
01110011	115	s
01110100	116	t
01110101	117	u

Rappresentazione dei caratteri

E le parole? Sono sequenze di caratteri

Esempio: **informatica generale**

01101001	01101110	01100110	01101111	01110010
i	n	f	o	r
01101101	01100001	01110100	01101001	01100011
m	a	t	i	c
01100001	00100000	01100111	01100101	01101110
a		g	e	n
01100101	01110010	01100001	01101100	01100101
e	r	a	l	e

Rappresentazione dei caratteri

Esercizio 1

- Domanda:
  alfabeto immaginario di 322 simboli: quanti bit per rappresentarli tutti?
- Risposta:
  $2^9 \geqslant 322$, $2^9 = 512$, quindi $n = 9$

Esercizio 2

- Domanda:
  quanti bit o byte occupa la frase *biologia marina* nelle tre diverse codifiche?
- Risposta:
  In ASCII 105bit, in ASCII estesa 15byte, in UNICODE 30byte.

Codifica

Esercizio

- Domanda:
  Cosa rappresenta la stringa 01000011?
- Risposta:
  Se interpretata come un numero naturale è 67, se interpretata come carattere è C. Dipende!

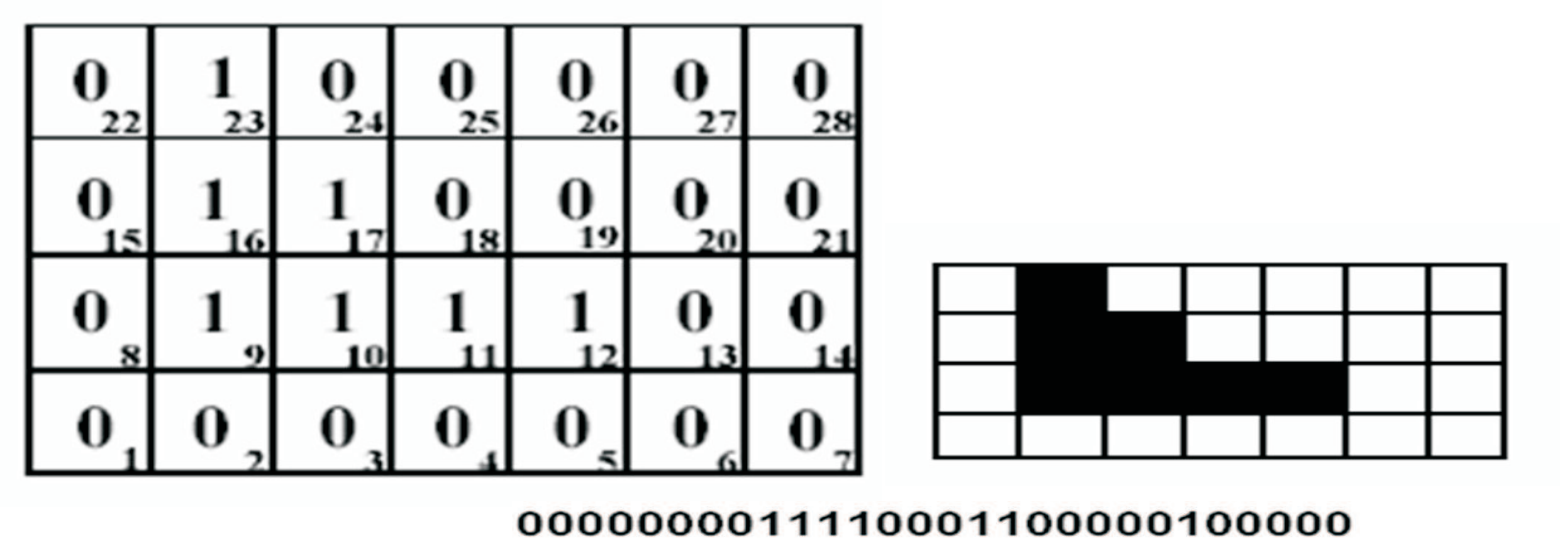
- La codifica è una convenzione!

Rappresentazione delle immagini

L'immagine è suddivisa in pixel

Rappresentazione delle immagini

Ad ogni pixel associamo una rappresentazione binaria:



Rappresentazione delle immagini

- Assegnando un bit ad ogni pixel si possono rappresentare solo immagini in bianco e nero
- Per rappresentare immagini a diversi livelli di grigio o a colori: a ogni pixel è associata una sequenza di bit
  - con 8 bit per pixel: $2^8 = 256$ livelli di grigio
  - con 24 bit per pixel: $2^{24} = 16777216$, 16.7 milioni di colori

Rappresentazione delle immagini

- Nei monitor è utilizzato lo **standard RGB**: ogni colore è ottenuto mescolando tre diverse gradazioni dei colori primari (rosso verde e blu)
- Per ogni pixel bisogna specificare quali sono i livelli dei tre colori
- Esempio: un byte per ogni livello. Un pixel è rappresentato con 24 bit (3 byte).
- Risoluzione: numero di pixel presenti sullo schermo (800×600, 1024×768, 1600×1200)

Rappresentazione delle immagini

Esercizio 1

- Domanda:
  quanti byte occupa un'immagine di 100×100 pixel in bianco e nero?
- Risposta:
  l'immagine è composta da $100 \times 100 = 10000$ pixel. Per ogni pixel, in bianco e nero, serve 1 bit quindi servono in totale 10000 bit e cioè $10000/8 = 1250$ byte.

Rappresentazione delle immagini

Esercizio 2

- Domanda:
  quanti byte occupa un'immagine di $100x100$*pixel* a 256 colori?
- Risposta:
  l'immagine è composta da 10000 pixel. Per ogni pixel, con 256 colori, serve 1 byte (8 bit), quindi servono in totale 10000 byte.

Rappresentazione delle immagini

Esercizio 3

- Domanda:
  se un'immagine a 16,7 milioni di colori occupa 2400 byte, da quanti pixel sará composta?
- Risposta:
  con 16,7 milioni di colori un pixel occupa 3 byte, quindi l'immagine occupa $2400/3 = 800$ pixel

Rappresentazione delle immagini

- Immagini **bitmap**
  - rappresentate pixel per pixel
  - tipicamente in file con estensione .bmp
  - hanno elevate dimensioni
- Immagini **bitmap compresse**
  - GIF (Graphics Interchange Format), JPEG (Joint Photographic Experts Group)
  - Per esempio, se k pixel lungo la stessa riga hanno lo stesso colore, si memorizza il colore una volta sola e il numero k
- Immagini **vettoriali**
  - sono rappresentate specificando gli elementi geometrici (punti, segmenti, poligoni,. . .) che le compongono
  - SVG (Scalable Vector Graphics)
  - dimensioni ridotte

Unitá di misura

Di solito si usano i multipli del byte

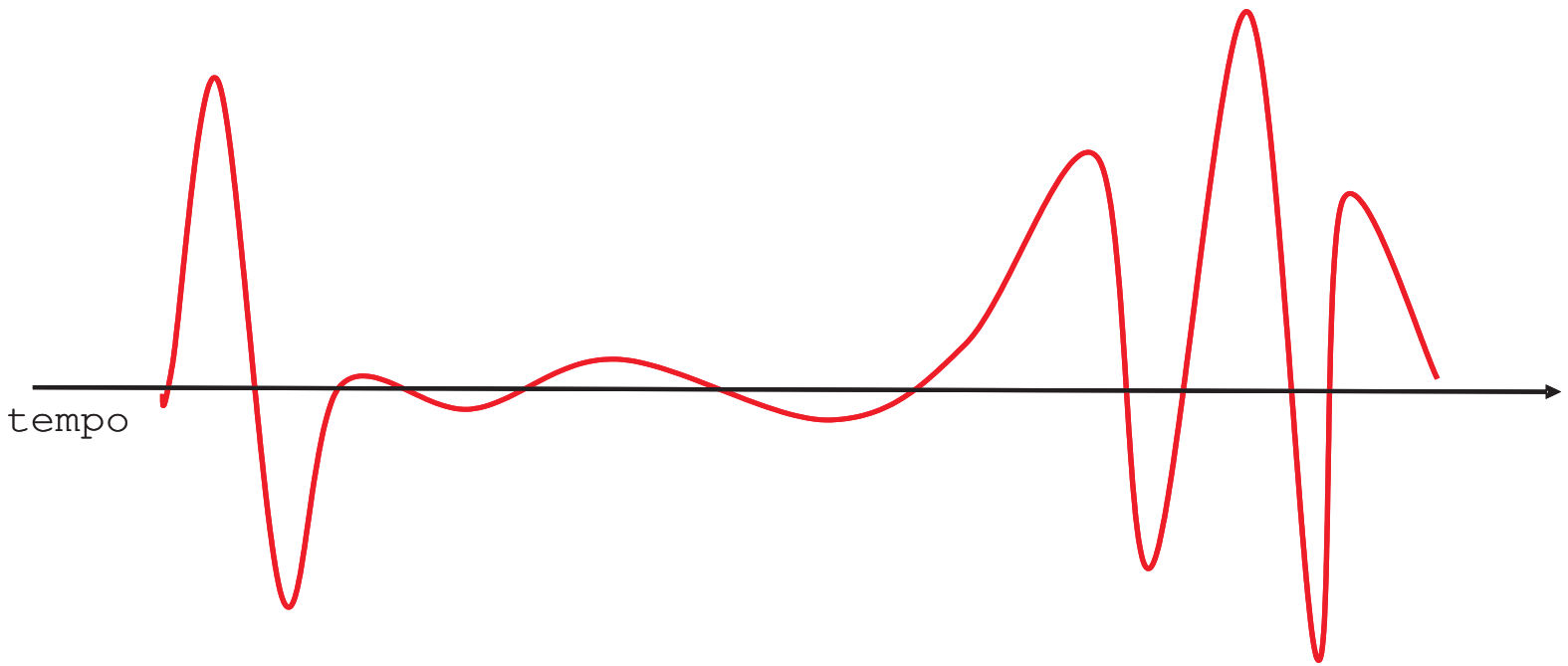
Kilo	KB	2^{10} (circa un migliaio, 1024)
Mega	MB	2^{20} (circa un milione, $1KB \times 1024$)
Giga	GB	2^{30} (circa un miliardo, $1MB \times 1024$)
Tera	GB	2^{40} (circa un migliaio di miliardi, $1GB \times 1024$)

Rappresentazione di video

- Un filmato é una sequenza temporale di immagini, dette **frames**
- Per rappresentare un filmato si digitalizzano i suoi frames
- Vari formati
  - .avi (Audio Video Interleave, Microsoft)
  - .mov (anche detto QuickTime, Apple)
  - .mpeg (anche detto QuickTime, Apple)
  - DivX ;-)
- Compressione: rappresentare solo differenze tra frame successivi

Rappresentazione dei suoni

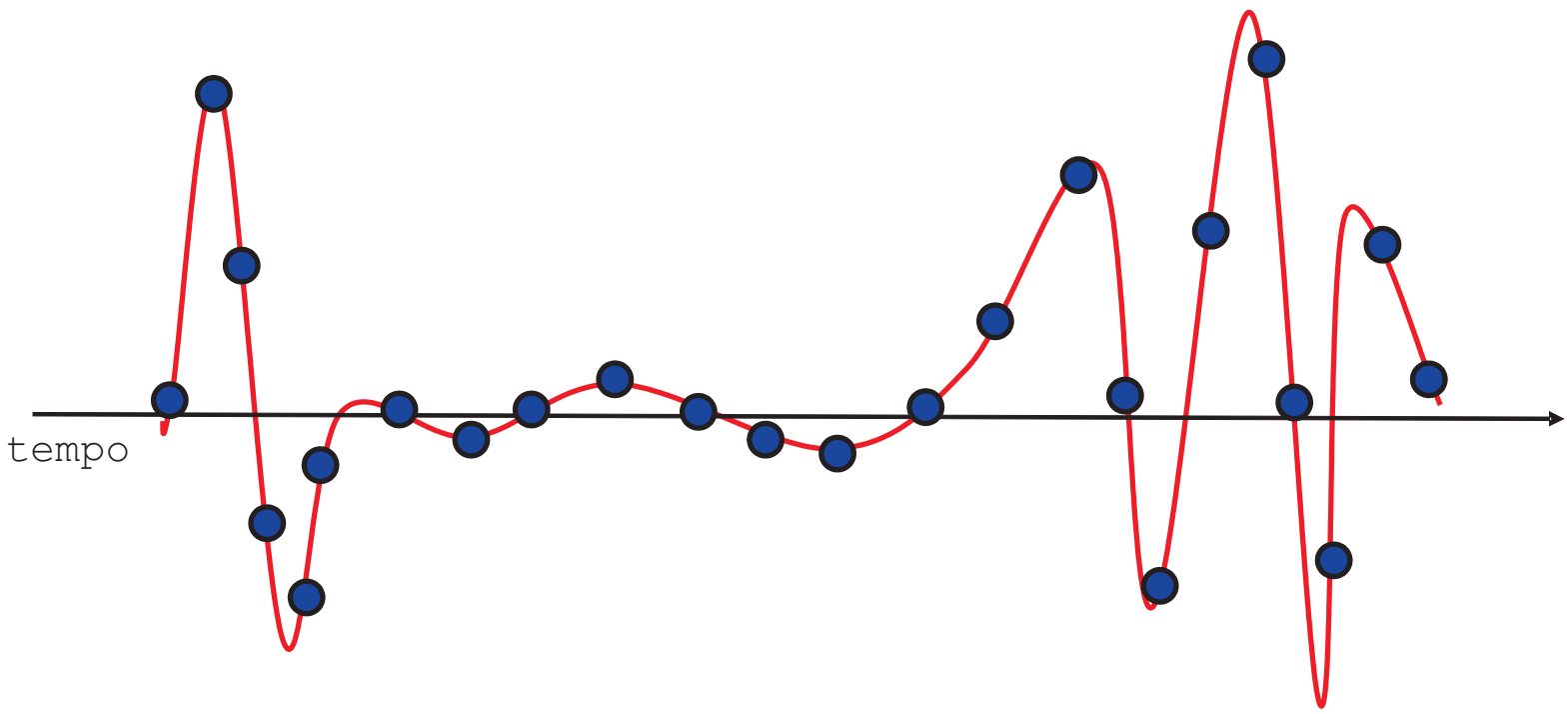
Fisicamente un suono é rappresentato come un'onda che descrive la variazione della pressione dell'aria nel tempo (onda sonora):



Rappresentazione dei suoni

L'onda sonora é campionata, cioé si misura l'ampiezza ad intervalli di tempo regolari:

- Ampiezza misurata in un dato istante di tempo = campione
- Il numero di misure effettuate in un secondo definisce la frequenza di campionamento (Hertz, Hz)



Rappresentazione dei suoni

- L'accuratezza della ricostruzione dipende
  - dalla frequenza di campionamento
  - dal numero di bit usati per rappresentare ogni campione
- Maggiore accuratezza significa maggior quantitá di memoria occupata
- Tecniche di compressione
  - Algoritmi lossy: sfruttano il fatto che suoni a basso volume sovrapposti a suoni ad alto volume sono poco udibili dall'orecchio umano e possono essere eliminati
  - MPEG-1 Layer 3, detto anche MP3

Rappresentazione dei suoni

Esercizio 1

- Domanda:
  quanto spazio occupa un suono della durata di 10 secondi campionato a 100 Hz, in cui ogni campione occupa 4 byte?
- Risposta:
  la frequenza di campionamento ci dice quanti campioni di suono vengono memorizzati in un secondo, 100 in questo caso. Avendo 10 secondi di suono avremo $10 \times 100 = 1000$ campioni. Poichè ogni campione richiede 4 byte, il suono occuperá $1000 \times 4 = 4000$ byte

Rappresentazione dei suoni

Esercizio 2

- Domanda:
  un secondo di suono campionato a 512 Hz occupa 1KB.
  Quanti valori distinti si possono avere per i campioni?
- Risposta:
  poichè vengono memorizzati 512 campioni al secondo, avremo in tutto 512 campioni. Il file sonoro occupa 1 KB, cioè 1024 byte e quindi ogni singolo campione occuperá $1024/512 = 2$ byte, ovvero 16 bit. Si potranno quindi avere $2^{16} = 65536$ valori distinti.

Rappresentazione di informazioni complesse

- Per rappresentare un testo, un'immagine, un suono, la filosofia di base è la stessa
- Si stabilisce e si usa una prima convenzione per rappresentare ogni unitá elementare (un carattere per il testo, un pixel per l'immagine, un campione per il suono)
- Si stabilisce e si usa una seconda convenzione per rappresentare insiemi di unitá elementari
    - Tecniche di compressione