I.I.S. *"Francesco Alberghetti"* Imola

Liceo Scientifico Scienze Applicate

Codifica dell'informazione

Il sistema binario, esadecimale e cenni di logica booleana

Materiale didattico di Informatica

Prof. Federico Mazzini

Anno scolastico 2025 – 2026

Indice

1 Informazione, dato e rappresentazione

Nel contesto dell'informatica tutto ruota intorno a tre concetti fondamentali:

- **dato**
- **informazione**
- **rappresentazione**

Questi termini vengono spesso usati in modo intuitivo. Risulta quindi utile fissare una distinzione chiara.

1.1 Dato

Per **dato** si intende un elemento grezzo, non ancora interpretato. Un numero scritto su un foglio, una sequenza di simboli, una misura in forma numerica costituiscono dati.

Un esempio:

- La scritta `42` rappresenta un dato. Da sola, non indica se si parla di una temperatura, di un'età, di un punteggio o di un codice.

1.2 Informazione

L'**informazione** nasce quando un dato viene interpretato in un contesto.

Esempi:

- `42` accompagnato dalla parola "anni" viene interpretato come un'età.
- `42 °C` indica una temperatura.
- `42 km` rappresenta una distanza.

Il significato dipende quindi dal **contesto** e dalle **regole di interpretazione** condivise.

1.3 Rappresentazione

La **rappresentazione** riguarda il modo in cui un'informazione viene codificata. La stessa informazione può avere rappresentazioni differenti.

Esempi:

- Il numero quarantadue può essere rappresentato come `42` in decimale, `101010` in binario, `2A` in esadecimale.
- Una nota musicale può essere rappresentata come simbolo sul pentagramma, come frequenza in Hz, come sequenza di campioni digitali.

Nel calcolatore ogni rappresentazione deve essere ricondotta a una sequenza di bit. Questo costituisce il punto di partenza per tutto il resto.

1.4 Perché serve una rappresentazione digitale

I dispositivi elettronici lavorano con segnali elettrici che assumono stati distinti (ad esempio, presenza o assenza di tensione). Risulta naturale sfruttare due soli stati logici e rappresentarli con i simboli 0 e 1.

Tutta l'informatica digitale si basa su questa scelta: due stati ben separati sono più affidabili da distinguere fisicamente rispetto a molti stati intermedi. Da qui nasce la rappresentazione binaria.

2 Bit, byte e quantità di informazione

2.1 Il bit

Il **bit** (*binary digit*) costituisce l'unità minima di informazione trattata da un calcolatore. Può assumere solo due valori possibili:

$$0 \text{ oppure } 1$$

2.2 Il byte e i suoi multipli

Per ragioni pratiche i bit vengono raggruppati in blocchi di 8. Otto bit formano un **byte**. Il byte rappresenta l'unità di misura di base per la memoria e per la capacità di memorizzazione.

Multipli più comuni:

- 1 KB (kilobyte) = 1024 byte
- 1 MB (megabyte) = 1024 KB
- 1 GB (gigabyte) = 1024 MB
- 1 TB (terabyte) = 1024 GB

Perchè proprio 1024?

L'uso di 1024 anziché 1000 è dovuto alla natura binaria dei calcolatori: $1024 = 2^{10}$.

2.3 Numero di stati rappresentabili

Con n bit è possibile rappresentare 2^n configurazioni diverse. Ogni bit può assumere 2 valori, quindi le combinazioni totali si ottengono moltiplicando:

$$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdots 2 = 2^n$$

In maniera molto intuitiva:

- con 1 bit $\rightarrow$ 2 stati (0,1)
- con 2 bit $\rightarrow$ 4 stati (00,01,10,11)
- con 3 bit $\rightarrow$ 8 stati

- con 8 bit $\rightarrow$ 256 stati
- con 16 bit $\rightarrow$ 65536 stati

Questa formula è alla base di tutte le scelte di codifica: numero di colori rappresentabili, caratteri possibili, livelli di intensità sonora, ecc.

2.4 Quantità di informazione e scelta del numero di bit

Maggiore è il numero di stati da distinguere, maggiore deve essere il numero di bit utilizzati. Ad esempio:

- per rappresentare i numeri da 0 a 9 non basta usare 3 bit (8 stati), sono necessari almeno 4 bit (16 stati), anche se alcuni rimangono inutilizzati.
- per rappresentare tutti i caratteri di base di una tastiera vengono usati 7 o 8 bit.
- per rappresentare un colore in formato RGB a 24 bit vengono sfruttati 8 bit per ciascuno dei tre canali (rosso, verde, blu).

Perché proprio 1 byte = 8 bit?

Nei primi calcolatori (dal 1950) non esisteva una dimensione "giusta" per il gruppo di bit: furono sperimentate soluzioni con 6, 7, 9 bit e oltre. Il blocco da 8 bit si è però imposto nel tempo come standard perché rappresenta un buon compromesso tra semplicità hardware e capacità informativa.

Con 8 bit si hanno infatti $2^8 = 256$ combinazioni possibili. Questo numero di stati è sufficiente a rappresentare:

- le lettere maiuscole e minuscole dell'alfabeto inglese;
- le cifre da 0 a 9;
- la punteggiatura e vari simboli speciali;
- alcuni codici di controllo (ad esempio invio, lo spazio, ecc.).

Inoltre, 8 è una potenza di 2 ($2^3 = 8$).

3 I sistemi di numerazione posizionale

Per comprendere il sistema binario risulta utile definire il funzionamento del sistema decimale.

3.1 Sistema decimale

Il sistema decimale si basa sulla **base 10**. Ciò significa che:

- sono disponibili 10 **simboli**: da 0 a 9;
- ogni **posizione** rappresenta una **potenza** di 10.

Esempio:

$$472 = 400 + 70 + 2 = 4 \cdot 10^2 + 7 \cdot 10^1 + 2 \cdot 10^0$$

Il valore di una cifra dipende quindi sia dal simbolo, sia dalla posizione.

3.2 Definizione di sistema posizionale

Un sistema di numerazione posizionale è caratterizzato da:

- una base b (numero di simboli disponibili);
- un insieme di cifre da 0 a $b - 1$;
- il valore di ciascuna cifra è dato dalla cifra stessa moltiplicata per una potenza della base.

Un numero generico in base b può essere scritto come:

$$(a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_b$$

e interpretato come:

$$a_n b^n + a_{n-1} b^{n-1} + \cdots + a_1 b^1 + a_0 b^0$$

3.3 Sistema binario

Il sistema binario utilizza base 2. Le cifre possibili sono solo due:

$$0 \text{ e } 1$$

Ogni posizione rappresenta una potenza di 2:

$$\dots, 2^4, 2^3, 2^2, 2^1, 2^0$$

Esempio di interpretazione:

$$(1011)_2 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 8 + 0 + 2 + 1 = 11_{10}$$

3.4 Perché il binario è usato nei calcolatori

La scelta della base 2 non è casuale. Due stati logici distinti si prestano a essere rappresentati con facilità mediante livelli di tensione differenti (ad esempio, alto/basso, presenza di corrente elettrica oppure no). La semplicità a livello fisico si traduce in affidabilità e velocità.

4 Conversioni tra decimale e binario

4.1 Conversione da binario a decimale

La conversione da binario a decimale segue direttamente la definizione di sistema posizionale.

Procedura:

1. si scrive il numero binario separando le cifre;
2. si associa a ogni cifra la potenza di 2 corrispondente (partendo da destra con 2^0);
3. si moltiplica ogni cifra (0 o 1) per la propria potenza di 2;
4. si sommano i risultati.

Esempio:

$$\begin{aligned}(11010)_2 &= 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 \\ &= 16 + 8 + 0 + 2 + 0 = 26_{10}\end{aligned}$$

4.2 Conversione da decimale a binario: metodo delle divisioni successive

Il metodo più comune per la conversione da decimale a binario si basa su divisioni successive per 2.

Procedura generale:

1. si divide il numero decimale per 2;
2. si registra il resto (0 o 1);
3. si sostituisce il numero con il quoziente della divisione;
4. si ripete fino a ottenere quoziente 0;
5. si leggono i resti dal basso verso l'alto.

Esempio: conversione di 19 in binario.

$$\begin{aligned}19 : 2 &= 9 \quad \text{e resto } 1 \\ 9 : 2 &= 4 \quad \text{e resto } 1 \\ 4 : 2 &= 2 \quad \text{e resto } 0 \\ 2 : 2 &= 1 \quad \text{e resto } 0 \\ 1 : 2 &= 0 \quad \text{e resto } 1\end{aligned}$$

Lettura dei resti dal basso verso l'alto:

$$19_{10} = (10011)_2$$

4.3 Osservazioni sulle conversioni

Le procedure di conversione non rappresentano solo un esercizio di calcolo: consentono di comprendere come il calcolatore interpreti i numeri e mostrano il legame stretto tra rappresentazione binaria e struttura interna della macchina.

5 Il sistema esadecimale

5.1 Definizione

Il sistema esadecimale utilizza base 16. Ciò significa che vengono impiegati 16 simboli distinti:

- le cifre decimali da 0 a 9;
- le lettere maiuscole da A a F.

Le lettere rappresentano i valori decimali da 10 a 15, come mostrato in tabella:

Simbolo	Valore decimale
A	10
B	11
C	12
D	13
E	14
F	15

Un numero esadecimale viene talvolta scritto con un prefisso (ad esempio `0x2A`) per distinguerlo da un numero decimale.

5.2 Collegamento con il binario

La base 16 risulta particolarmente comoda in ambito informatico per il legame diretto con la base 2:

$$2^4 = 16$$

Questa uguaglianza implica che **ogni gruppo di 4 bit** può essere rappresentato con una **singola cifra esadecimale** e viceversa.

Tabella di corrispondenza tra tutti i blocchi possibili di 4 bit e le cifre esadecimali:

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

Questa corrispondenza rende l'esadecimale una sorta di "abbreviazione leggibile" del binario.

5.3 Conversione binario – esadecimale

Grazie alla corrispondenza per gruppi di 4 bit, la conversione risulta diretta e meccanica.

Da binario a esadecimale

Procedura generale:

1. si parte dal numero binario;
2. si raggruppano i bit in blocchi da 4 a partire da destra (se necessario si aggiungono zeri a sinistra nell'ultimo blocco);
3. per ciascun blocco di 4 bit si individua la cifra esadecimale corrispondente nella tabella;
4. si scrivono le cifre esadecimali nello stesso ordine.

Esempio 1 Conversione di $(10110110)_2$ in esadecimale.

$$10110110_2$$

Raggruppamento in blocchi da 4 bit partendo da destra:

$$1011 \quad 0110$$

Da tabella:

$$1011_2 = B_{16}, \quad 0110_2 = 6_{16}$$

Quindi:

$$(10110110)_2 = (B6)_{16}$$

Esempio 2 Conversione di $(1100101)_2$ in esadecimale.

Il numero possiede 7 bit, non un multiplo di 4. Si completa il blocco più a sinistra aggiungendo uno zero:

$$(1100101)_2 = (0110\ 0101)_2$$

Blocchi da 4 bit:

$$0110 \quad 0101$$

Da tabella:

$$0110_2 = 6_{16}, \quad 0101_2 = 5_{16}$$

Quindi:

$$(1100101)_2 = (65)_{16}$$

Da esadecimale a binario

Procedura generale:

1. si considera ciascuna cifra esadecimale;
2. per ogni cifra si sostituisce il corrispondente blocco di 4 bit;
3. si concatenano i blocchi ottenuti.

Esempio 3 Conversione di $(3F)_{16}$ in binario.

- $3_{16} \to 0011_2$
- $F_{16} \to 1111_2$

Quindi:

$$(3F)_{16} = (0011\ 1111)_2 = (00111111)_2$$

Esempio 4 Conversione di $(A2)_{16}$ in binario.

- $A_{16} \to 1010_2$
- $2_{16} \to 0010_2$

Quindi:

$$(A2)_{16} = (1010\ 0010)_2 = (10100010)_2$$

5.4 Perché usare l'esadecimale

La scrittura binaria di numeri lunghi risulta poco leggibile e difficile da controllare a colpo d'occhio. L'esadecimale offre:

- una **forma più compatta**: riduce la lunghezza delle sequenze rispetto al binario;
- una **relazione diretta con il binario**: la conversione avviene per gruppi di 4 bit, senza calcoli complessi;
- una **maggiore leggibilità** per esseri umani in contesti tecnici (programmazione di basso livello, analisi della memoria, debug).

In molti strumenti di sviluppo, valori che la macchina tratta in binario vengono presentati in esadecimale perché risulta un compromesso efficace tra "vicinanza all'hardware" e comprensione umana.

5.5 Perché si usa l'esadecimale

Le sequenze di bit risultano poco leggibili quando diventano lunghe. L'esadecimale permette di riscrivere gruppi di bit in una forma più compatta e comprensibile, mantenendo comunque una corrispondenza esatta con il binario.

In pratica, i bit vengono raggruppati a gruppi di 4 e ogni gruppo viene sostituito con una cifra esadecimale. In questo modo una lunga sequenza di 0 e 1 si trasforma in pochi simboli più facili da interpretare.

Esempio Si consideri il numero binario:

$$(101010)_2$$

Poiché il numero contiene 6 bit, si aggiungono zeri a sinistra fino a ottenere un multiplo di 4:

$$(101010)_2 = (0010\ 1010)_2$$

Si convertono i blocchi separatamente:

$$0010_2 = 2_{16}, \quad 1010_2 = A_{16}$$

Si ottiene quindi:

$$(101010)_2 = (2A)_{16}$$

Questo esempio mostra come una sequenza binaria venga trasformata in una forma più compatta e leggibile. L'esadecimale consente quindi di "tradurre" il linguaggio dei bit in una notazione più adatta alla lettura umana, pur rimanendo rigorosamente legata alla rappresentazione interna del calcolatore.

6 Logica booleana

6.1 Decisioni sì/no

Nella vita quotidiana le decisioni spesso dipendono da condizioni che possono essere considerate vere o false.

Esempi:

- "se piove, allora si usa l'ombrello";
- "se l'età è maggiore o uguale a 18, allora è consentito votare";
- "se la batteria è scarica, allora si ricarica il dispositivo".

Ogni affermazione del tipo "condizione → azione" può essere formalizzata con la logica booleana.

6.2 Variabile booleana

Una **variabile booleana** può assumere solo due valori:

- vero (spesso indicato con 1);
- falso (spesso indicato con 0).

Questo modello è perfettamente compatibile con la rappresentazione mediante bit.

6.3 Operatori logici fondamentali

Gli operatori logici di base sono:

NOT (negazione): inverte il valore di verità.

AND (congiunzione): è vero solo se entrambe le condizioni sono vere.

OR (disgiunzione inclusiva): è vero se almeno una delle condizioni è vera.

6.4 Tabelle di verità

Le tabelle di verità descrivono il comportamento di un operatore logico rispetto a tutti i possibili input.

Operatore NOT (negazione)

L'operatore NOT inverte il valore logico della variabile: il vero diventa falso e il falso diventa vero.

A	NOT A
0	1
1	0

Operatore AND (congiunzione)

L'operatore AND restituisce vero solo quando entrambe le variabili assumono valore vero.

A	B	$A \wedge B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Operatore OR (disgiunzione)

L'operatore OR restituisce vero quando almeno una delle due variabili è vera.

A	B	$A \vee B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

6.5 Proprietà degli operatori logici

Gli operatori AND e OR possiedono diverse proprietà utili nella semplificazione delle espressioni booleane.

Proprietà commutativa Per AND e OR vale:

$$A \wedge B = B \wedge AA \vee B = B \vee A$$

Proprietà associativa L'ordine di raggruppamento non modifica il risultato:

$$(A \wedge B) \wedge C = A \wedge (B \wedge C)(A \vee B) \vee C = A \vee (B \vee C)$$

Proprietà distributiva AND e OR si distribuiscono in modo analogo a moltiplicazione e somma:

$$A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$$

6.6 Leggi di De Morgan

Le leggi di De Morgan permettono di trasformare la negazione di una congiunzione in una disgiunzione di negazioni e viceversa:

$$\neg(A \wedge B) = (\neg A) \vee (\neg B)\neg(A \vee B) = (\neg A) \wedge (\neg B)$$

Queste trasformazioni risultano fondamentali nella progettazione di circuiti logici e nella semplificazione di condizioni nei programmi.

6.7 Espressioni booleane

Un'espressione booleana combina variabili booleane e operatori logici.

Esempio:

$$(A \wedge B) \vee (\neg C)$$

Un'espressione di questo tipo può rappresentare una regola decisionale, una condizione di controllo o il comportamento di un circuito.

7 Codifica dei caratteri

7.1 Dal simbolo al numero

Per memorizzare e trasmettere testo, ogni carattere deve essere associato a un codice numerico. Questo codice viene poi rappresentato in binario e memorizzato come sequenza di bit.

L'importanza di standard comuni

Le codifiche caratteri permettono di trasformare un dato in informazione e risultano così importanti perché vengono utilizzate e condivise in tutto il mondo. Se ogni produttore di computer o ogni programma usasse una codifica "personale" e diversa dalle altre, lo stesso testo sarebbe diverso da computer a computer, o da nazione a nazione. L'informatica, essendo una disciplina globale, basa tutto il suo mondo sull'utilizzo di standard comuni.

Grazie a standard comuni:

- un file di testo scritto su un computer può essere letto correttamente su un altro;
- messaggi, email e pagine web mantengono gli stessi caratteri, accenti e simboli indipendentemente dal dispositivo;
- è possibile scambiare informazioni tra sistemi diversi senza dover riconvertire continuamente la rappresentazione dei caratteri.

La presenza di standard condivisi rende quindi possibile la comunicazione digitale su scala globale.

7.2 Codifica ASCII

La codifica **ASCII** (American Standard Code for Information Interchange) è una delle prime standardizzazioni per la rappresentazione dei caratteri. Il suo scopo è associare in modo univoco ad ogni carattere un numero intero.

Caratteristiche principali:

- utilizzo di 7 bit per carattere (128 possibili simboli, da 0 a 127);
- presenza di lettere maiuscole e minuscole dell'alfabeto inglese;
- cifre da 0 a 9;
- segni di punteggiatura;
- alcuni caratteri di controllo (invio, tabulazione, ecc.).

Il calcolatore non memorizza direttamente le lettere, ma memorizza i **codici numerici** corrispondenti. La tastiera invia il codice del tasto premuto e il programma visualizza il carattere associato al codice.

Esempi di associazione tra caratteri e codici ASCII:

Carattere	Codice decimale	Codice binario (8 bit)
`'0'`	48	00110000
`'1'`	49	00110001
`'A'`	65	01000001
`'B'`	66	01000010
`'a'`	97	01100001
spazio	32	00100000

ASCII è stato progettato per l'inglese. Non include le lettere accentate, caratteri di alfabeti non latini, simboli di lingue asiatiche o emoji. Con la diffusione globale dei calcolatori è diventato necessario utilizzare sistemi che permettessero di rappresentare molti più simboli. Oggi, quindi, la codifica ASCII non è più molto utilizzata. Altrimenti non potremmo rappresentare le emoji, limitandoci ad esempio a questo :D

Byte	Cod.	Char	Byte	Cod.	Char	Byte	Cod.	Char	Byte	Cod.	Char
00000000	0	Null	00100000	32	Spc	01000000	64	@	01100000	96	`
00000001	1	Start of heading	00100001	33	!	01000001	65	A	01100001	97	a
00000010	2	Start of text	00100010	34	"	01000010	66	B	01100010	98	b
00000011	3	End of text	00100011	35	#	01000011	67	C	01100011	99	c
00000100	4	End of transmit	00100100	36	$	01000100	68	D	01100100	100	d
00000101	5	Enquiry	00100101	37	%	01000101	69	E	01100101	101	e
00000110	6	Acknowledge	00100110	38	&	01000110	70	F	01100110	102	f
00000111	7	Audible bell	00100111	39	'	01000111	71	G	01100111	103	g
00001000	8	Backspace	00101000	40	(	01001000	72	H	01101000	104	h
00001001	9	Horizontal tab	00101001	41	)	01001001	73	I	01101001	105	i
00001010	10	Line feed	00101010	42	*	01001010	74	J	01101010	106	j
00001011	11	Vertical tab	00101011	43	+	01001011	75	K	01101011	107	k
00001100	12	Form Feed	00101100	44	,	01001100	76	L	01101100	108	l
00001101	13	Carriage return	00101101	45	-	01001101	77	M	01101101	109	m
00001110	14	Shift out	00101110	46	.	01001110	78	N	01101110	110	n
00001111	15	Shift in	00101111	47	/	01001111	79	O	01101111	111	o
00010000	16	Data link escape	00110000	48	0	01010000	80	P	01110000	112	p
00010001	17	Device control 1	00110001	49	1	01010001	81	Q	01110001	113	q
00010010	18	Device control 2	00110010	50	2	01010010	82	R	01110010	114	r
00010011	19	Device control 3	00110011	51	3	01010011	83	S	01110011	115	s
00010100	20	Device control 4	00110100	52	4	01010100	84	T	01110100	116	t
00010101	21	Neg. acknowledge	00110101	53	5	01010101	85	U	01110101	117	u
00010110	22	Synchronous idle	00110110	54	6	01010110	86	V	01110110	118	v
00010111	23	End trans. block	00110111	55	7	01010111	87	W	01110111	119	w
00011000	24	Cancel	00111000	56	8	01011000	88	X	01111000	120	x
00011001	25	End of medium	00111001	57	9	01011001	89	Y	01111001	121	y
00011010	26	Substitution	00111010	58	:	01011010	90	Z	01111010	122	z
00011011	27	Escape	00111011	59	;	01011011	91	[	01111011	123	{
00011100	28	File separator	00111100	60	<	01011100	92	\	01111100	124	|
00011101	29	Group separator	00111101	61	=	01011101	93	]	01111101	125	}
00011110	30	Record Separator	00111110	62	>	01011110	94	^	01111110	126	~
00011111	31	Unit separator	00111111	63	?	01011111	95	_	01111111	127	Del

Tabella ASCII completa

Esempio completo: da testo a numeri

Si consideri la frase:

`"ciao a tutti"`

Carattere	Codice decimale ASCII
`'c'`	99
`'i'`	105
`'a'`	97
`'o'`	111
spazio	32
`'a'`	97
spazio	32
`'t'`	116
`'u'`	117
`'t'`	116
`'t'`	116
`'i'`	105

Seguendo la tabella ASCII, la frase `"ciao a tutti"` viene memorizzata come una sequenza di numeri:

"ciao a tutti" → 99 105 97 111 32 97 32 116 117 116 116 105

In codice binario, quindi sul nostro computer, la frase è rappresentata in questa maniera:

"ciao a tutti" → 01100011 01101001 01100001 01101111 00100000 01100001
00100000 01110100 01110101 01110100 01110100 01101001

L'astrazione che ritorna

Quello che al nostro occhio appare come una sequenza di lettere e spazi, per il calcolatore è solamente una sequenza di segnali elettrici (0 e 1). Anche in questo caso possiamo parlare di **astrazione**. Nascondiamo i segnali elettrici, nascondiamo i bit e i numeri della tabella ASCII, rimane il livello umano, quello (per noi) semplice da capire e veramente utile.

7.3 Unicode

La codifica **Unicode** nasce per risolvere un problema semplice: i computer non vengono usati solo da persone che scrivono in inglese. La codifica ASCII, metteva a disposizione 128 possibili caratteri, ma ad oggi, tra lettere accentate, alfabeti diversi (greco, cirillico, arabo, ecc.), simboli matematici, frecce, segni grafici ed emoji, i caratteri da rappresentare sono migliaia.

L'idea di base di Unicode è simile a quella di ASCII: **ogni simbolo che può comparire su uno schermo o in un testo digitale riceve un numero**. La vera differenza sta nel *quantitativo* di simboli che si possono rappresentare. Nel codice ASCII classico, usando 7 bit, si hanno a disposizione

$$2^7 = 128 \text{ simboli diversi,}$$

Unicode utilizza numeri più grandi, scritti spesso in **codice esadecimale** per comodità. Con 5 cifre esadecimali si possono rappresentare fino a

$$16^5 = 1\,048\,576 \text{ simboli diversi,}$$

molto di più dei 128 di ASCII :D.

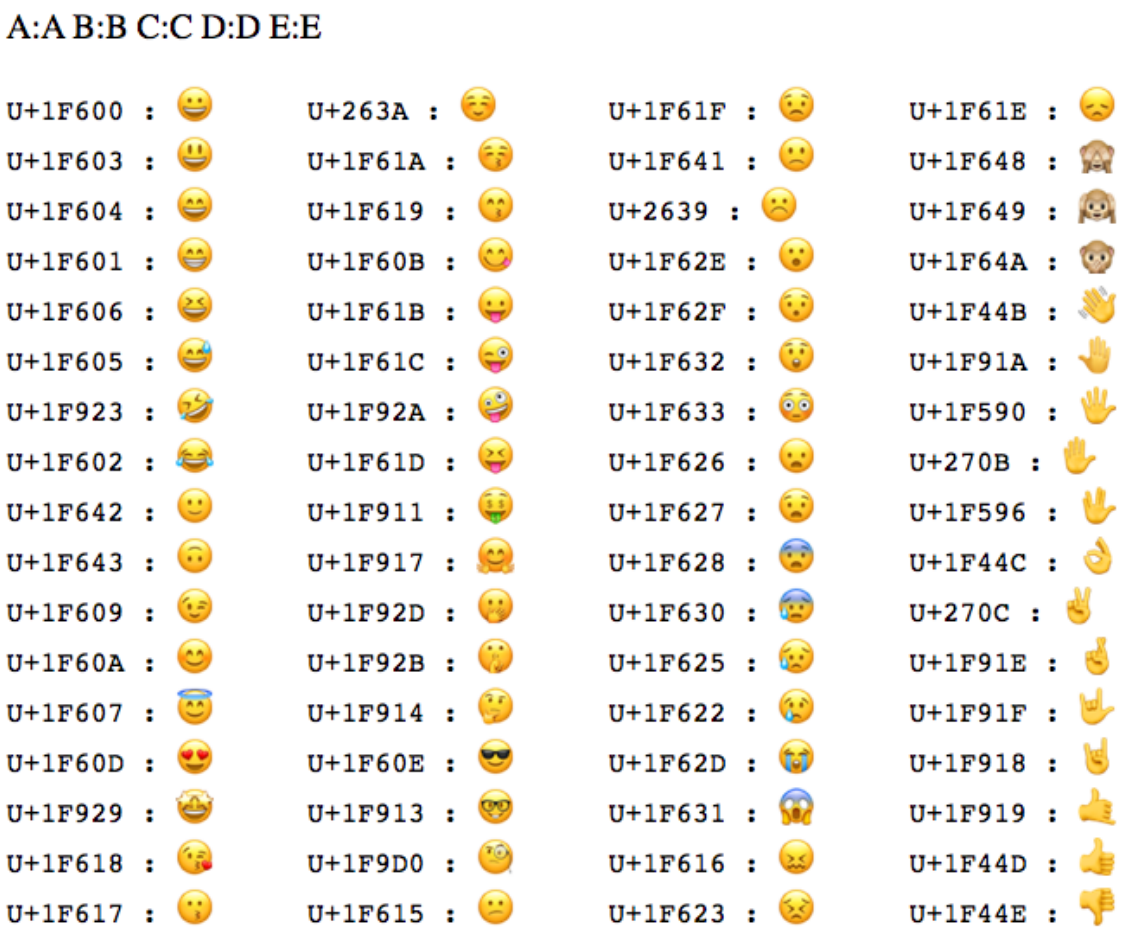


Tabella parziale Unicode rappresentante alcune emoji

In sintesi, Unicode definisce un grande "dizionario" mondiale dei simboli, molto più ampio di quello offerto da ASCII, in cui a ogni simbolo corrisponde un numero univoco.

Questo dizionario stabilisce *quali* simboli esistono e *quale* numero li rappresenta, ma non specifica ancora *come* questi numeri vengano memorizzati in termini di byte e bit. Per passare dai code point ai bit veri e propri, quindi alla **rappresentazione pratica** si usano delle regole chiamate **codifiche**, la più importante è UTF-8.

7.4 UTF-8

UTF-8 è una delle possibili **codifiche** di Unicode.

Le sue caratteristiche fondamentali sono:

- codifica a lunghezza variabile: da 1 a 4 byte per carattere;
- compatibilità con ASCII: i primi 128 caratteri (quelli ASCII) vengono rappresentati con un singolo byte identico ad ASCII;
- caratteri non ASCII (accenti, simboli, emoji) utilizzano 2, 3 o 4 byte.

La lunghezza variabile di UTF-8 può essere illustrata mostrando la reale rappresentazione in bit di alcuni caratteri e parole:

`Simbolo / parola`	Rappresentazione in bit (UTF-8)
`'A'`	01000001
`'z'`	01111010
`'è'`	11000011 10101000
`'€'`	11100010 10000010 10101100
`"casa"`	01100011 01100001 01110011 01100001
`"città"`	01100011 01101001 01110100 01110100 11000011 10100000

Si osserva che:

- i caratteri ASCII semplici (come `'A'` e `'z'`) occupano 1 solo byte;
- caratteri accentati come `'è'` richiedono più spazio;
- simboli come `'€'` utilizzano ancora più byte;
- due parole apparentemente simili, come `"casa"` e `"città"`, occupano quantità di memoria diverse a causa delle lettere accentate.

Come fa il computer a sapere quanti byte leggere?

Se UTF-8 usa da 1 a 4 byte per carattere, **come fa il computer a capire quanti byte fanno parte di ciascun carattere**? Non ci sono virgole o spazi tra un carattere e l'altro nel flusso di byte. L'idea è che **i primi bit del primo byte** di ogni carattere contengono un "segnale" che indica quanto è lungo il carattere.

Esempio

`Simbolo`	Rappresentazione in byte
`'A'`	01000001
`'è'`	11000011 10101000
`'€'`	11100010 10000010 10101100

Si osserva che:

- quando il carattere occupa **un solo byte**, il primo bit è 0 (`'A'`);
- quando il carattere occupa **2 byte**, i primi 2 bit sono 1 (`'è'`);
- quando il carattere occupa **3 byte**, i primi 3 bit sono 1 (`'è'`);
- i byte che seguono un carattere più lungo (secondo, terzo o quarto byte) iniziano sempre con 1. Questo bit prende il nome di **bit di continuazione**, perchè segnala al computer che **non** si tratta dell'inizio di un nuovo carattere, ma della continuazione del precedente.

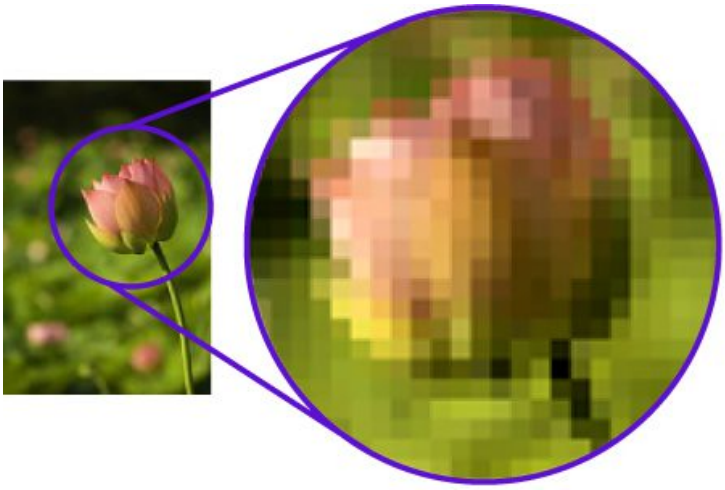
In questo modo, leggendo i byte uno dopo l'altro e osservando i primi bit, il computer riesce a capire automaticamente quanti byte deve usare per ricostruire ogni carattere.

8 Codifica delle immagini

8.1 Immagini raster

Le immagini digitali di uso comune (fotografie, screenshot, immagini mostrate su schermo) sono generalmente rappresentate in formato **raster**.

Un'immagine raster è composta da una griglia regolare di **pixel**, ovvero i più piccoli elementi visivi che la costituiscono. Ogni pixel contiene un'informazione relativa al colore.



Ingrandimento di un'immagine raster con evidenza della griglia di pixel.

Quando un'immagine raster viene ingrandita oltre una certa soglia, la struttura a pixel diventa visibile, producendo l'effetto "sgranato".

8.2 Risoluzione

La **risoluzione** indica il numero di pixel presenti in orizzontale e verticale. Determina il livello di dettaglio dell'immagine.

Esempi comuni:

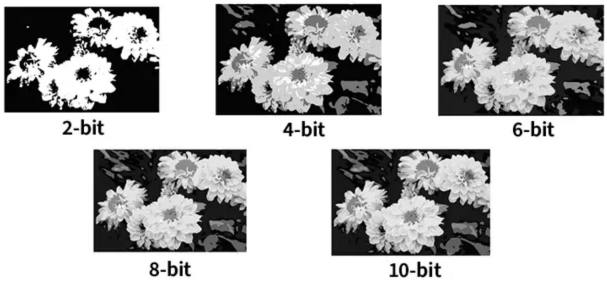
- 800×600 pixel → bassa definizione
- 1920×1080 pixel → Full HD
- 3840×2160 pixel → 4K

8.3 Profondità di colore

La **profondità di colore** indica quanti bit vengono utilizzati per rappresentare il colore di ciascun pixel. Valori tipici:

- 1 bit → solo bianco e nero
- 8 bit → 256 livelli di grigio
- 24 bit → RGB, oltre 16 milioni di colori

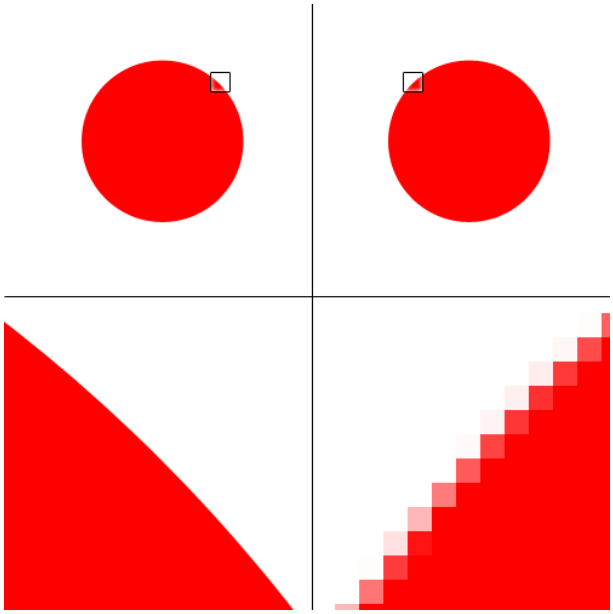
Il numero di colori rappresentabili è dato dal valore: 2^n



8.4 Immagini vettoriali

Le **immagini vettoriali** non sono descritte tramite pixel, ma attraverso formule matematiche che definiscono linee, curve e forme geometriche. Ogni elemento viene rappresentato come oggetto scalabile, il cui aspetto non dipende dalla risoluzione dello schermo.

Grazie a questa caratteristica, l'ingrandimento non comporta perdita di qualità: i contorni rimangono sempre nitidi e privi di sgranature. Questo rende le immagini vettoriali particolarmente adatte per loghi, icone, diagrammi e grafici tecnici.



Confronto tra immagine raster e vettoriale a forte ingrandimento.

Un comportamento analogo si osserva in molti file PDF: durante lo zoom, testo e linee restano perfettamente definiti perché descritti mediante elementi vettoriali. Se il PDF contiene invece immagini raster, l'ingrandimento evidenzia la struttura a pixel e produce sgranature visibili.