elettronica

Prof. Giampiero de Cesare

giampiero.decesare@uniroma1.it

http://giampierodecesare.site.uniroma1.it/

Informazioni generali sul corso:
http://giampierodecesare.site.uniroma1.it/bacheca-di-elettronica

mailing list su CLASSROOM.GOOGLE.COM

ELETTRONICA - AA 2023-24
ING. INFORMATICA/AUTOMATICA

Codice corso jsnxavd

Orario lezioni

LUNEDI'	**10:00 – 14:00**	**Aula 204 – Marco Polo**
GIOVEDI'	**14:00 – 16:00**	**Aula 115 – Marco Polo**

Ricevimento studenti

martedì e mercoledì - ore 10:30 – 12:30

Ufficio docente: stanza 401 –DIET (S. Pietro in Vincoli)

PROGRAMMA ELETTRONICA

- **Richiami di base sulle reti lineari.**
- **Amplificatori**
- **Controreazione**
- **Amplificatore Operazionale**
- **Cenni di fisica dei semiconduttori.**
- **Circuiti con Diodi**
- **Transistore metallo-ossido-semiconduttore (MOS)**
- **Amplificatori lineari**
- **Elettronica digitale: caratteristiche**
  - **Inverter NMOS e CMOS**
  - **Porte logiche NAND e NOR**
  - **Flip-Flop**
- **Convertitori A/D e D/A**

Testi di riferimento:

- **A. Sedra, K. Smith, Circuiti per la Microelettronica**

ELETTRONICA MODERNA

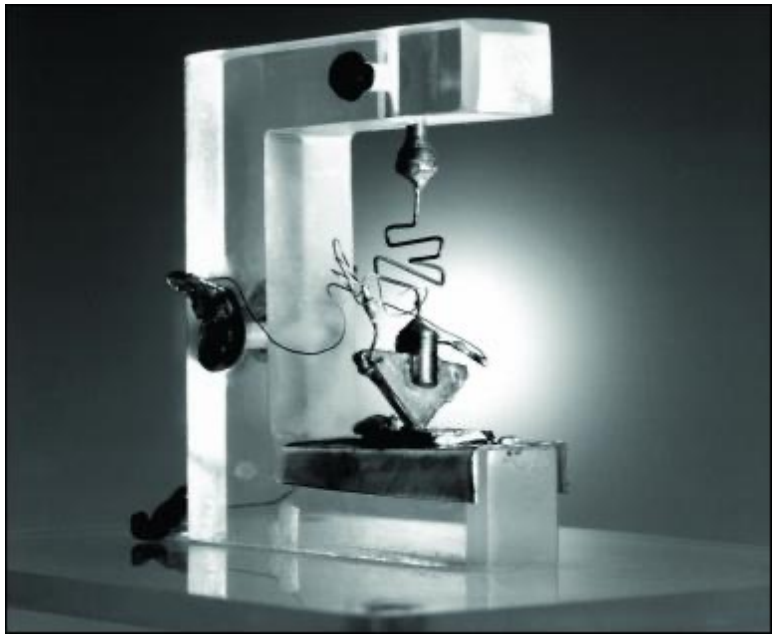
CIRCUITI DISCRETI

MICROELETTRONICA: CIRCUITI INTEGRATI (IC)

TECNOLOGIA PLANARE PER FILM SOTTILI:
SSI-MSI-LSI-VSI

L'inizio dell'era moderna dell'elettronica

Bardeen, Shockley e Brattain inventori del transistore bipolare nel 1947



Il primo transistore bipolare al germanio

POTENZIALE = VOLT
↳ NON FLUISCE, È APPLICATO

CORRENTE = AMPERE → FLUSSO DI CARICHE CHE SI MUOVONO IN UN CIRCUITO, NON È APPLICATO

Storia dell'elettronica

1904	Fleming inventa il diodo a vuoto
1906	Pickard crea il diodo a stato solido con contatto a punta
1906	Deforest inventa il triodo a vuoto
1907-1927	Sviluppo dei primi circuiti radio con diodi e triodi
1925	Primo prototipo di televisione
1925	Lilienfeld brevetta il dispositivo ad effetto di campo
1947	Bardeen, Brattain e Shockley dei Bell Laboratories inventano il transistore bipolare (BJT)
1950	Prima dimostrazione della TV a colori
1952	Shockley descrive il transistore unipolare a effetto di campo
1952	Inizia la commmercializzazione di transistori bipolari al silicio dalla Texas Instruments
1955	Primo computer interamente a transistor sperimentato dalla Bell (TRADIC)
1956	Bardeen, Brattain e Shockley ricevono il premio Nobel per l'invenzione del BJT

1958	Sviluppo del circuito integrato da Kilby alla Texas Instruments e da Noyce e Moore alla Fairchild Semiconductor
1961	Primo circuito integrato digitale commerciale dalla Fairchild Semiconductor
1967	Presentazione della prima memoria RAM a semiconduttori (64 bit)
1968	Primo amplificatore operazionale integrato (μA709) dalla Fairchild Semiconductor
1970	Invenzione della cella di memoria dinamica (DRAM) da Dennard alla IBM
1971	Intel presenta il primo microprocessore 4004
1972	Intel presenta il primo microprocessore a 8 bit (8008)
1974	Sviluppato il primo chip di memoria commerciale da 1-kilobit
1975	Presentato il microprocessore 8080
1978	Sviluppato il primo microprocessore a 16 bit
1984	Presentato il chip di memoria a 1 megabit
1987	Presentato l'amplificatore a pompaggio ottico in fibra ottica drogata con erbio
1995	Presentato il chip di memoria da 1 gigabit
2000	Alferov, Kilby e Kroemer ricevono il premio Nobel

LA POTENZA IN USCITA È MINORE DI QUELLA IN ENTRATA

Storia dell'elettronica

Tra gli eventi fondamentali della storia dell'elettronica:

Invenzione del transistor bipolare a giunzione nel 1947 (Bardeen, Brattain e Shockley)

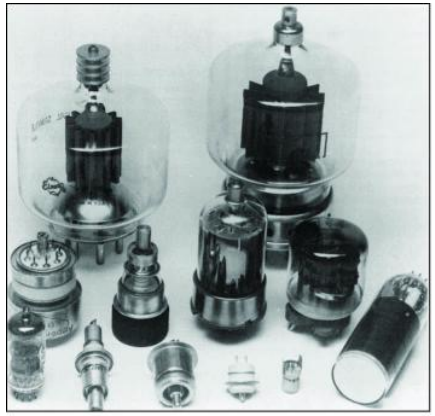
Invenzione del circuito integrato (IC) nel 1958.

(Faggin / Kilby)

La tecnologia dei circuiti integrati ha reso possibile la miniaturizzazione dei circuiti elettronici permettendo di ottenere i numerosi vantaggi: <u>migliori prestazioni, maggiore affidabilità e minori costi di produzione.</u>

Evoluzione dei dispositivi elettronici

Tubi a vuoto



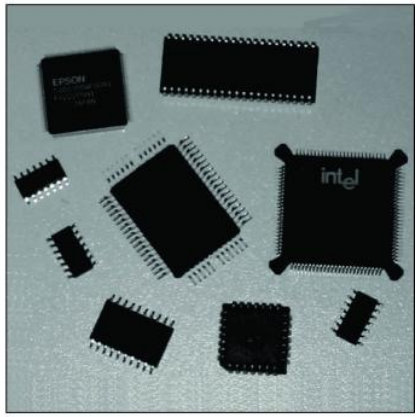
(a)

(b)

Transistori discreti

Circuiti integrati ad alta densità di integrazione in package dual-in-line (SSI e MSI)

(c)



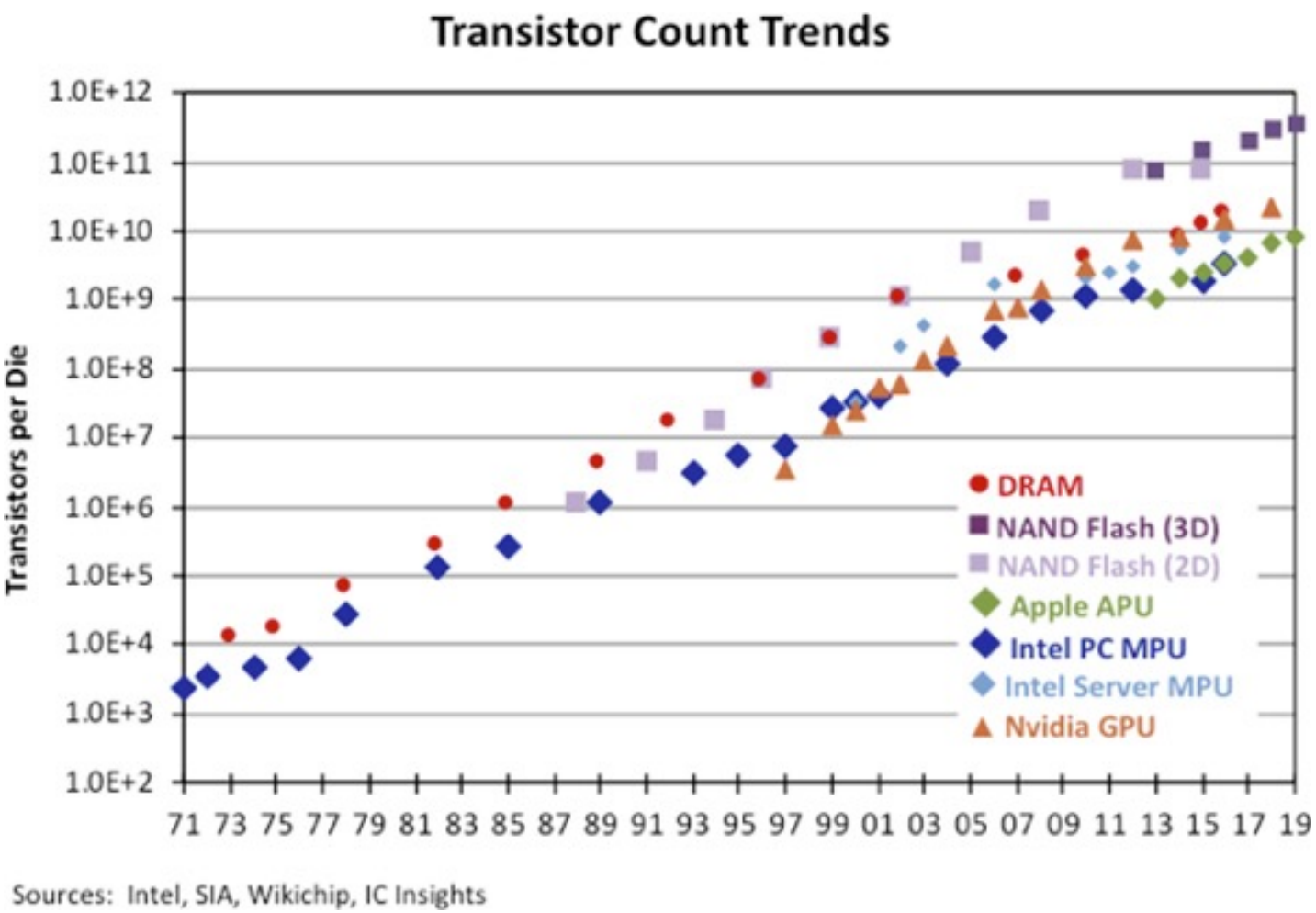
(d)

Circuiti integrati in package surface mount (VLSI)

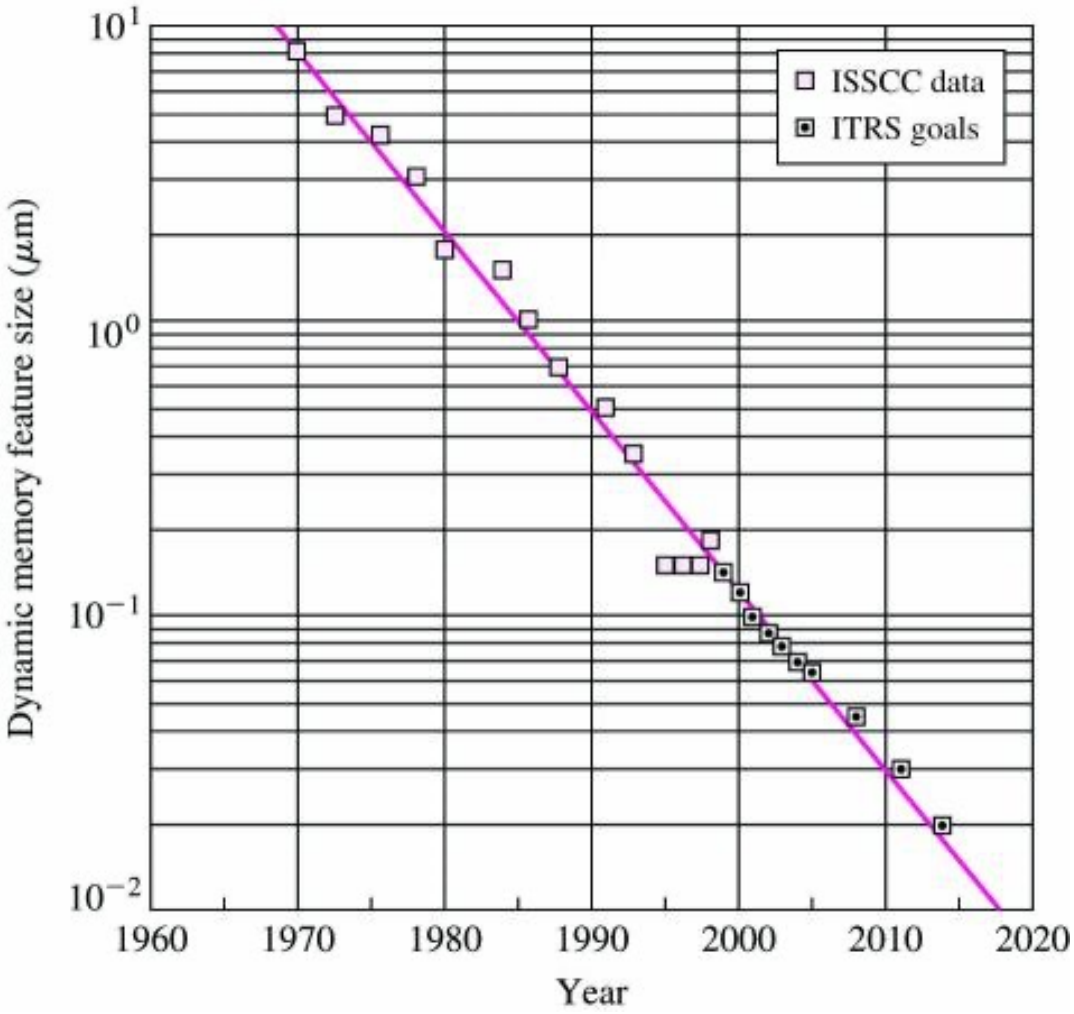
Storia e Prospettive

- *Leggi di Moore:*

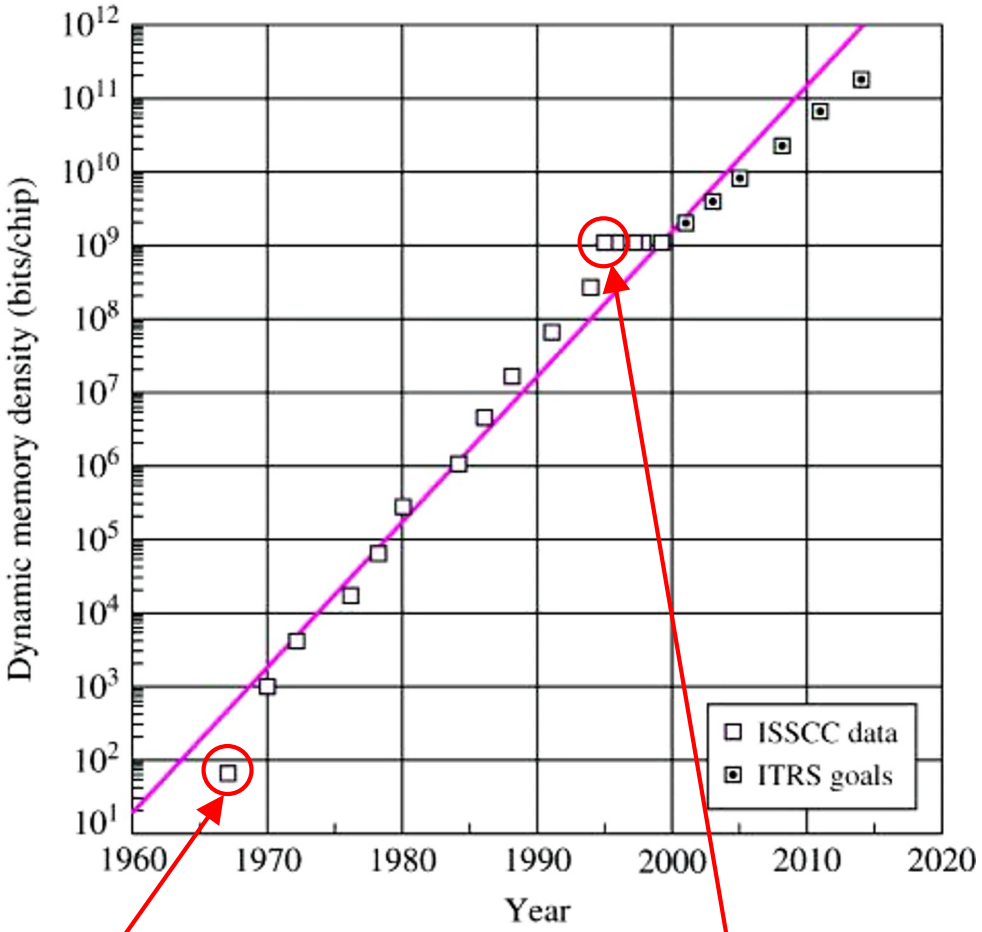
	Legge	2004
Area IC	1.5x ogni 3 anni	6.5 cm^2
Minima dim.	-30% ogni 3 anni	0.13 μm
Trans/IC	2x ogni 1.5 anni	4Gb Dram
CK fr	1.5x ogni 3 anni	1GHz micro
Costo/tran	-50% ogni 3 anni	0.01 cent
Fab costo	2.3x ogni 3 anni	8B


Transistor Count Trends
Transistors per Die
1.0E+12
1.0E+11
1.0E+10
1.0E+9
1.0E+8
1.0E+7
1.0E+6
1.0E+5
1.0E+4
1.0E+3
1.0E+2
71 73 75 77 79 81 83 85 87 89 91 93 95 97 99 01 03 05 07 09 11 13 15 17 19
DRAM
NAND Flash (3D)
NAND Flash (2D)
Apple APU
Intel PC MPU
Intel Server MPU
Nvidia GPU
Sources: Intel, SIA, Wikichip, IC Insights

Dimensione caratteristica nei chip di memoria dinamica in funzione del tempo



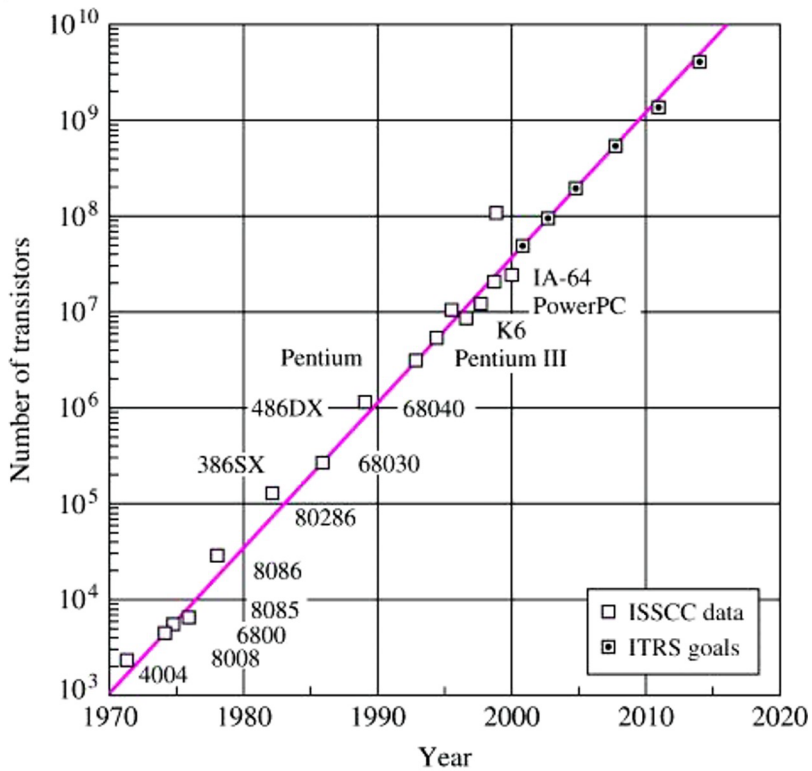
Aumento della densità di un chip di memoria in funzione del tempo

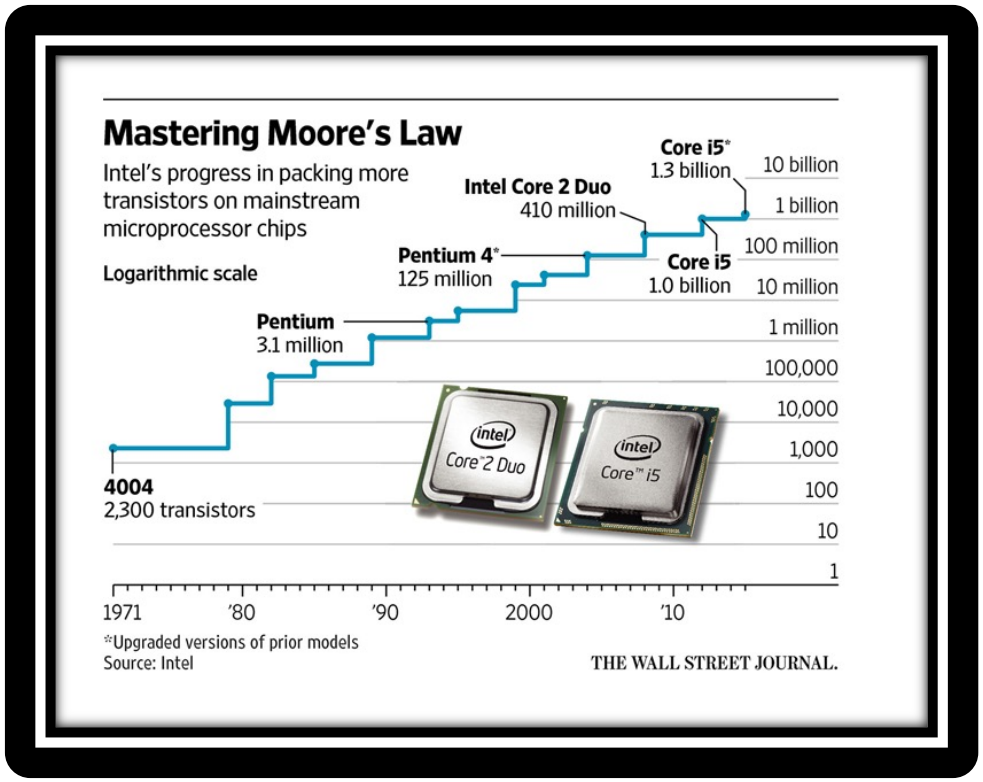


prima memoria da 1 Gb

prima memoria da 64 bit

Aumento della complessità del microprocessore in funzione del tempo





Livelli di integrazione

Data	Livello di integrazione	Componenti/chip
1950	Componenti discreti	$1 \div 2$
1960	SSI - Bassa scala di integrazione	$< 10^2$
1966	MSI – Media scala di integrazione	$10^2 \div 10^3$
1969	LSI – Larga scala di integrazione	$10^3 \div 10^4$
1975	VLSI – Larghissima scala di integrazione	$10^4 \div 10^9$
1990	ULSI – Ultra larga scala di integrazione	$> 10^9$

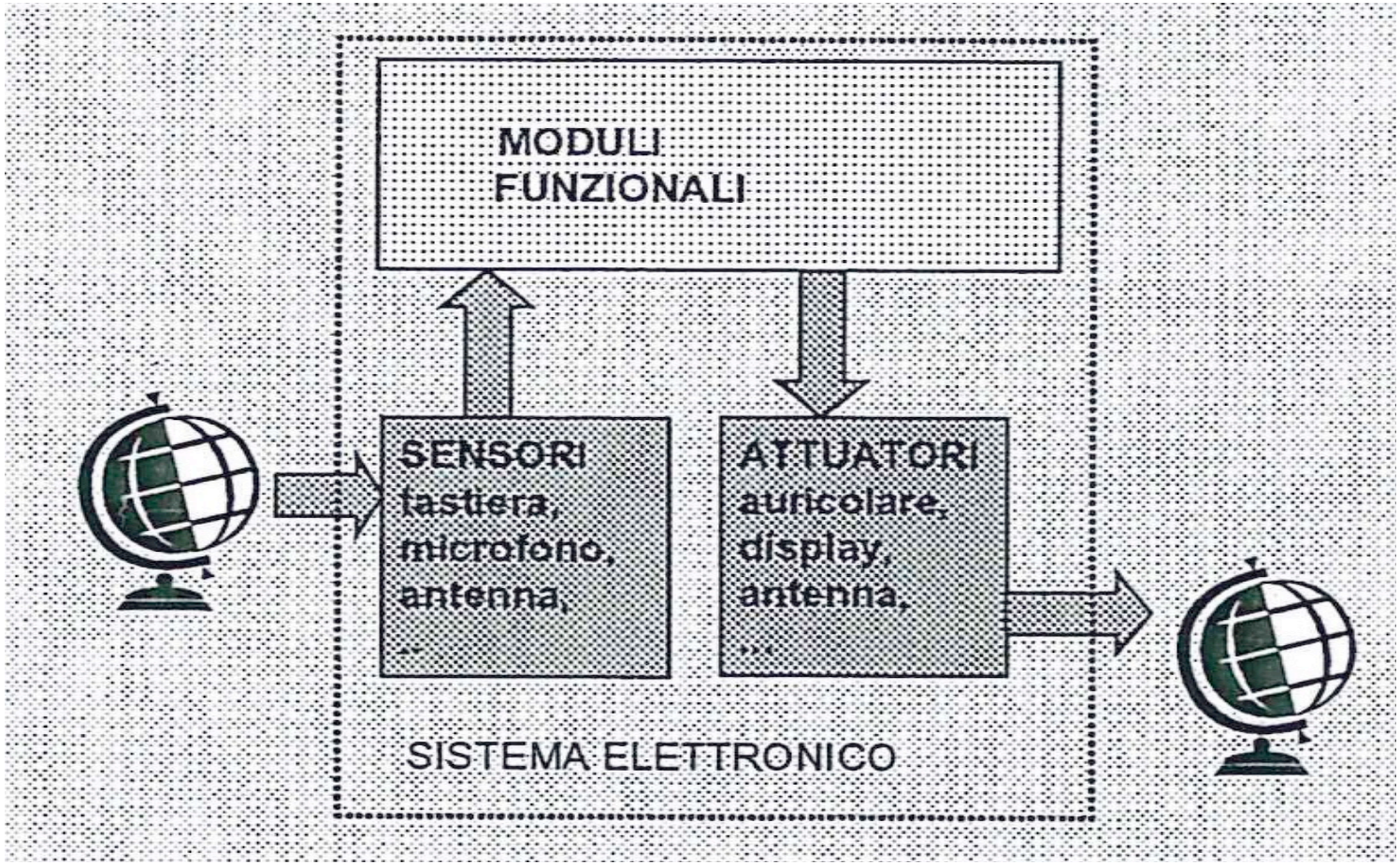
Importance of Downsizing

Downsizing:

Capacitance reduction per component → 1. Power reduction
2. Speed increase

High integration → 3. Function increase
4. Parallel processing
→ Speed increase

→ Cost reduction per function


MODULI
FUNZIONALI
SENSORI
tastiera,
microfono,
antenna,
...
ATTUATORI
auricolare,
display,
antenna,
...
SISTEMA ELETTRONICO

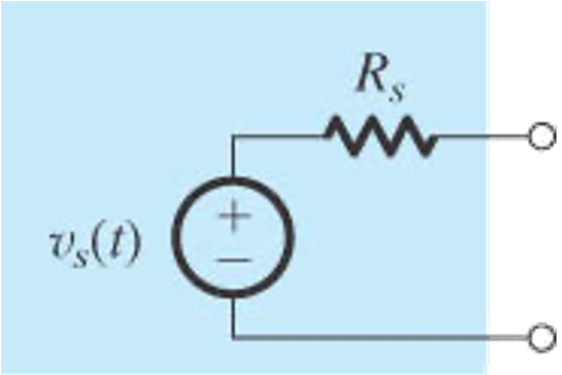
Sensori: esempi

- Termistori e termocoppie per la misura della temperatura.
- Fototransistori e fotodiodi per la misura della luce.
- Estensimetro e materiali piezoelettrici per la misura di forza.
- Potenziometri, sensori induttivi, codificatori di posizione per la misura di spostamenti.
- Generatori tachimetrici, accelerometri e sensori a effetto Doppler per misure di movimenti.
- Microfoni per la misura del suono.

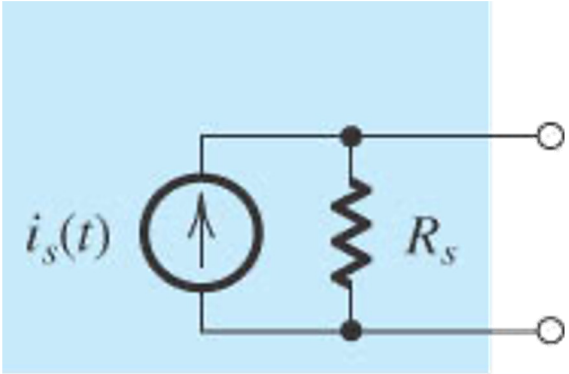
Attuatori: esempi

- Riscaldatori a resistenza ohmica per produrre calore.
- Diodi emettitori di luce e laser per controllare la luminosità.
- Solenoidi per produrre forze.
- Strumenti indicatori per mostrare spostamenti.
- Motori elettrici per produrre movimenti.
- Altoparlanti e trasduttori ultrasonici per produrre suoni.

Segnali e generatori di segnale



$$v_s(t) = R_s i_s(t)$$

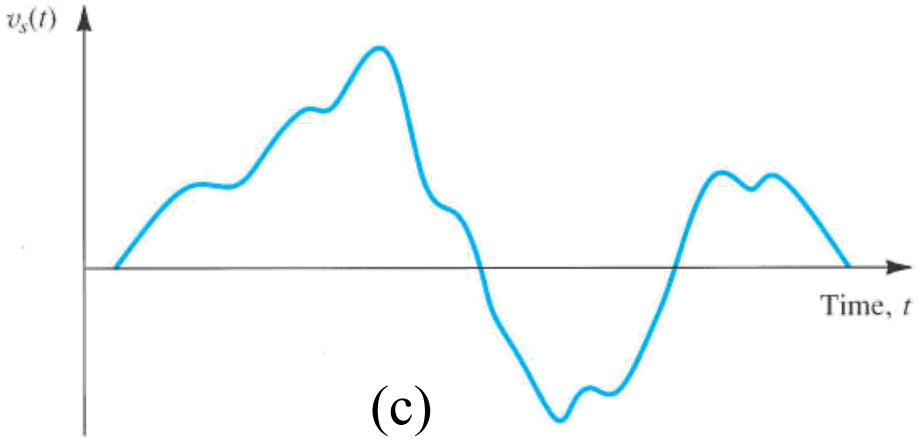


(a)

segnale rappresentato da un generatore di tensione: rappresentazione di Thevenin

(b)

segnale rappresentato da un generatore di corrente: rappresentazione di Norton



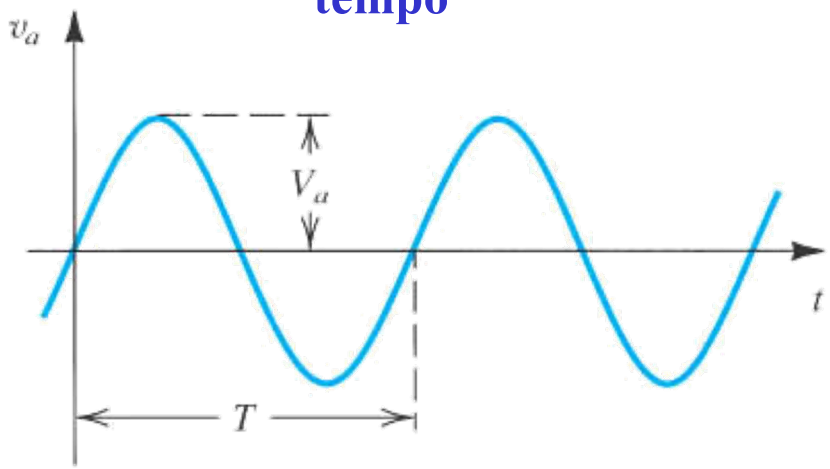
(c)

segnale elettrico arbitrario rappresentato da una tensione $v_s(t)$

Forma d'onda sinusoidale

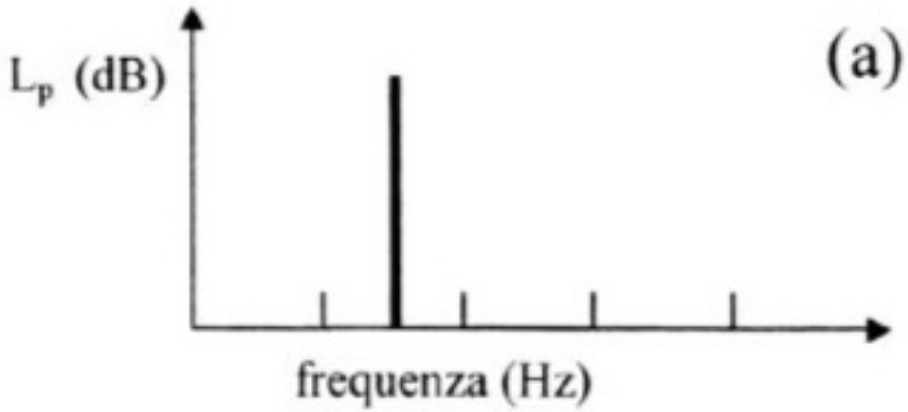
$$v_a(t) = V_a \sin \omega t$$

v(t)
rappresentazione nel dominio del tempo



V_a valore di picco di $v_a(t)$

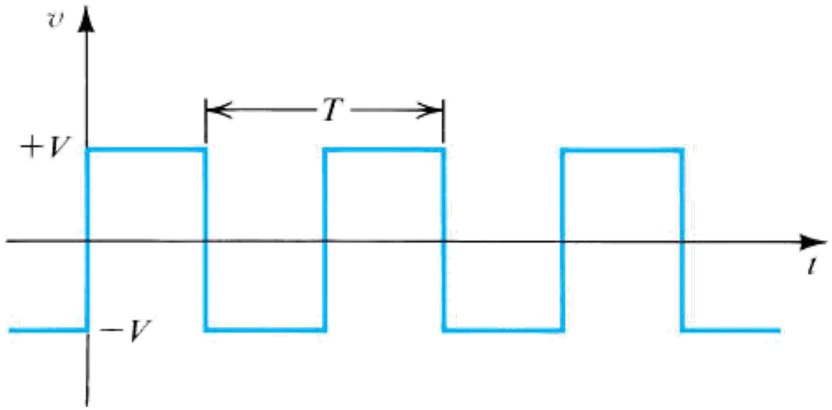
V(ω)
rappresentazione nel dominio della frequenza



$$\omega = 2\pi f = 2\pi / T \quad \text{[rad/s]}$$

$$f = 1/T \quad \text{[Hz=1/s]}$$

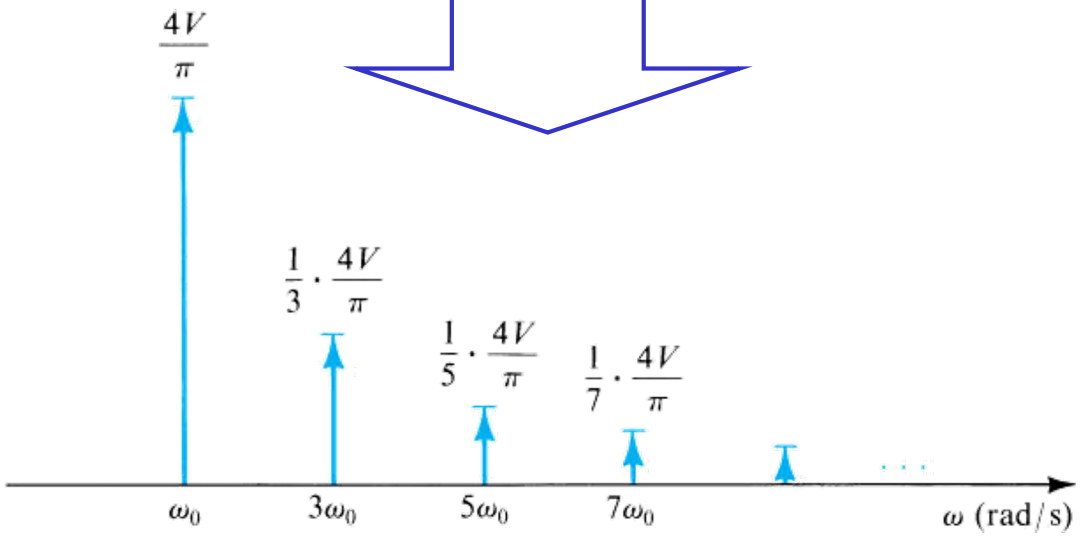
Segnale ad onda quadra e suo spettro di frequenza



v(t)
rappresentazione nel dominio del tempo

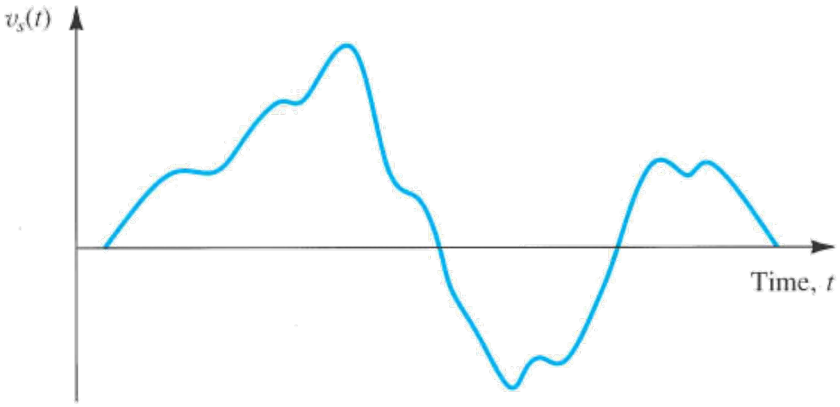
serie di Fourier

$$v(t) = \frac{4V}{\pi}\left(\sin\omega_0 t + \frac{1}{3}\sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5}\sin 5\omega_0 t + \ldots\right)$$



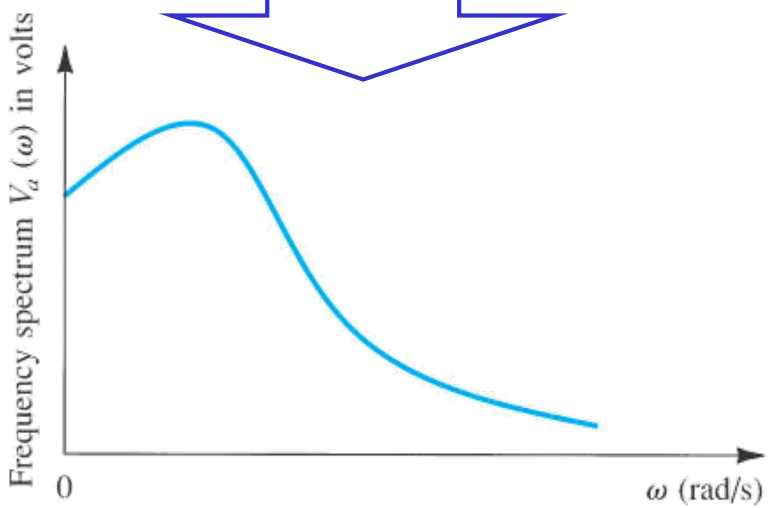
V(ω)
rappresentazione nel dominio della frequenza

Segnale arbitrario e suo spettro di frequenza



$v_a(t)$
rappresentazione nel dominio del tempo

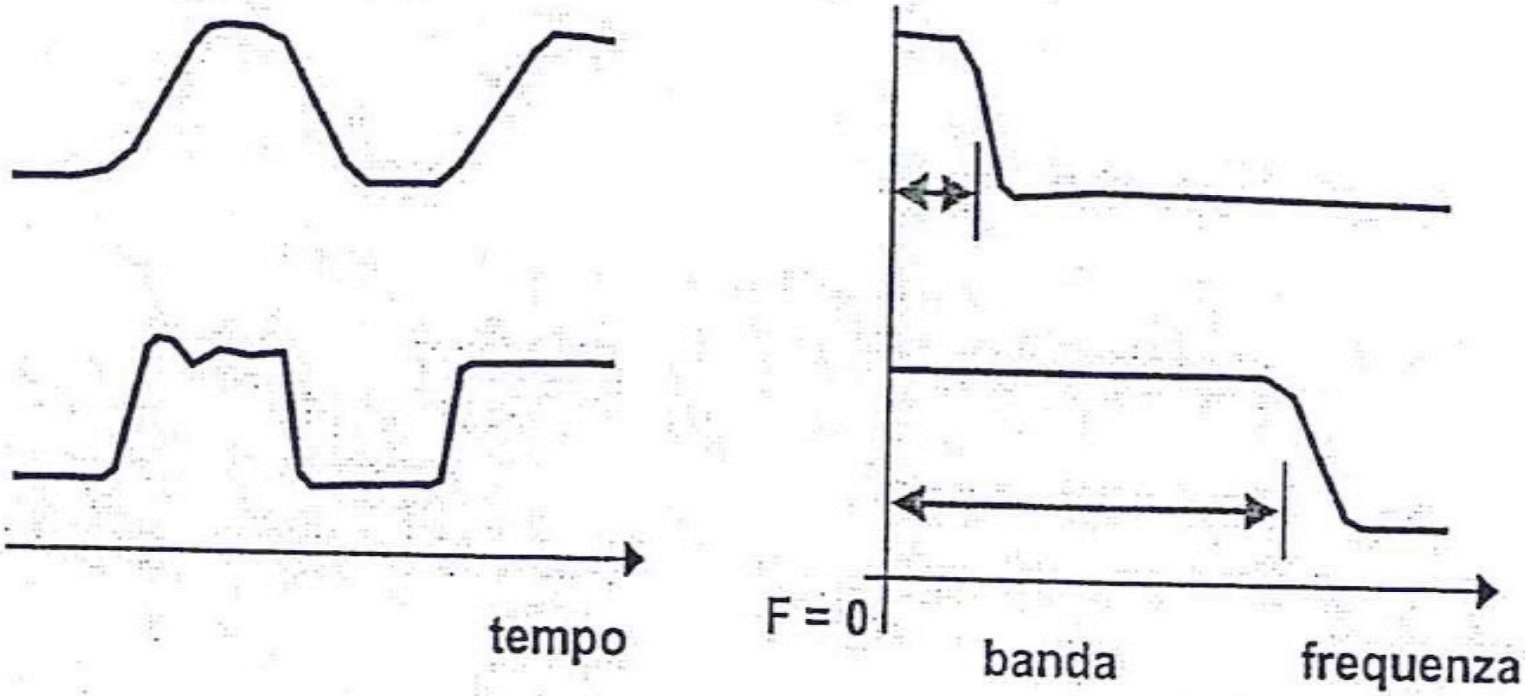
trasformata di Fourier



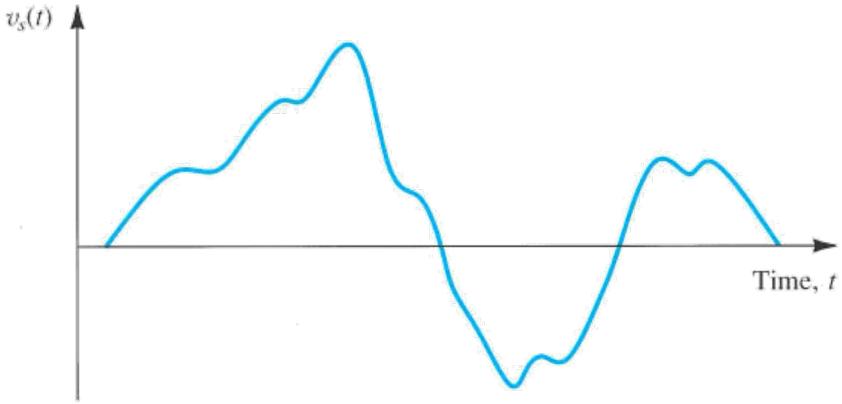
$V_a(\omega)$
rappresentazione nel dominio della frequenza

Legame Tempo-Frequenza

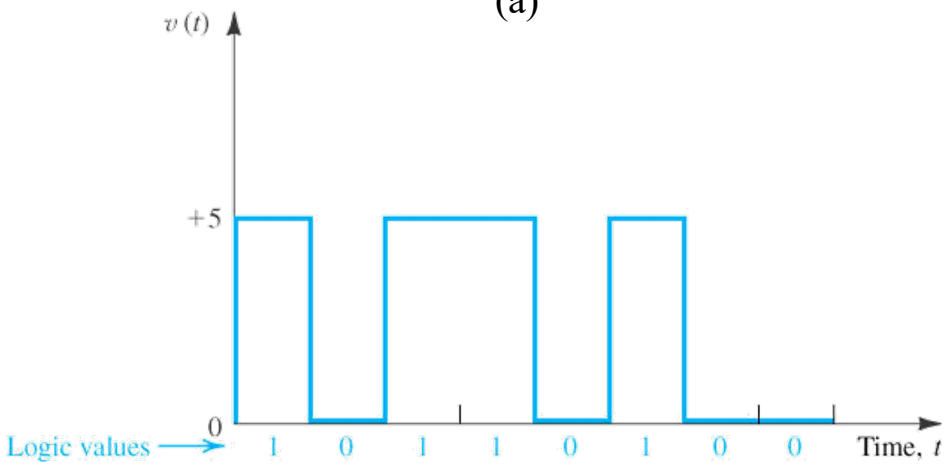
- Variazioni rapide del segnale corrispondono a componenti a frequenza elevata



Segnali analogici e segnali digitali



segnale analogico
(a)

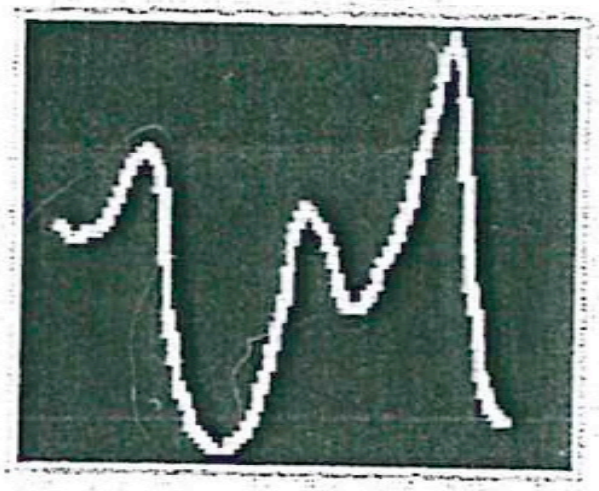


segnale digitale
(b)

SEGNALI ANALOGICI

- Il segnale analogico è continuo
  - in tempo: è definito per qualsiasi istante di tempo entro un certo intervallo
  - in ampiezza: può assumere qualsiasi valore entro un certo intervallo

- I parametri che definiscono un segnale analogico sono:
  - intervallo di ampiezza
    - » valore max e min (dinamica),
    - » eventuale DC
  - contenuto spettrale
    - » limiti di banda, forma dello spettro

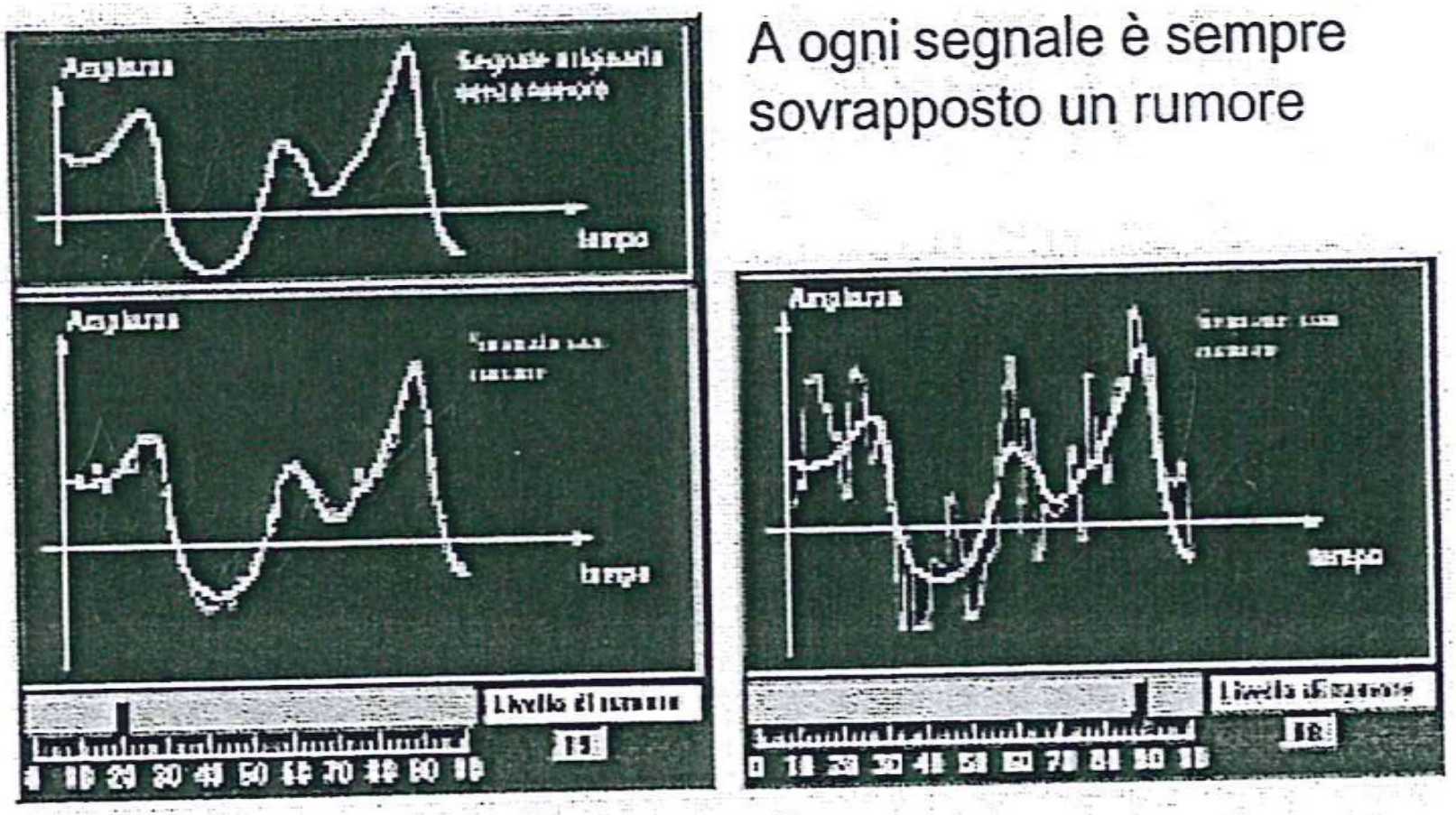


SEGNALI DIGITALI

- Il segnale digitale è una sequenza di numeri
  - segnale discreto in tempo: è definito solo per alcuni istanti di tempo entro un certo intervallo
  - segnale discreto in ampiezza: può assumere solo alcuni valori entro un certo intervallo

19	0001 0011
80	0100 1000
3	0000 0011
28	0001 1100
34	0010 0010

Rumore e disturbi

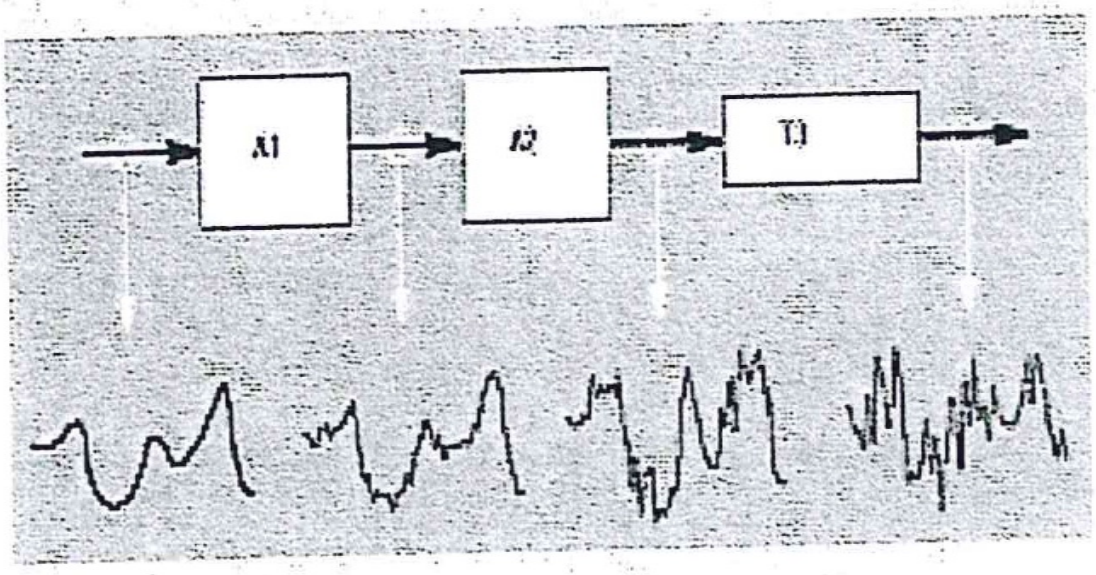


A ogni segnale è sempre sovrapposto un rumore

il rumore NON trasporta informazione utile

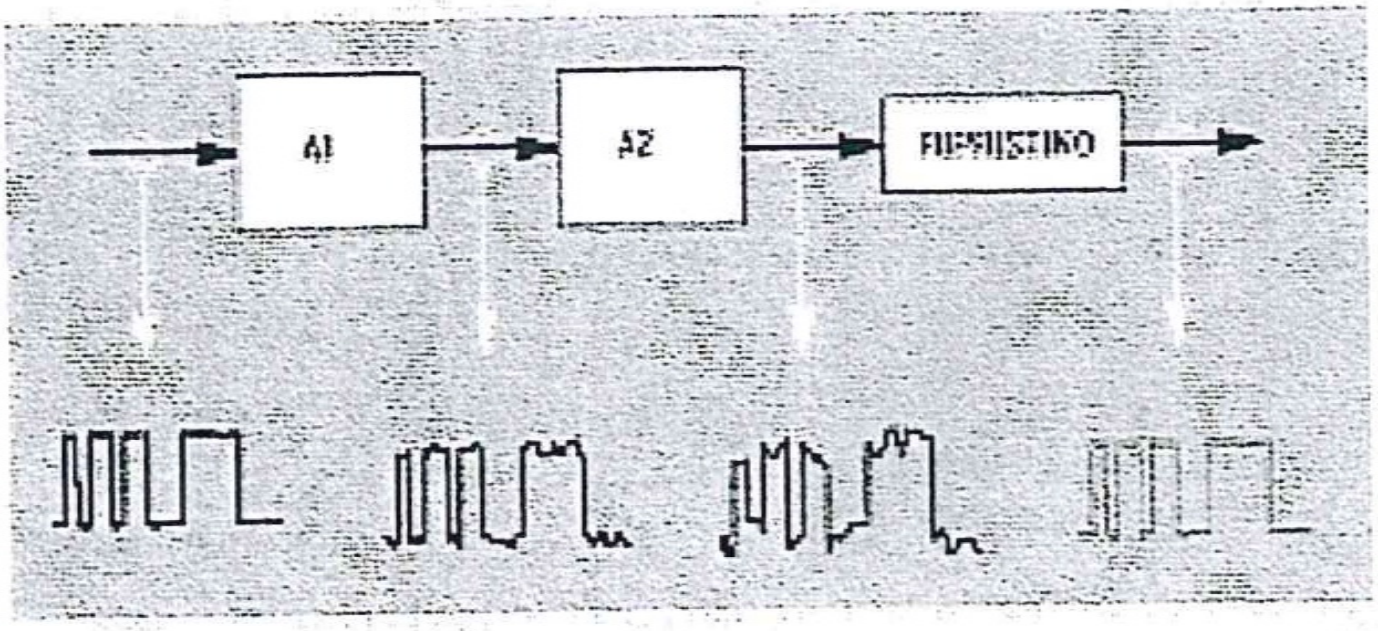
Degradazione del segnale analogico

- Ogni passo di amplificazione o elaborazione aggiunge rumore.
- Per il segnale analogico il rumore determina una degradazione non recuperabile dell'informazione.

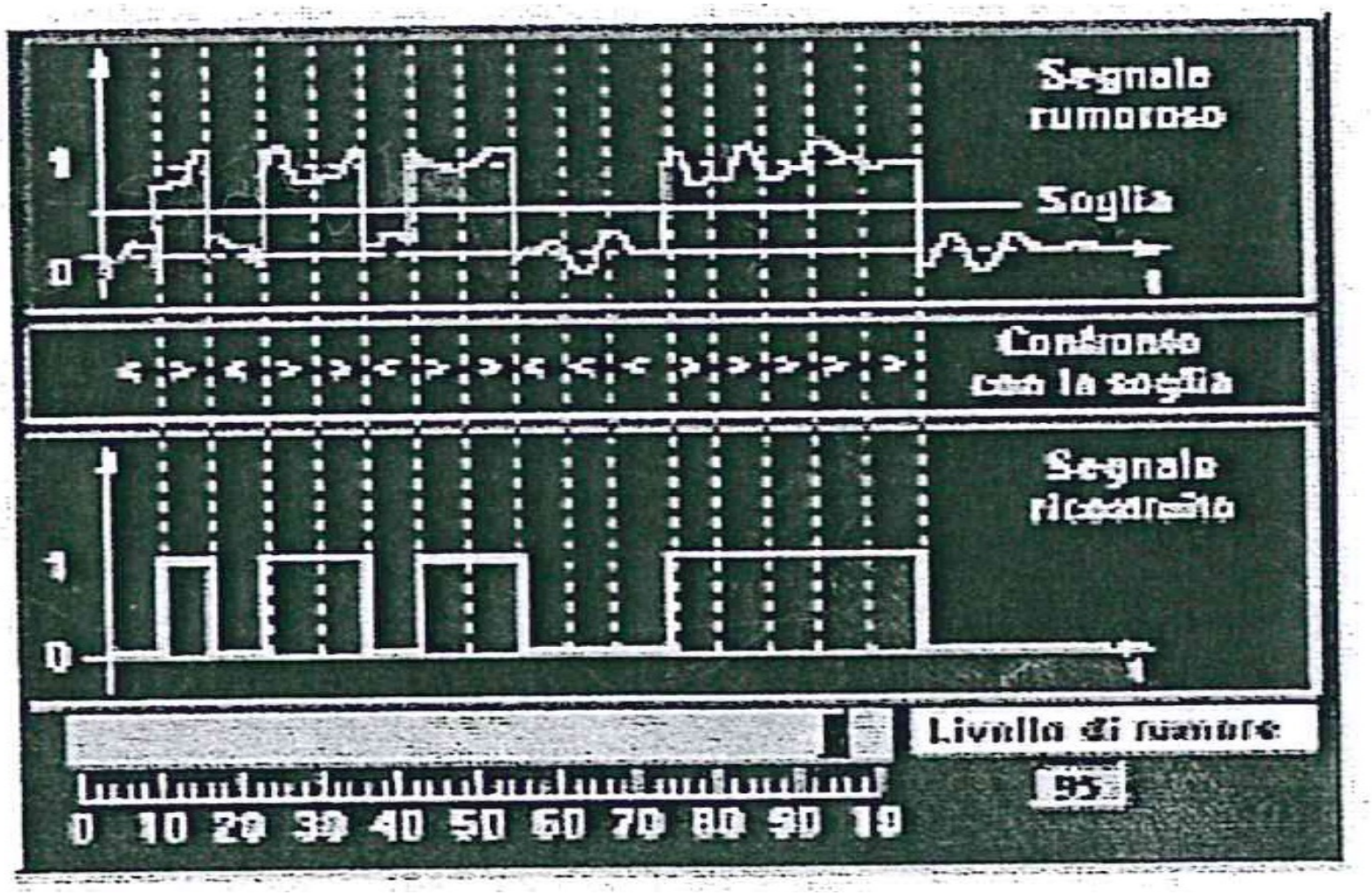


Degradazione segnale digitale

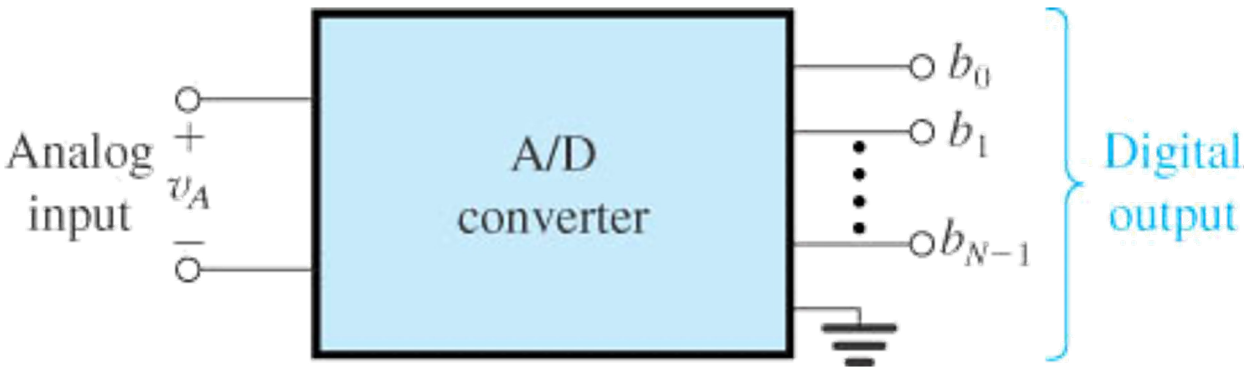
- Per il segnale digitale la degradazione del segnale digitale dovuta al rumore è recuperabile (se contenuta entro certi limiti).



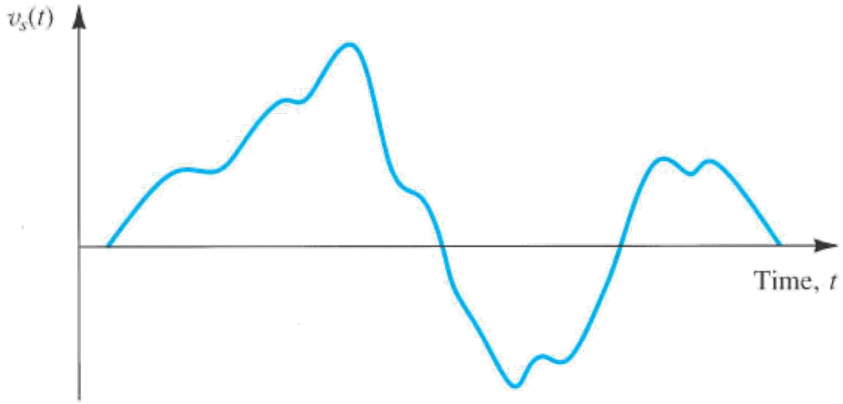
Ripristino del segnale digitale



Convertitore analogico-digitale

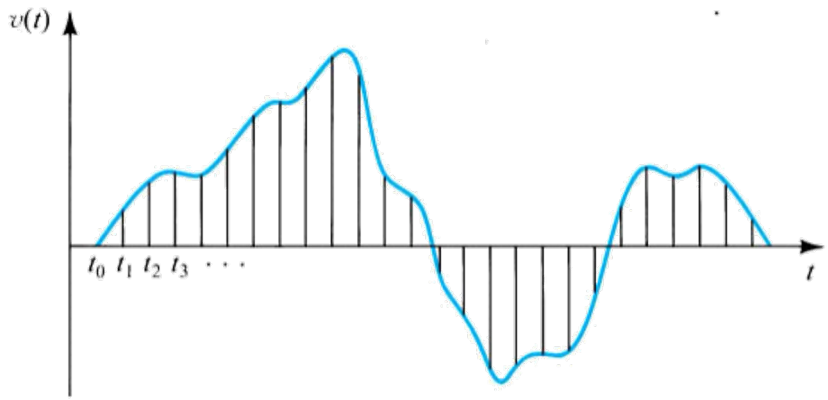


Conversione analogica /digitale



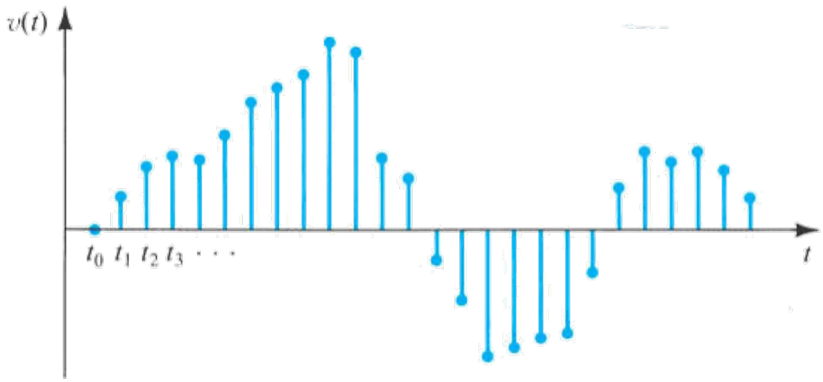
segnale analogico

(a)



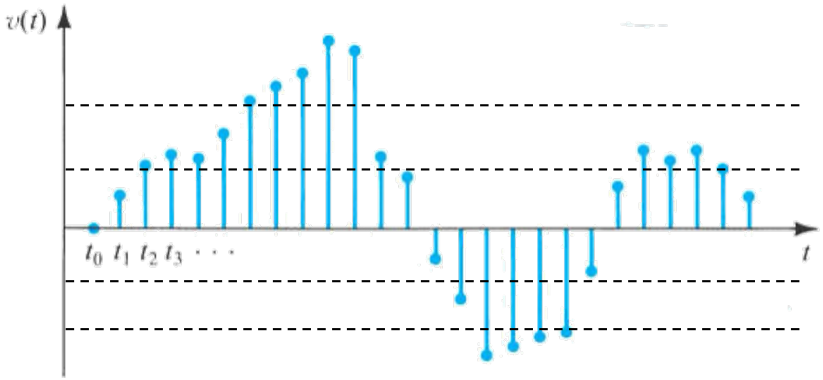
campionamento di un segnale analogico

(b)



segnale analogico campionato o
segnale tempo-discreto

(c)

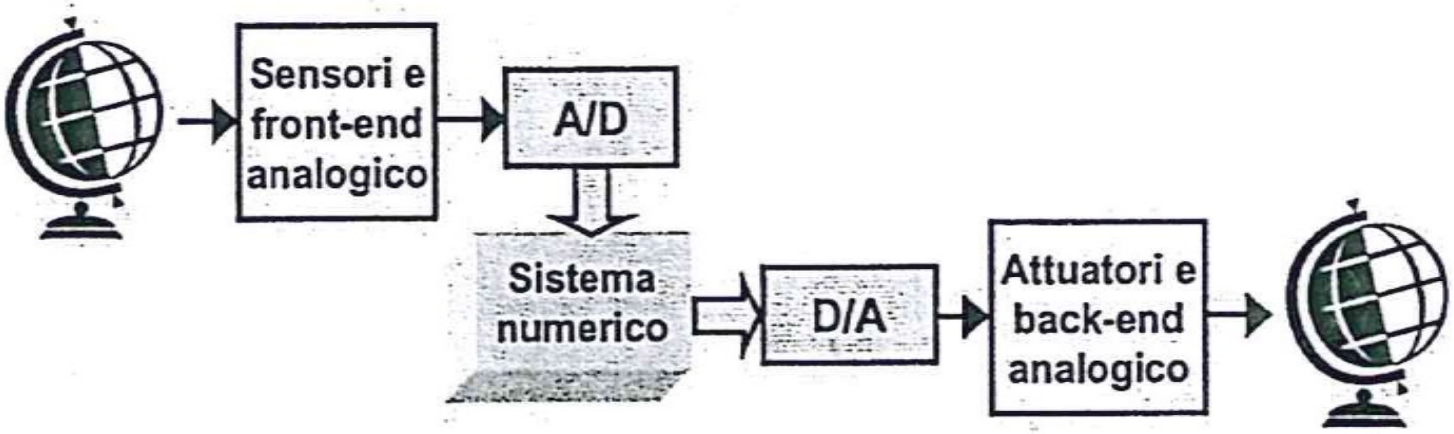


segnale analogico campionato
errore di quantizzazione

(d)

Errore con rappresentazione digitale

- Il numero di valori rappresentabili determina l'errore della rappresentazione numerica:
- Errore di quantizzazione ε_Q
  - » N bit : 2^N valori, quindi
  - » errore $\varepsilon_Q = 100/2^N$ % $= 1M/2^N$ PPM

– 4 bit	$2^4 = 16$	$\varepsilon_Q = 6{,}25$ %	
– 8 bit,	$2^8 = 256$	$\varepsilon_Q = 0{,}4$ %	
– 16 bit,	$2^{16} = 65.000$	$\varepsilon_Q = 0{,}0015$ %	15 PPM
– 24 bit	$2^{24} = 16$ M	$\varepsilon_Q = 6\ 10^{-6}$ %	0,06 PPM
– 32 bit	$2^{32} = 4{,}3$ G		

- La maggior parte dei sistemi elettronici comprende:
  - interfacce verso il mondo esterno (front-end) analogico
  - conversione A/D
  - trattamento del segnale numerico
  - conversione D/A
  - interfacce verso il mondo esterno (back-end) analogico