

Elettronica
Ingegneria Informatica ed Automatica
A.A. 2015-2016

Introduzione all'elettronica

Docente: Prof. Giampiero de Cesare
giampiero.decesare@uniroma1.it

Informazioni generali sul corso:

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

PROGRAMMA ELETTRONICA

- Ø **Richiami di base sulle reti lineari.**
- Ø **Amplificatori:**
- Ø **Controreazione**
- Ø **Amplificatore Operazionale**
- Ø **Cenni di fisica dei semiconduttori.**
- Ø **Circuiti con Diodi**
- Ø **Transistori metallo-ossido-semiconduttore (MOS):**
- Ø **Circuiti digitali MOS**
- Ø **Convertitori A/D e D/A**

Testo consigliato:

SEDRA/SMITH

“CIRCUITI PER LA MICROELETTRONICA”

ELETTRONICA MODERNA

MICROELETTRONICA:
CIRCUITI INTEGRATI (IC)

CIRCUITI DISCRETI

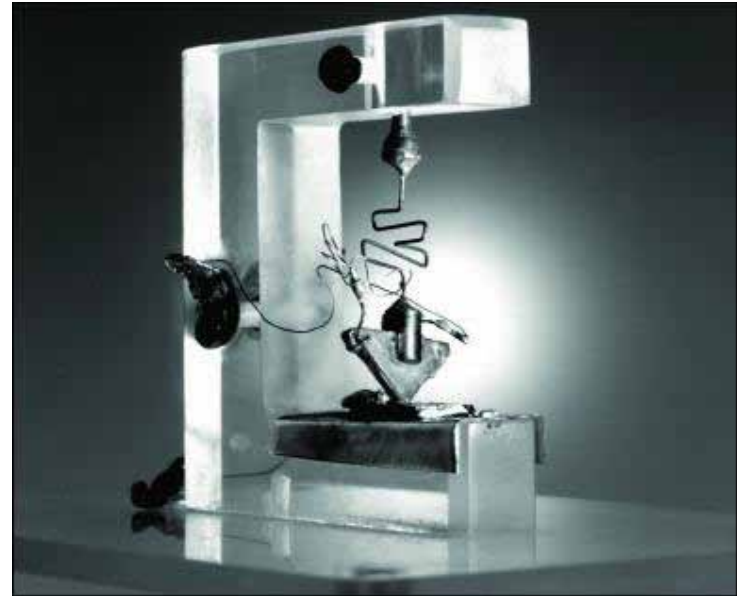
TECNOLOGIA PLANARE PER FILM SOTTILI:
SSI-MSI-LSI-VSI

MICROPROCESSORE

L'inizio dell'era moderna dell'elettronica



Bardeen, Shockley e Brattain inventori del transistor bipolare nel 1947



Il primo transistor bipolare al germanio

Storia dell'elettronica

1904	Fleming inventa il diodo a vuoto	1958	Sviluppo del circuito integrato da Kilby alla Texas Instruments e da Noyce e Moore alla Fairchild Semiconductor
1906	Pickard crea il diodo a stato solido con contatto a punta	1961	Primo circuito integrato digitale commerciale dalla Fairchild Semiconductor
1906	Deforest inventa il triodo a vuoto	1967	Presentazione della prima memoria RAM a semiconduttori (64 bit)
1907-1927	Sviluppo dei primi circuiti radio con diodi e triodi	1968	Primo amplificatore operazionale integrato (741) dalla Fairchild Semiconductor
1925	Primo prototipo di televisione	1970	Invenzione della cella di memoria dinamica (DRAM) da Dennard alla IBM
1925	Lilienfeld brevetta il dispositivo ad effetto di campo	1971	Intel presenta il primo microprocessore 4004
1947	Bardeen, Brattain e Shockley dei Bell Laboratories inventano il transistor bipolare (BJT)	1972	Intel presenta il primo microprocessore a 8 bit (8008)
1950	Prima dimostrazione della TV a colori	1974	Sviluppato il primo chip di memoria commerciale da 1-kilobit
1952	Shockley descrive il transistor unipolare a effetto di campo	1975	Presentato il microprocessore 8080
1952	Inizia la commercializzazione di transistori bipolari al silicio dalla Texas Instruments	1978	Sviluppato il primo microprocessore a 16 bit
1955	Primo computer interamente a transistor sperimentato dalla Bell (TRADIC)	1984	Presentato il chip di memoria a 1 megabit
1956	Bardeen, Brattain e Shockley ricevono il premio Nobel per l'invenzione del BJT	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

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: migliori prestazioni, maggiore affidabilità e minori costi di produzione.

Evoluzione dei dispositivi elettronici

Tubi a vuoto



(a)

Transistori
discreti



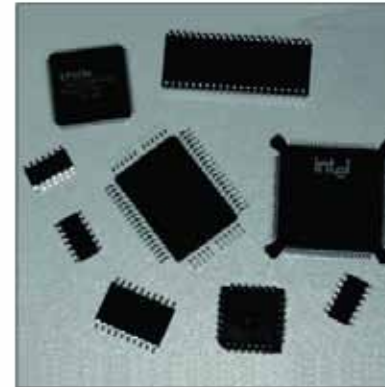
(b)

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



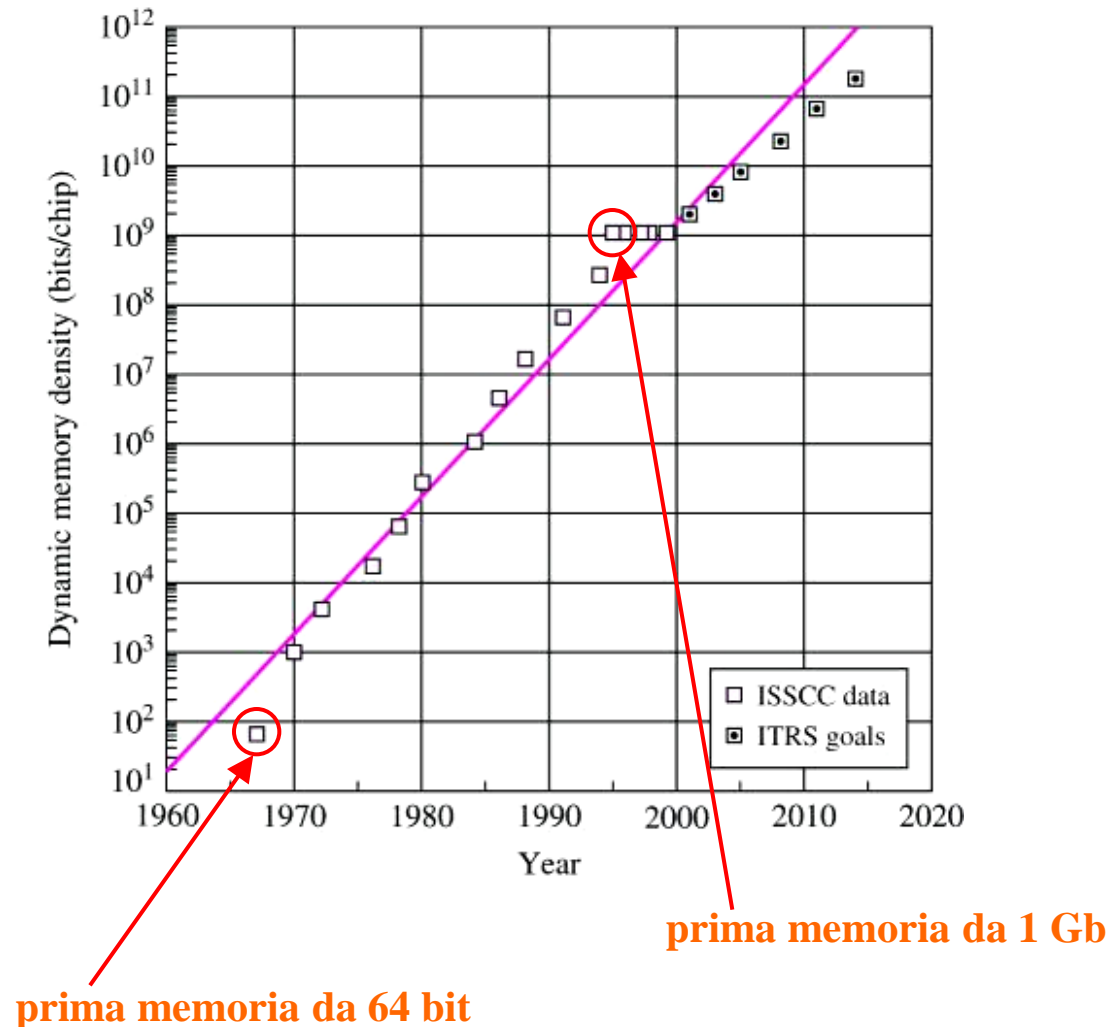
(c)

Circuiti integrati in
package surface mount
(VLSI)

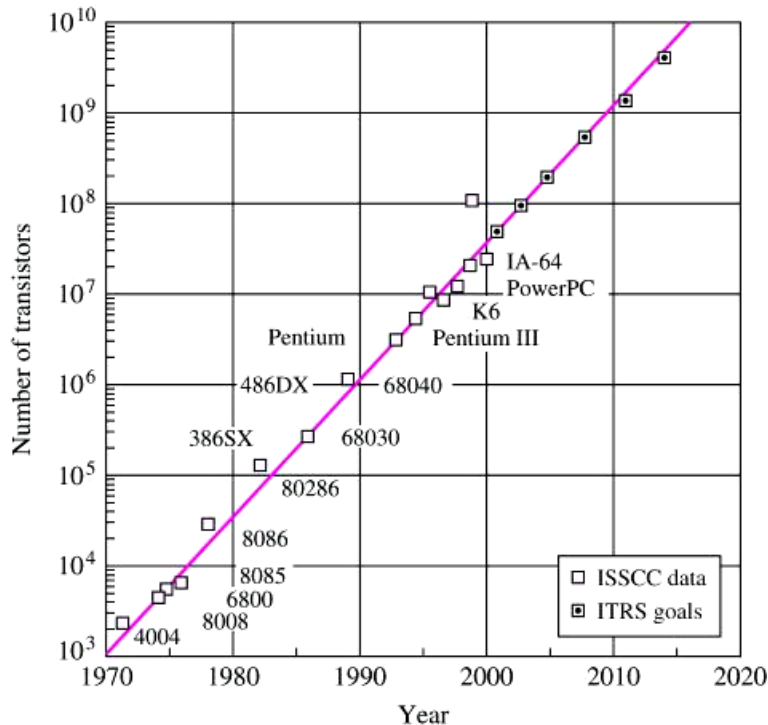


(d)

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

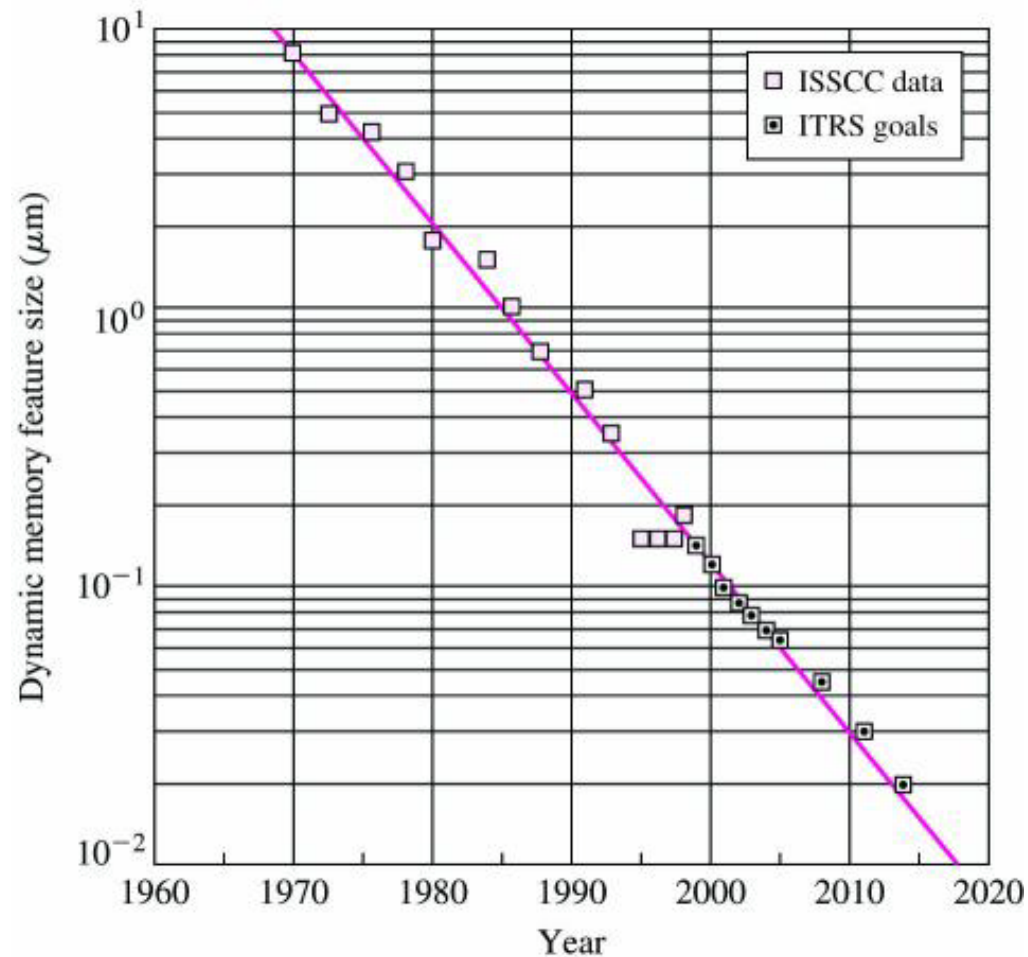


Aumento della complessità del microprocessore in funzione del tempo



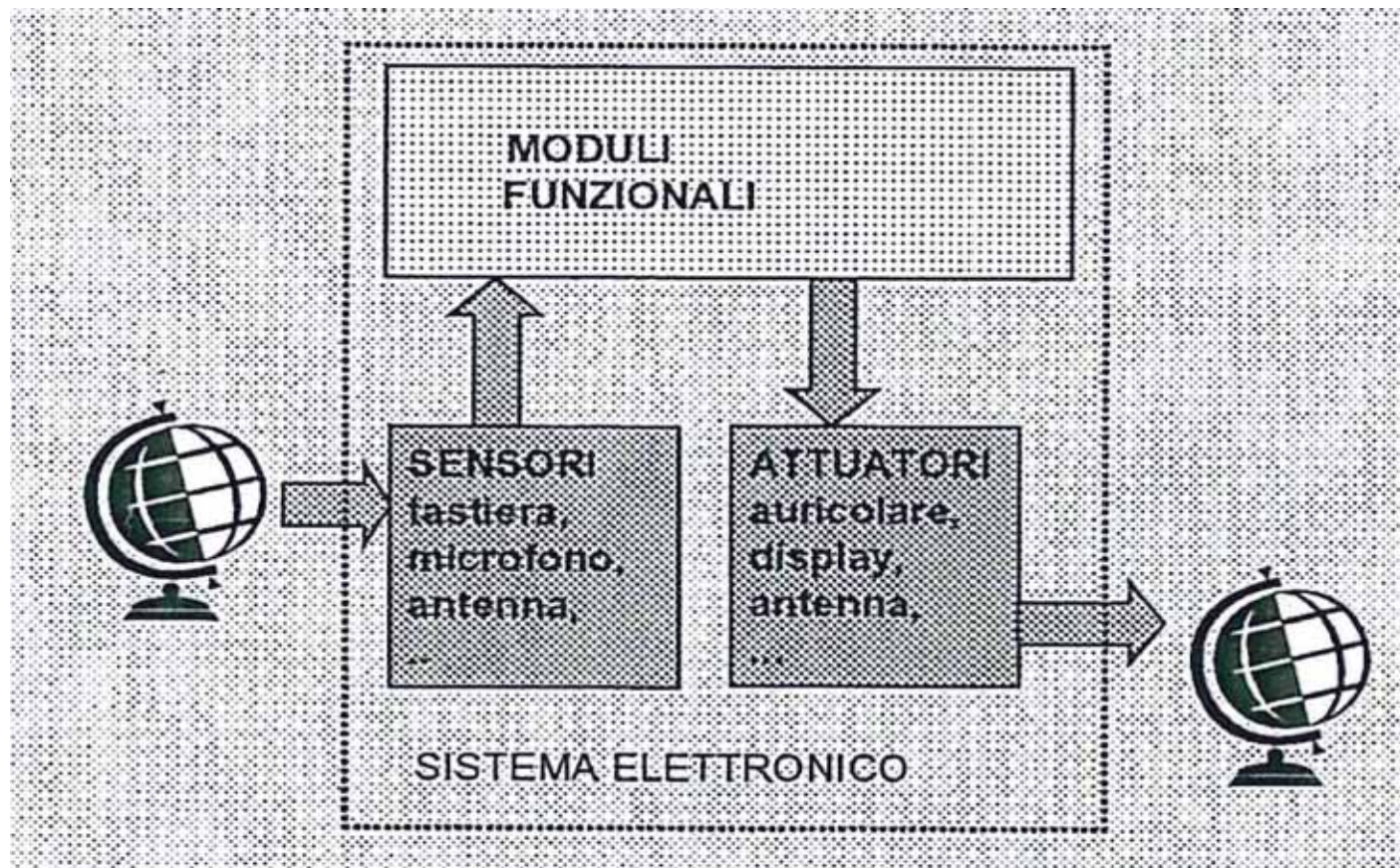
Chip	Anno di introduzione	Transistors
4004	1971	2.250
8008	1972	2.500
8080	1974	5.000
8086	1978	29.000
286	1982	120.000
386™ processor	1985	275.000
486™ DX processor	1989	1.180.000
Pentium® processor	1993	3.100.000
Pentium II processor	1997	7.500.000
Pentium III processor	1999	24.000.000
Pentium 4 processor	2000	42.000.000
Pentium 4 – 13 nm	2002	55.000.000

Dimensione caratteristica nei chip di memoria dinamica 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	$> 10^9$



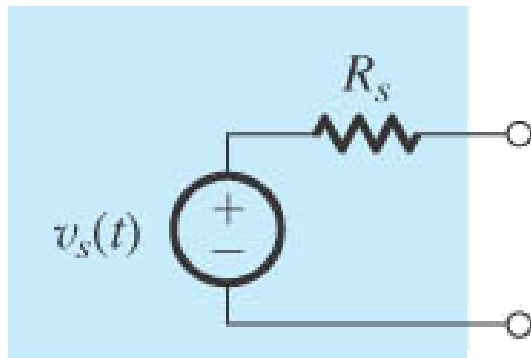
Sensori: esempi

- 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.
- Potenzimetri, 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.

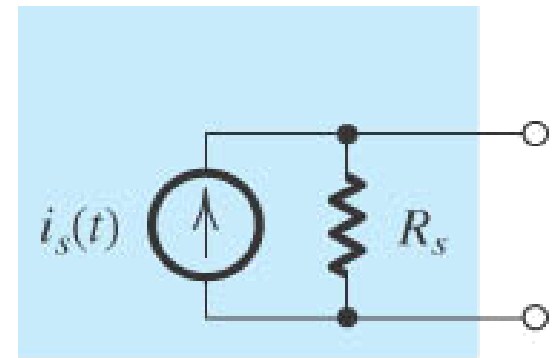
Segnali e generatori di segnale



(a)

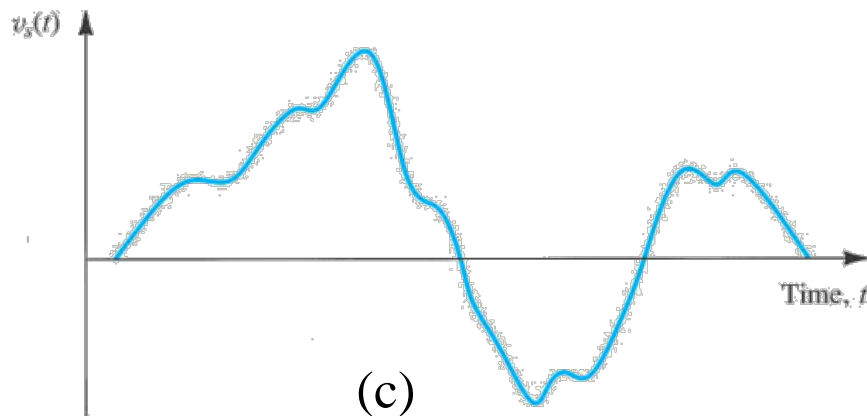
segnale rappresentato da un
generatore di tensione:
rappresentazione di Thevenin

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



(b)

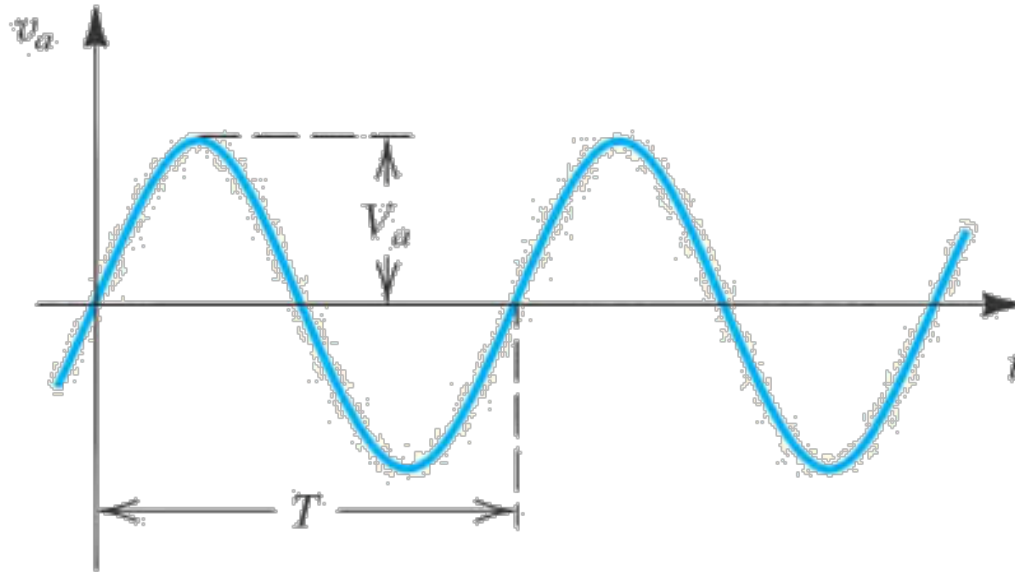
segnale rappresentato da un
generatore di corrente:
rappresentazione di Norton



(c)

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

Forma d'onda sinusoidale



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

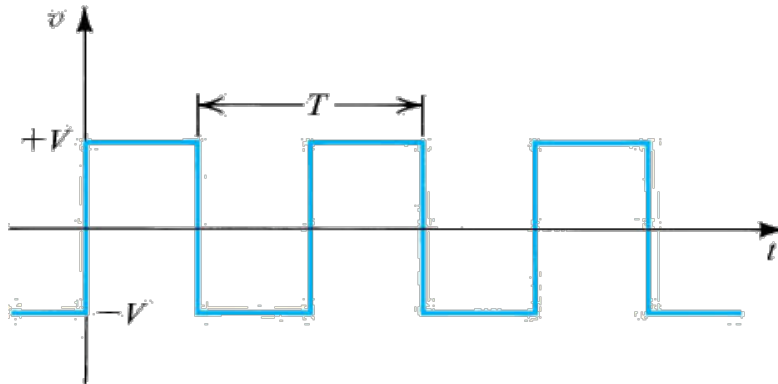
$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T \quad [\text{rad/s}]$$

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

V_a valore di picco di $v_a(t)$

$$V_{rms} = \frac{V_a}{\sqrt{2}} \quad \text{valore efficace di } v_a(t)$$

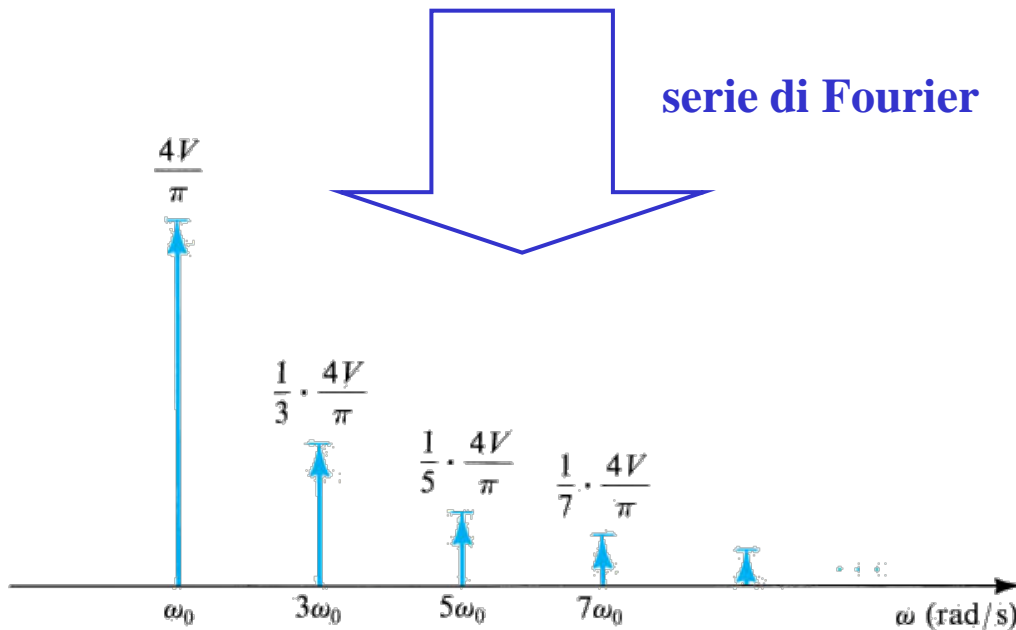
Segnale ad onda quadra e suo spettro di frequenza



$v(t)$
rappresentazione
nel dominio del
tempo

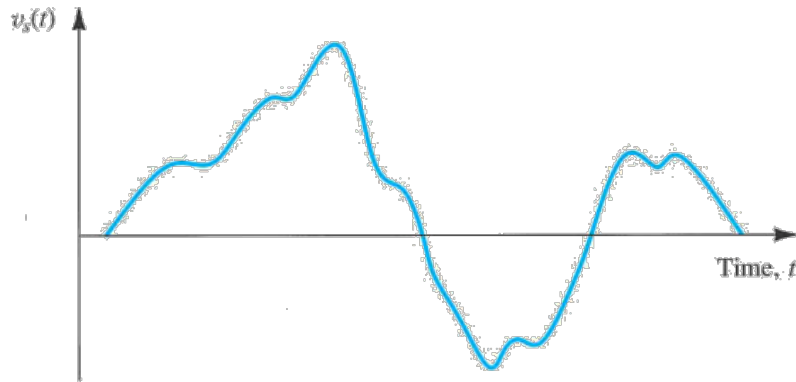
serie di Fourier

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



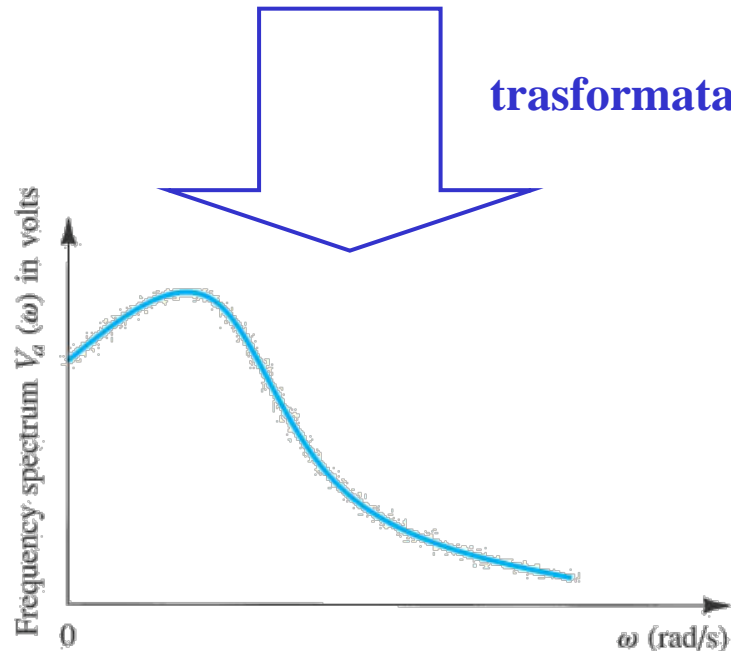
$V(\omega)$
rappresentazione
nel dominio della
frequenza

Segnale arbitrario e suo spettro di frequenza



$v_a(t)$
rappresentazione
nel dominio del
tempo

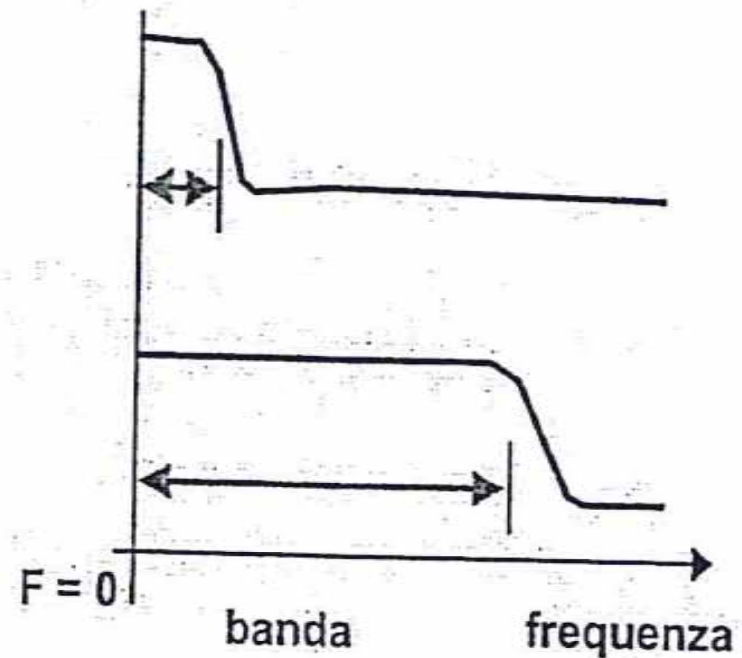
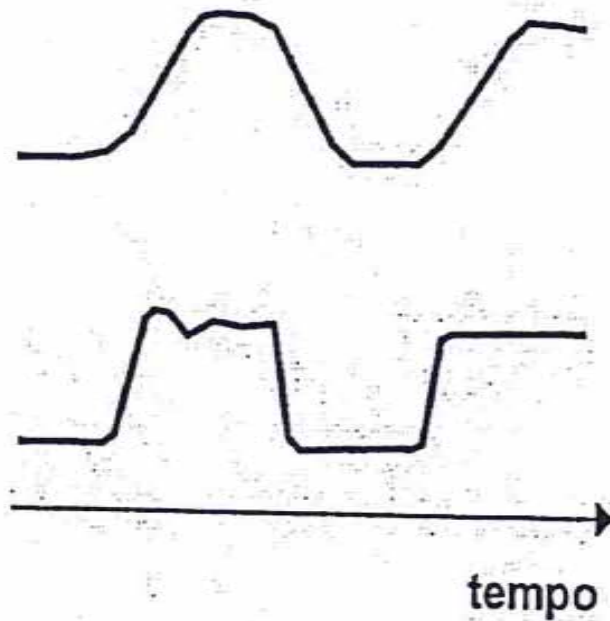
trasformata di Fourier



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

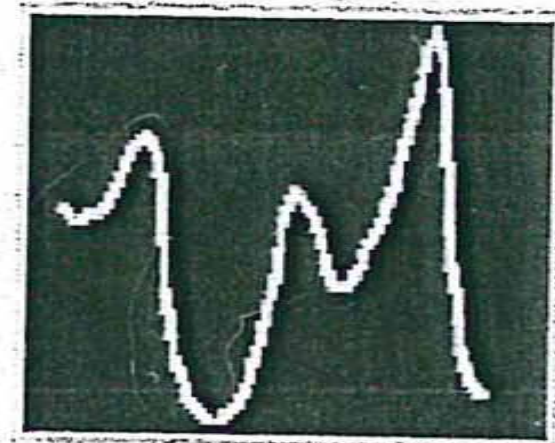
Legame Tempo-Frequenza

- Variazioni rapide del segnale corrispondono a componenti a frequenza elevata



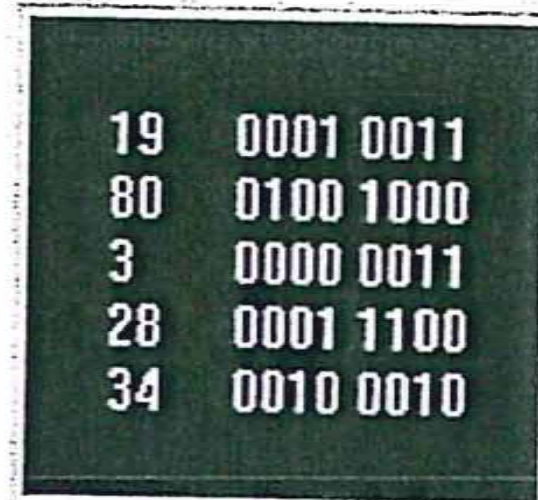
SEGNALI ANALOGICI

- 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



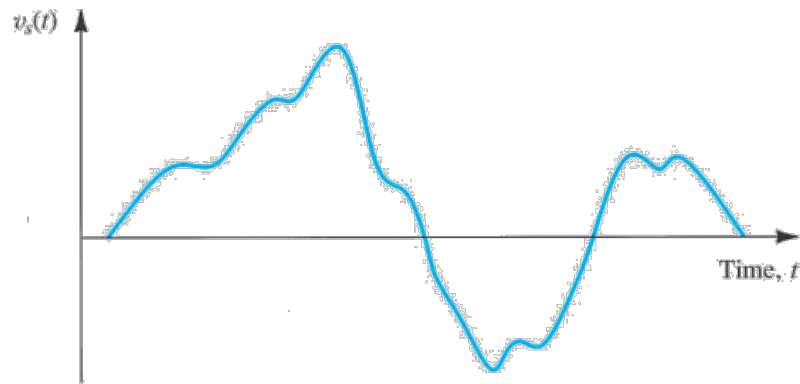
SEGNALI DIGITALI

- 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

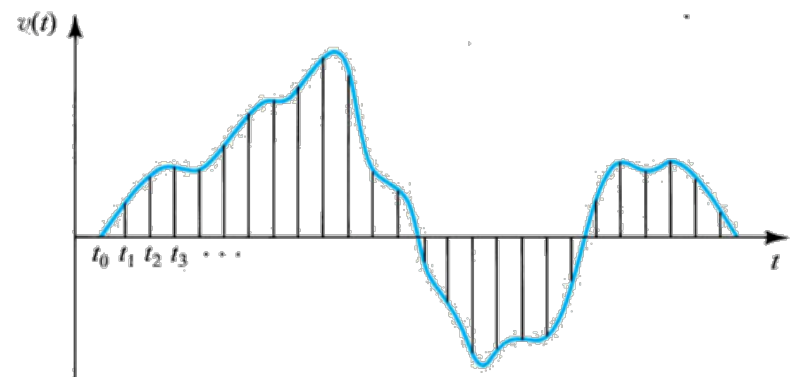


19	0001 0011
80	0100 1000
3	0000 0011
28	0001 1100
34	0010 0010

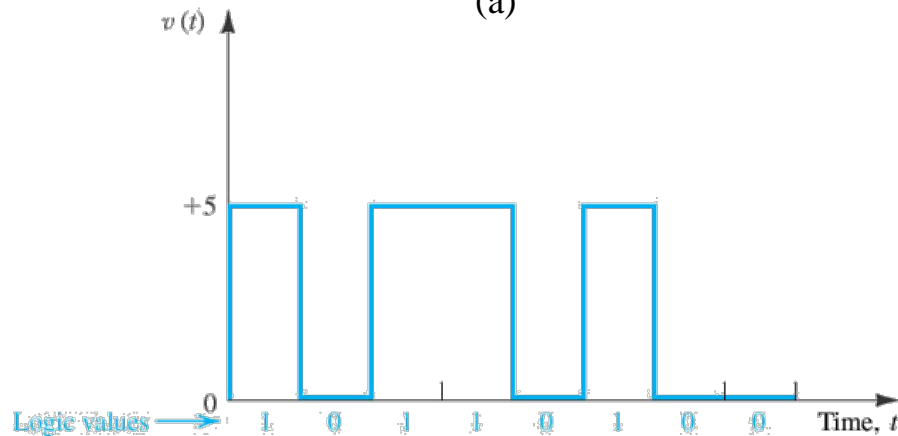
Segnali analogici e segnali digitali



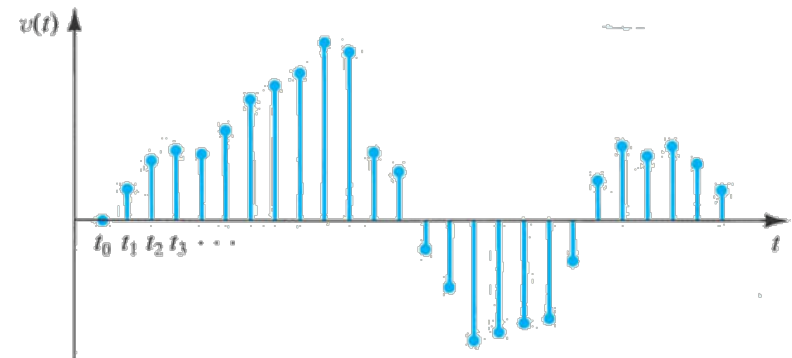
segnale analogico
(a)



campionamento di un segnale analogico
(c)

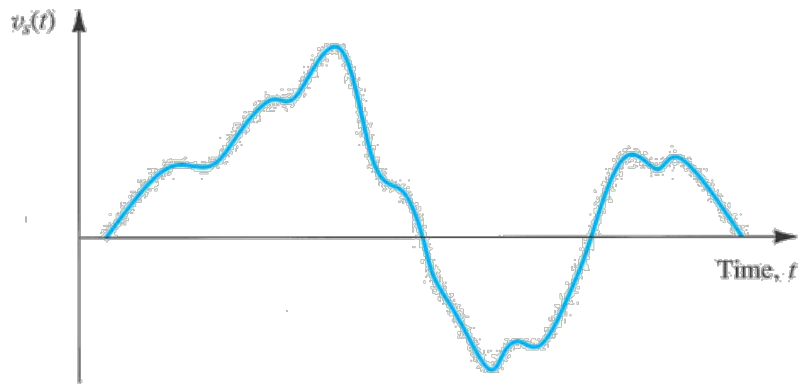


segnale digitale
(b)

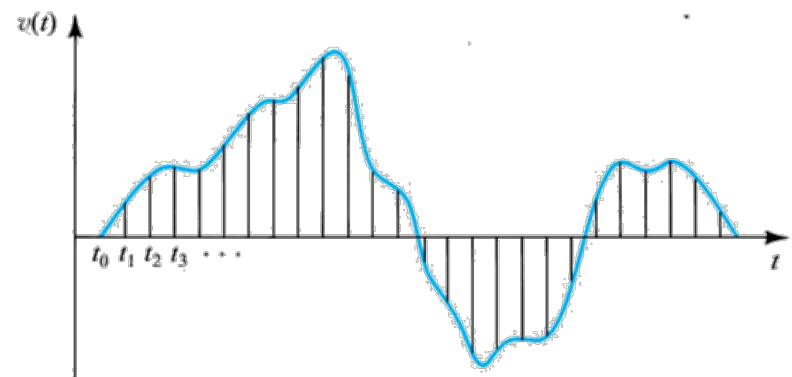


segnale analogico campionato o
segnale tempo-discreto
(d)

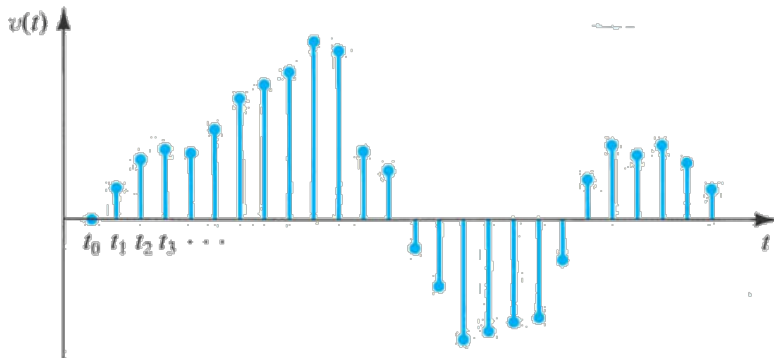
Conversione analogica /digitale



segnale analogico
(a)

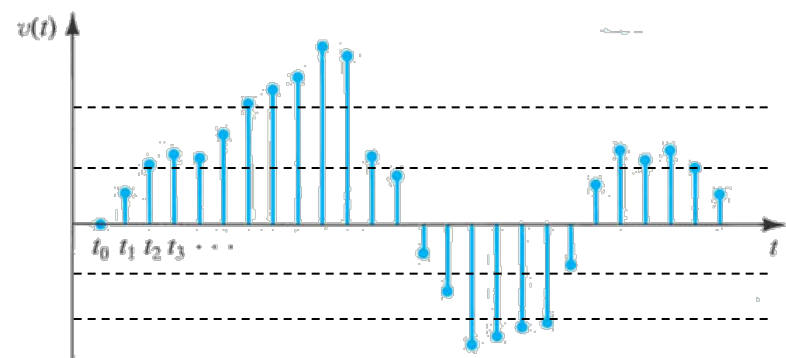


campionamento di un segnale analogico
(b)



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:

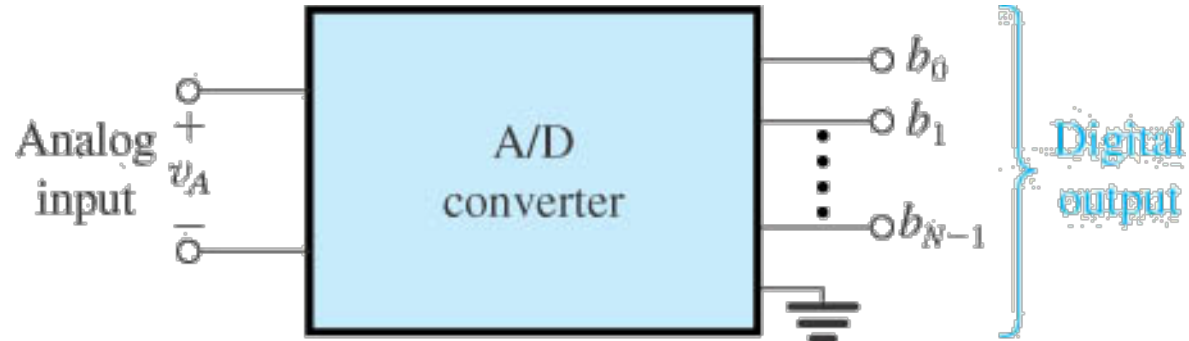
- Errore di quantizzazione ε_Q

» N bit : 2^N valori, quindi

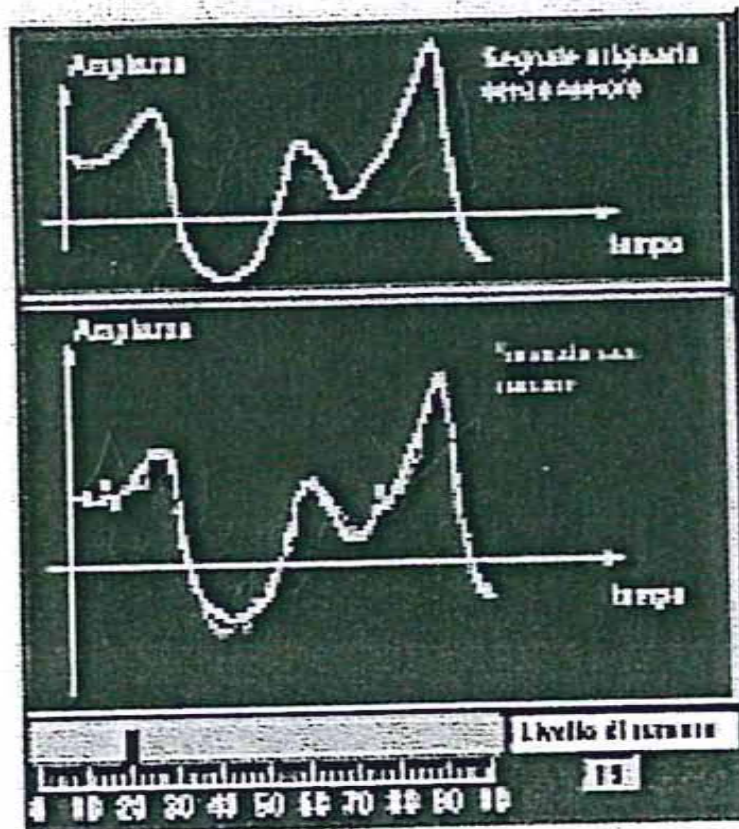
» errore $\varepsilon_Q = 100/2^N \%$ $= 1M/2^N \text{ PPM}$

– 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	$2^{24} = 16 \text{ M}$	$\varepsilon_Q = 6 \cdot 10^{-6} \%$	0,06 PPM
– 32 bit	$2^{32} = 4,3 \text{ G}$		

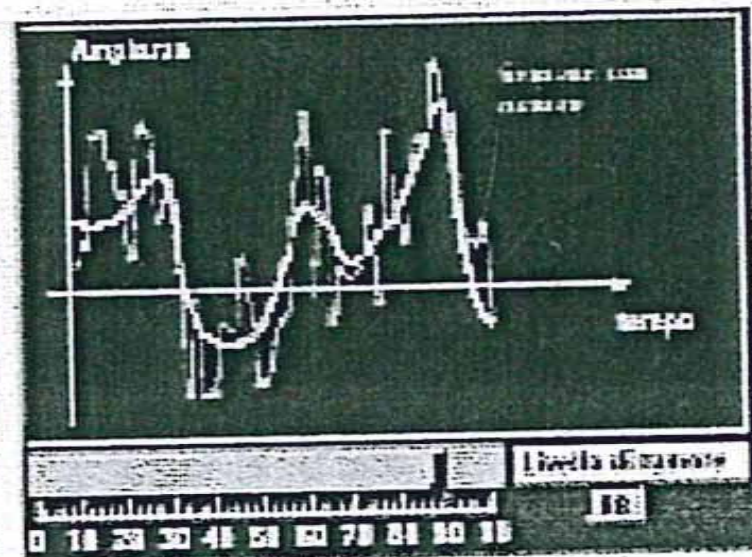
Convertitore analogico-digitale



Rumore e disturbi



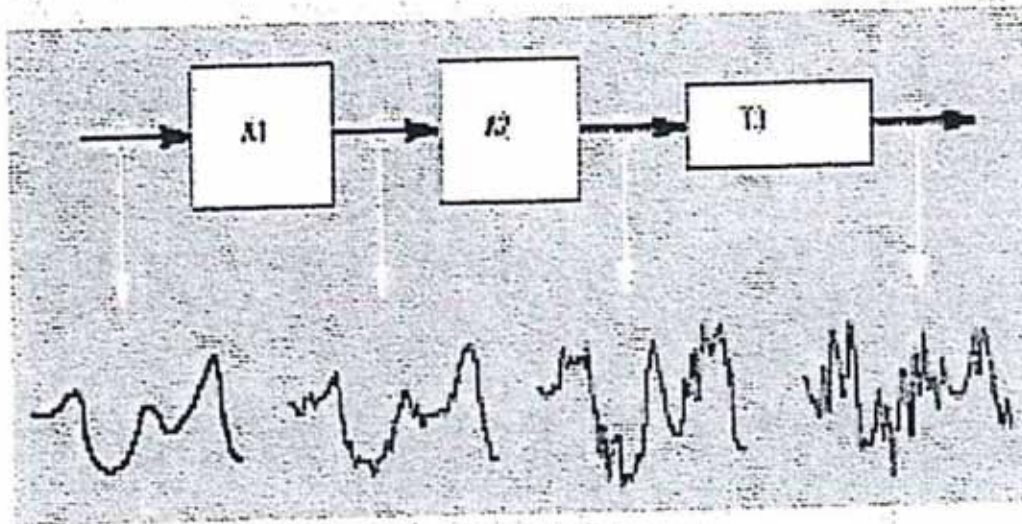
A ogni segnale è sempre sovrapposto un rumore



il rumore NON trasporta informazione utile

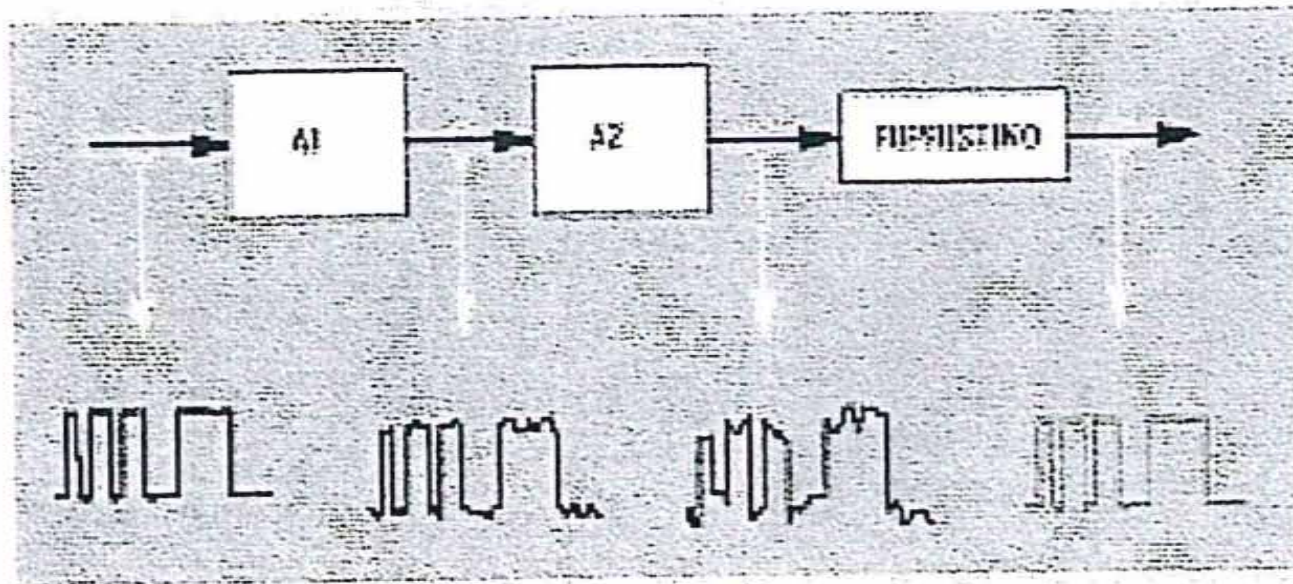
Degradazione del segnale analogico

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

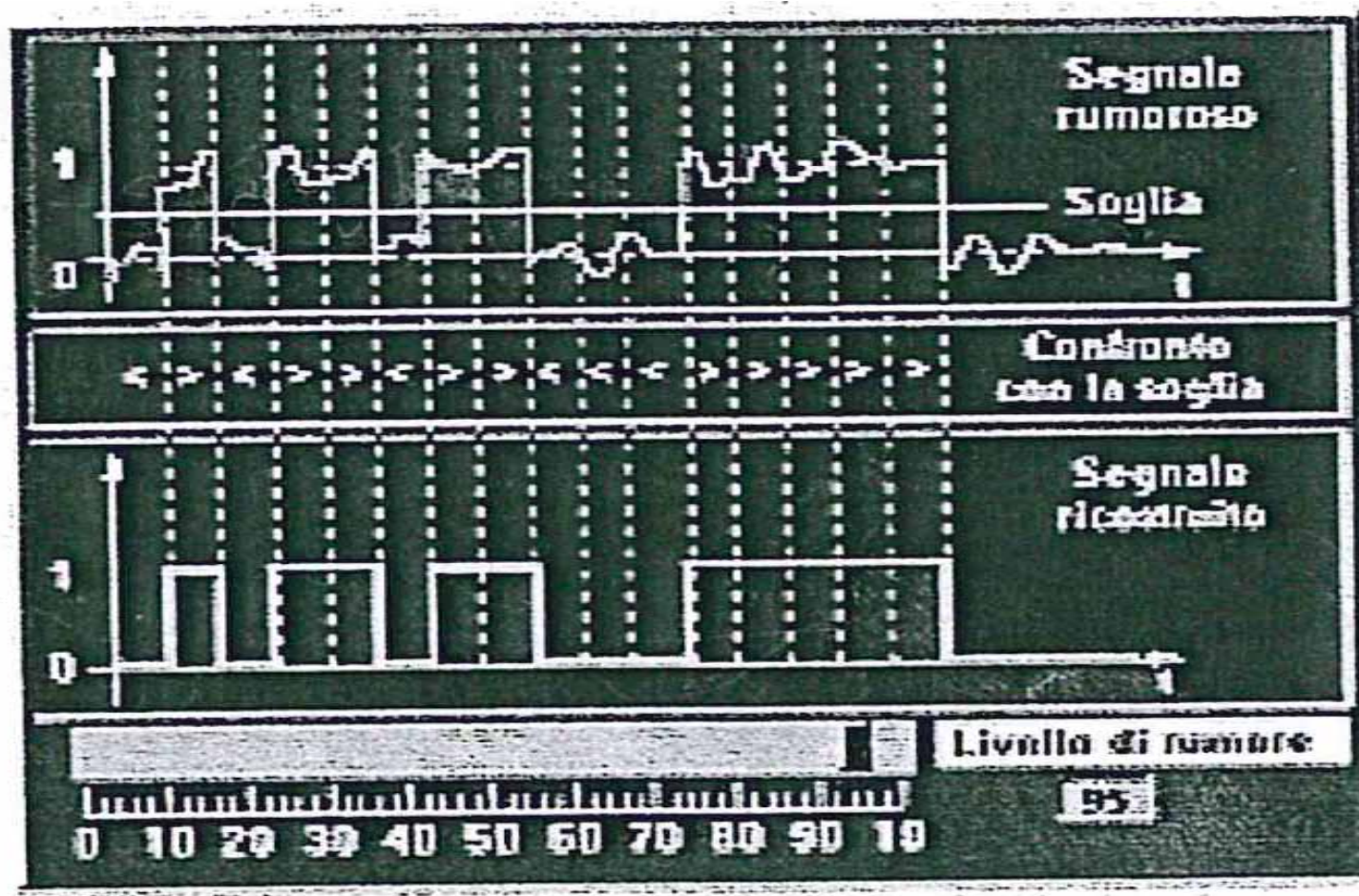


Degradazione segnale digitale

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



Ripristino del segnale digitale



- 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

