SISTEMI DI ACQUISIZIONE E DISTRIBUZIONE DATI

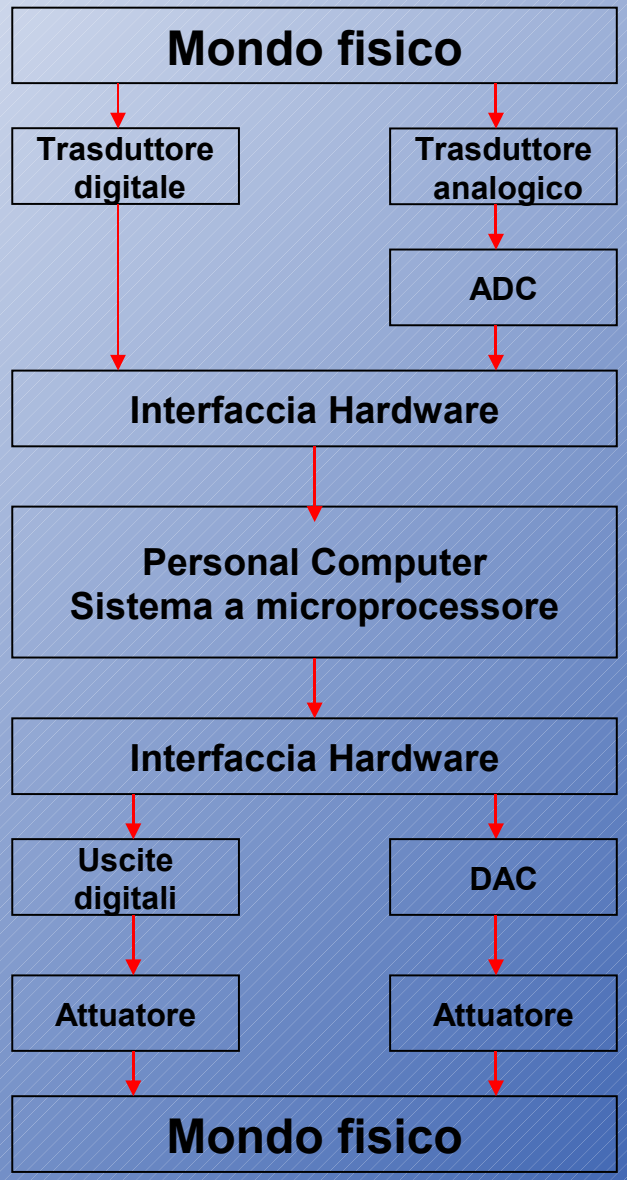
SISTEMA DI ACQUISIZIONE E DISTRIBUZIONE DATI

- **ACQUISIZIONE**:

  sistema in grado di acquisire e memorizzare grandezze analogiche e/o digitali.

- **DISTRIBUZIONE**:

  sistema in grado di inviare segnali analogici o digitali ad attuatori come motori, dispositivi riscaldanti, relè, teleruttori.

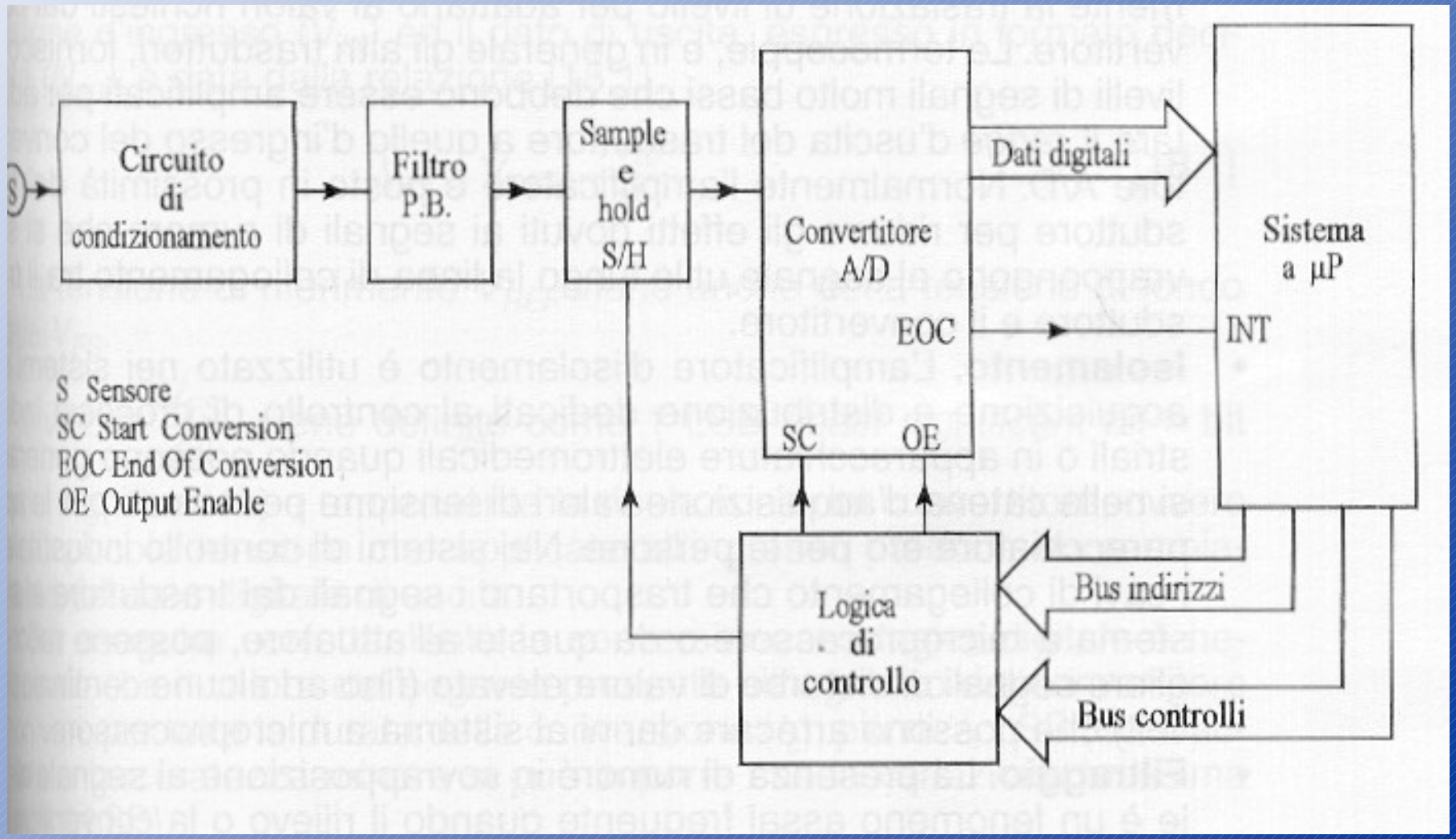


Sottosistema di misura

Sottosistema di controllo

Sottosistema di uscita

ARCHITETTURA DI UN SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI AD UN CANALE



Sensore -Trasduttore

E' un dispositivo a contatto con il mondo fisico, in grado di **rilevare una grandezza fisica** (umidità, pressione, temperatura, velocità, spostamento lineare ed angolare) e trasformarla in **una grandezza elettrica** (tensione, frequenza, resistenza, capacità) **proporzionale al valore della grandezza fisica rivelata.**

I sensori possono essere classificati in:

- ✓ **Analogici**: la grandezza elettrica di uscita varia con continuità in funzione della grandezza fisica di ingresso. Non possono essere interfacciati direttamente con sistemi digitali
- ✓ **Digitali**: la grandezza elettrica di uscita assume solo due livelli compatibili con un sistema digitale, possono essere interfacciati direttamente con un sistema a microprocessore (encoder genera un treno di impulsi)

Un ottimo trasduttore deve avere le seguenti caratteristiche:

- ✓ **Elevata sensibilità**
- ✓ **Uscita lineare**
- ✓ **Stabilità di funzionamento nel tempo**

TRASDUTTORI ANALOGICI

Trasduttori di temperatura

La maggior parte dei trasduttori di temperatura sono dispositivi analogici

- **PT100** — Termoresistenza RTD (T-R)

$$R_T = R_0(1+\alpha T)$$

- **KTY** — I trasduttori di tipo KTY sono realizzati con silicio drogato (T-R)

$$R_T = R_a e^{\alpha (T - T_a)}$$

- **Termistori NTC** — Sono trasduttori a semiconduttori (T-R)

$$R_T = R_0 e^{B\frac{T_0 - T}{T_0 * T}}$$

- **AD590** — Trasduttore integrato Analog Devices fornisce una corrente proporzionale alla temperatura (T-I)

$$I_s = {}^{1\mu A}/_{\circ C} * T + 273\mu A$$

- **LM3X** — trasduttore integrato National Instruments fornisce una tensione proporzionale alla temperatura espressa in °C (LM35), K (LM335) (T-V)
- **Termocoppie** — (T-V)

Trasduttori di posizione

- **Potenziometro lineare** trasduttore di spostamento (S-R)
- **Potenziometro rotativo** trasduttore di spostamento angolare (S-R)
- **LVDT** trasduttore di posizione lineare a trasformatore differenziale. Fornisce una tensione proporzionale allo spostamento lineare (S-V)

Trasduttori di umidità

- **Capacitivo** varia la capacità al variare dell'umidità relativa $\mathbf{C_s=C_0+\Delta C}$. Questa capacità viene usata per generare un onda quadra di frequenza variabile con l'umidità .
- **Resistivo** varia la propria resistenza al variare dell'umidità relativa secondo una legge esponenziale decrescente (umid-R)
- **HIH3605A** IC prodotto dalla Honeywell fornisce una tensione continua lineare ed amplificata in funzione dell'umidità relativa

Trasduttori fotoelettrici

- **Fotoresistore NORPS-12** sono costituiti da semiconduttori drogati e variano la propria resistenza al variare dell'illuminazione secondo una legge esponenziale decrescente.
- **Fotodiodo** la corrente di polarizzazione inversa della giunzione P-N dipende, secondo una complessa legge, dalla luce che la colpisce

Trasduttori ad effetto Hall

Un campo magnetico esercita sulle cariche in movimento in un materiale conduttore una for

Trova applicazione nella misura di campi magnetici, di correnti elettriche

- **UGN3503** realizzato dalla Allegro ha dimensioni molto piccole, contiene al suo interno l'elemento sensibile all'induzione magnetica, un amplificatore lineare, un regolatore di tensione ed un emitter follower.
- **CSLA2CD** trasduttore di corrente prodotto dalla Honeywell

Trasduttori di forza

Gli estensimetri sono usati per la misura di deformazioni, di forze e di peso, sono classificati in base all'effetto che utilizzano:

- *filiforme meccanico (F-R)*
- *piezoresistivo (F-R)*
- *Piezoelettrico (F-V)*

Trasduttori di pressione

- *Capacitivo (P-C)*
- *induttivo (P-L)*
- *Hall (P-VHall)*
- *piezoresistivo (P-R)*

Trasduttori di gas

La concentrazione di gas nell'atmosfera (CO_2, CO, propano, idrogeno, vapori di benzina) può essere rilevata con metodi chimici, elettrochimici e fisici.

- **TGS813** prodotto dalla Figaro è realizzato in ossido di stagno sensibile alla presenza di gas combustibili, varia la propria resistenza al variare della concentrazione del gas.
- **NAP-11** trasduttore a semiconduttore adatto a rilevare bassissime concentrazioni di CO generato ad esempio da apparecchi a combustione mal funzionanti. Anche questo varia la propria resistenza al variare della concentrazione del gas. Si consiglia di pulire l'elemento sensibile ad intervalli di tempo regolari usando l'apposito elemento riscaldatore presente nel chip

Trasduttori di velocità angolare

Trasformano energia meccanica in energia elettrica e generano un segnale analogico proporzionale alla velocità angolare di un albero in movimento. Basano il loro funzionamento sul principio dell'induzione magnetica.
*Il più diffuso è la **dinamo tachimetrica,** una macchina elettrica che fornisce una tensione continua il cui valore dipende dalla velocità di rotazione del rotore*

TRASDUTTORI DIGITALI

Trasduttori ON-OFF ad effetto Hall

Un campo magnetico esercita sulle cariche in movimento in un materiale conduttore una forza (di Lorentz) che le devia nel loro movimento generando una d.d.p. (tensione di Hall).

- **UGN3020U** realizzato dalla Allegro fornisce un segnale a due livelli (compatibile TTL e CMOS) basso quando il trasduttore è in presenza di campo magnetico.

Trasduttore di luminosità TSL220

Prodotto dalla Texas Instruments converte l'intensità luminosa in un treno di impulsi di livello compatibile TTL E CMOS.

La frequenza del segnale dipende dall'intensità dalla radiazione luminosa.

Il segnale fornito dal trasduttore può essere collegato al pin di input di un sistema a microcontrollore e tramite software si può misurare la frequenza del segnale e di conseguenza l'intensità della radiazione luminosa

Trasduttore di temperatura SMT160-30

Prodotto dalla Smartec converte la temperatura in un segnale ad onda quadra TTL compatibile. Il duty cycle dell'onda quadra è funzione lineare della temperatura nel range -40°C – 130°C

Trasduttore di umidità e temperatura

L'integrato SHT75 della Sensirion è un trasduttore di umidità relativa e temperatura. I due elementi sensibili, integrati nello stesso chip, sono accoppiati con un ADC a 14 bit e con un circuito di interfaccia seriale che fornisce in uscita un segnale digitale di tipo seriale

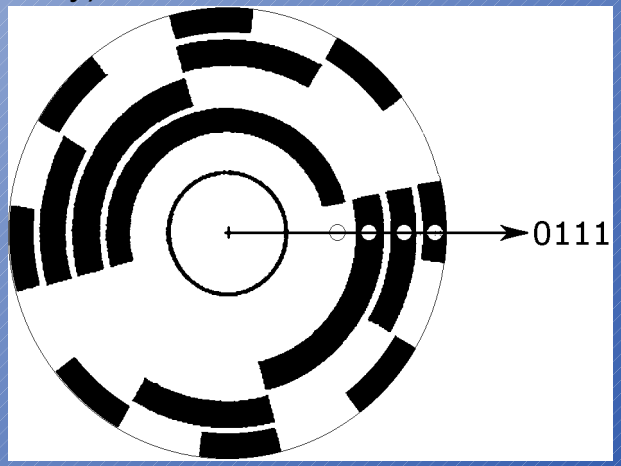
Encoder ottico

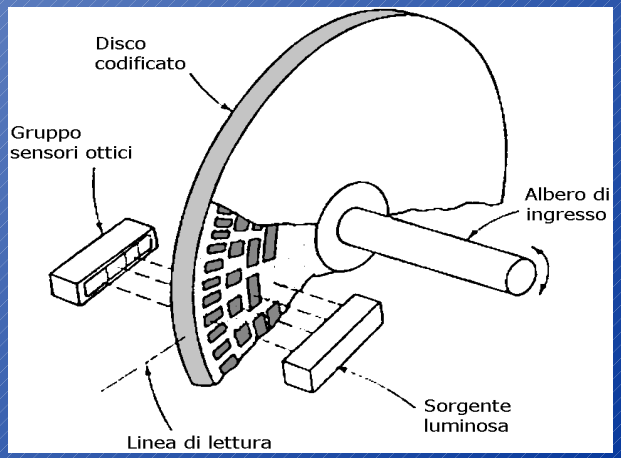
È un dispositivo che converte una velocità angolare in un segnale ad onda quadra, oppure una posizione angolare in un codice binario mediante il quale è possibile individuare la posizione dell'albero. Basa il suo funzionamento sulla interruzione o meno di un raggio luminoso.

- **Encoder incrementale** usato per misurare la velocità angolare di un mezzo in rotazione, fornisce un segnale TTL compatibile di frequenza proporzionale alla velocità di rotazione.

- **Encoder assoluto** usato per misurare la posizione angolare di un mezzo in rotazione, fornisce per ogni posizione angolare un codice binario ad n bit (codice Gray)

Angolo	C	B	A
0°	0	0	0
45°	0	0	1
90°	0	1	1
135°	0	1	0
180°	1	1	0
225°	1	1	1
270°	1	0	1
315°	1	0	0





Sensori in campo automobilistico

Specifiche generali: robustezza (temperature -40 - +150 °C, accelerazioni 5-30 g, pioggia, fango, sali, olio, interferenze elettromagnetiche), affidabilità (durata 5-10 anni), bassi costi (2 ordini di grandezza sotto strumentazione), consumo risorse

Mercato: qualche centinaio di milioni di pezzi/anno

Usi:

- Controllo del motore (misura dei flussi di carburante e aria, sensore ossigeno gas di scarico)
- Pressione (olio motore e freni, carburante, pneumatici)
- Controllo livelli (olio, carburante)
- Sicurezza (rottura componenti importanti, interferenze e.m., accelerazione/decelerazione (airbag))
- Comfort (velocità, accelerazione, intensità luce, umidità, odori…)

La sonda λ

Gas di scarico
Aria
Elemento sensibile rivestito in platino

Sensori “domestici”

- Forno microonde (umidità, temperatura (termistore, IR), gas)
- Fornelli (temperatura)
- Lavatrice (sensori di livello (ottici, pressione), velocità di rotazione cestello (sensore magnetico), trasparenza acqua, carico, umidità)
- Frigorifero (temperatura, formazione ghiaccio, porta aperta)
- Equipaggiamento audio/video (temperatura cilindro, contagiri nastro, inizo/fine nastro, umidità)

BLOCCO DI CONDIZIONAMENTO

L'uscita di un trasduttore solo di rado può essere direttamente collegata ad uno strumento di misura, di elaborazione o di visualizzazione.
Il segnale elettrico in uscita dal sensore/trasduttore, oltre a contenere componenti indesiderate, è in genere troppo rumoroso e debole (valori dell'ordine dei *millivolt* o dei *picoampere*) per poter essere trasmesso a distanza.
In questo caso è necessaria la presenza di un circuito di interfaccia che ottimizzi il collegamento fra dispositivo sensibile e carico.

Pertanto, a causa della "incompatibilità" fra l'uscita del sensore/trasduttore e l'ingresso del sistema di acquisizione (carico) è necessaria una opportuna operazione di *condizionamento* sul segnale di uscita dal sensore/trasduttore.

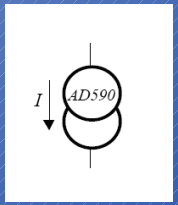
Un circuito di condizionamento del segnale ha il compito di portare il segnale in uscita dal sensore in un formato compatibile con il dispositivo di elaborazione che lo segue riducendo il più possibile gli effetti negativi di carico e le interferenze esterne

La grandezza fisica da rilevare è convertita in una grandezza elettrica (tensione, corrente, resistenza, capacità) dai sensori, gli altri blocchi del sistema devono svolgere tutte o solo parte delle seguenti operazioni:

- ***Conversione resistenza/tensione***
- ***Conversione corrente/tensione***
- ***Amplificazione e traslazione di livello***
- ***Isolamento***
- ***Attenuazione dei segnali di rumore (filtraggio del segnale)***
- ***linearizzazione***

Conversione corrente/tensione

È eseguita da *convertitori I/V*. Siccome alcuni sensori forniscono un'uscita in corrente (AD590), è necessario operare una conversione I/V in quanto il ADC converte in digitale segnali analogici in tensione.



Amplificazione

Una delle operazioni fondamentali richieste ad un circuito di condizionamento è l'amplificazione del segnale ed, eventualmente la traslazione di livello per adattarlo alle specifiche del ADC.

Molti sensori forniscono livelli di segnale molto bassi che devono essere amplificati per adattare il range di uscita del trasduttore a quello d'ingresso del ADC (tipicamente 0-5 V).

Normalmente il blocco amplificatore è posto vicino al trasduttore per ridurre gli effetti dovuti al segnale di rumore presente lungo la linea di collegamento tra il sensore e l'ADC.

Isolamento

L'amplificatore di isolamento è usato in applicazioni biomediche quando possono generarsi nella catena di acquisizione tensioni pericolose per le persone.

È un amplificatore per strumentazione con stadio d'ingresso isolato otticamente o magneticamente da quello di uscita

Linearizzazione analogica

Viene effettuata sulla curva di risposta dei sensori che presentano una caratteristica non lineare.

Può essere:

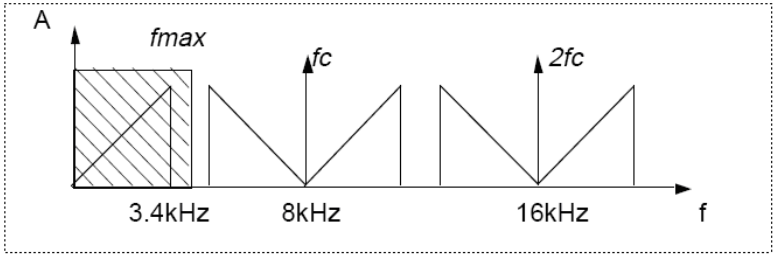
- ***Software*** si effettua con appositi programmi o correggendo i valori acquisiti in base a dati memorizzati in una tabella
- ***Hardware*** si effettua usando amplificatori o circuiti che hanno una curva di risposta complementare a quella del sensore

Filtraggio

L'operazione viene effettuata per ridurre al minimo l'influenza del rumore sul segnale che viene acquisito.

È necessario usare un filtro passa basso in grado di tagliare tutte le armoniche fuori banda utile e ridurre al minimo il fenomeno dell' **aliasing,** che si genera quando si campiona un segnale, a causa delle sue componenti armoniche di frequenza più alta.

- **Lo spettro di un segnale campionato contiene lo spettro del segnale stesso e delle sue armoniche**



Campionamento e conversione AD

Ogni segnale analogico tempo-continuo s(t) può essere convertito in forma numerica attraverso due operazioni

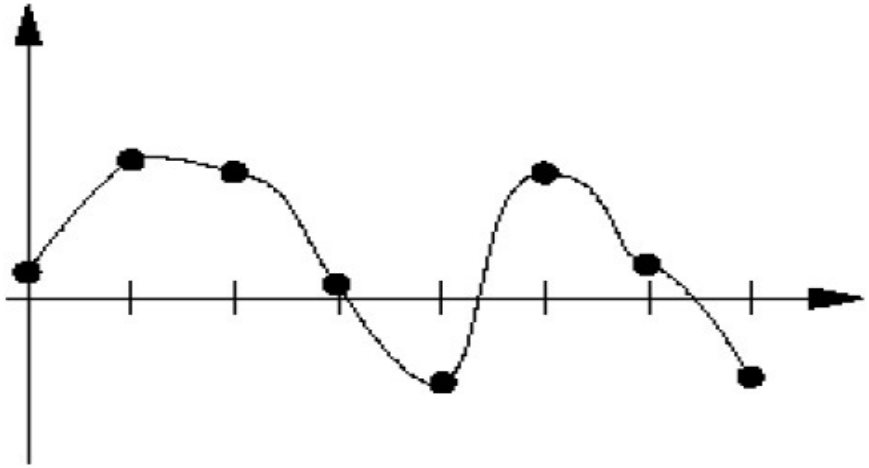
Si rende discreto l'asse temporale (**campionamento**)

- Si sostituisce il segnale analogico tempo-continuo con una serie di campioni analogici (teorema del campionamento: $f_c \geq 2B$)

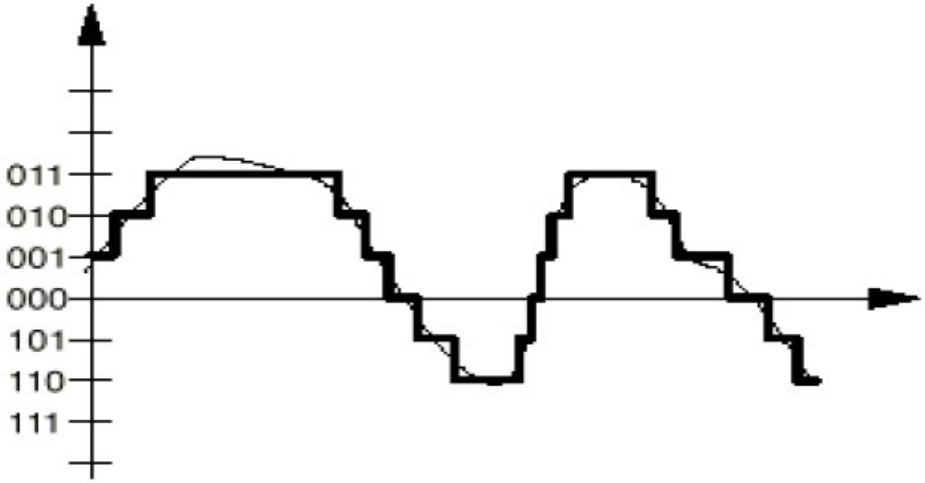
Si rende discreto l'asse delle ampiezze (**quantizzazione**)

- l'ampiezza analogica dei campioni che ricadono in un intervallo è approssimata con un singolo valore (ampiezza quantizzata)
- ad ogni intervallo dell'asse si associa un numero
- la quantizzazione di solito non è uniforme

Un segnale analogico tempo-continuo può essere convertito in un segnale numerico attraverso le operazioni congiunte di **campionamento** e **quantizzazione**



campionamento



quantizzazione

Il **blocco S/H** è in grado di acquisire il valore assunto dal segnale in un determinato istante (sample) e mantenerlo costante all'ingresso del convertitore (hold), per tutto il tempo impiegato ad effettuare la conversione.
Se la variazione del segnale è molto lenta si può fare a meno del blocco S/H e il segnale può essere applic

Convertitore A/D

Analog to **D**igital **C**onverter

Il convertitore A/D trasforma il segnale analogico presente al suo ingresso in un segnale digitale a n bit.

Effettua la quantizzazione del segnale analogico e la codifica del suo valore in un codice binario a n bit.

Ogni ADC ha un proprio range per i valori della tensione analogica di ingresso da convertire.

V_{FS} tensione di fondo scala: max valore della V ingresso

V_{REF} V riferimento coincide normalmente con la V_{FS} e deve essere molto stabile

La relazione che lega il valore analogico della tensione di ingresso ed il valore digitale dell'uscita è:

$$V_i = V_{REF}\frac{N}{2^n} \qquad N = V_i\frac{2^n}{V_{REF}}$$

N= valore espresso in numero decimale della v uscita
n= numero di bit del convertitore AD
V_{REF}= tensione di riferimento

esempio

THERMally sensitive resISTOR (***THERMISTORS, NTC/PTC***)

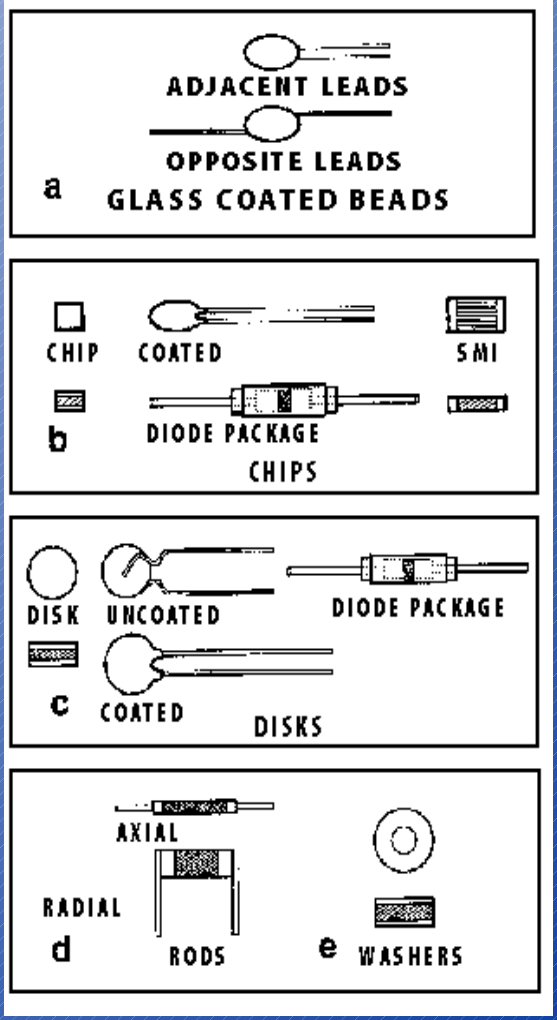
Sono solitamente ottenuti per:

- sinterizzazione di ossidi metallici (NTC)
- sinterizzazione di metalli ferroelettrici (PTC)
- drogaggio di semiconduttori

Data la tecnologia realizzativa non presentano il grado di purezza delle termoresistenze, sebbene presentino elevata sensibilità e velocità di risposta.

Applicazioni tipiche:

- a temperatura ambiente per compensazioni di temperatura
- come rilevatori di gradiente termico (data la loro velocità di risposta)



THERMally sensitive resISTOR (*THERMISTORS, NTC/PTC*)

$$R_T = R_0 e^{\left[\beta\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_0}\right)\right]}$$

R_T: resistenza alla temperatura T [K]

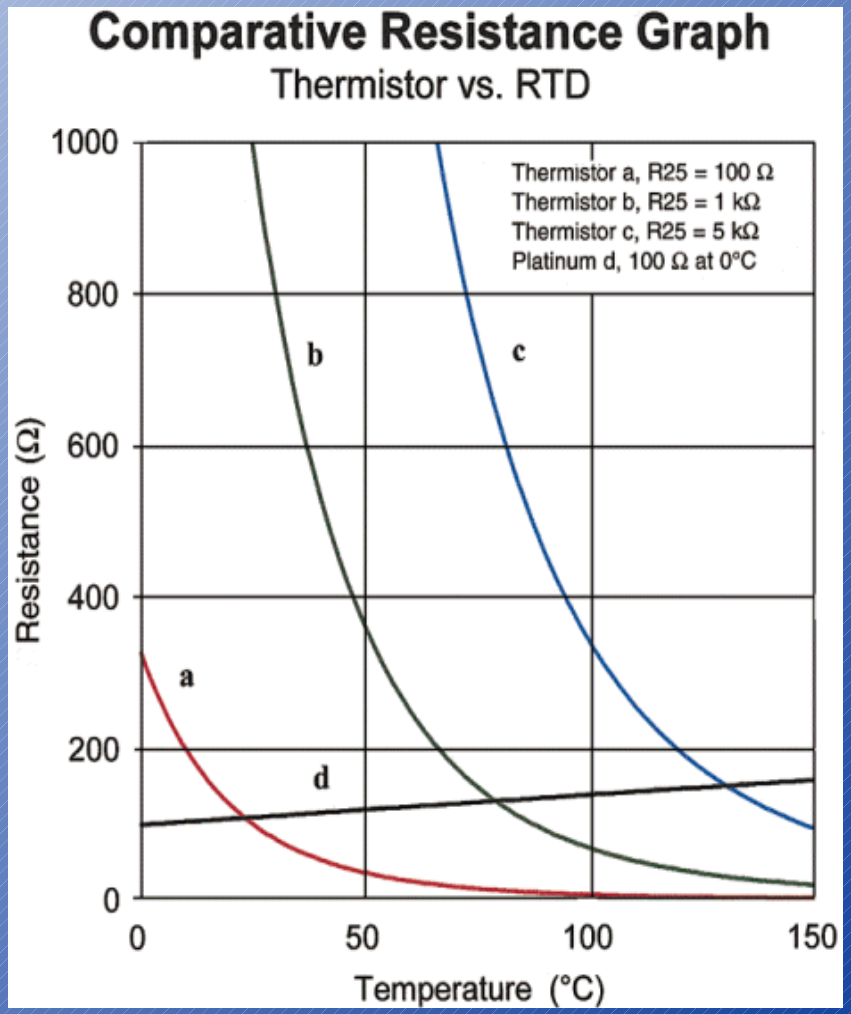
R_0: resistenza alla temperatura di riferimento T_0 [K]

β:coefficiente caratteristico del materiale [K]

Coefficiente di temperatura: $-\beta/T^2$ °C^{-1}

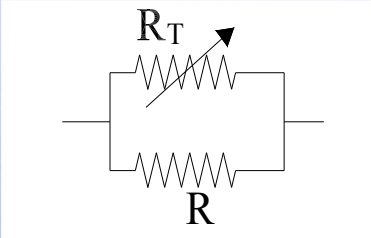
Campo di impiego (tipico): -100÷300 °C

$$\frac{\frac{dR_T}{dT}}{R_T} = -\frac{\beta}{T^2}\left[\frac{1}{^\circ C}\right]$$



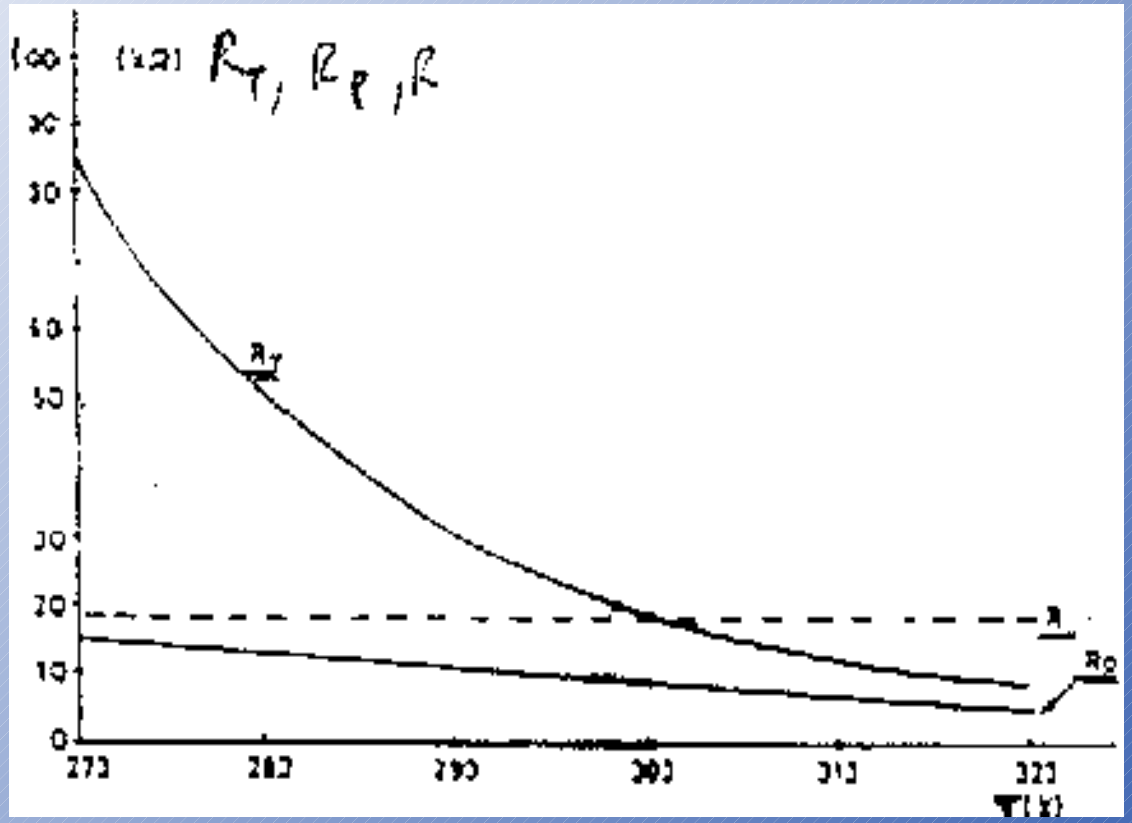
THERMally sensitive resISTOR (***THERMISTORS, NTC/PTC***)

Linearizzazione



Resistore *R* in parallelo

Variazione di R_p con T è inferiore



$$R_p = \frac{RR_T}{R + R_T}$$

$$\frac{dR_p}{dT} = \frac{R^2}{(R + R_T)^2}\frac{dR_T}{dT}$$

$$\frac{dR_p/dT}{R_p} = -\frac{\beta}{T^2}\frac{1}{1 + R_T/R}$$

Coefficiente di temperatura equivalente

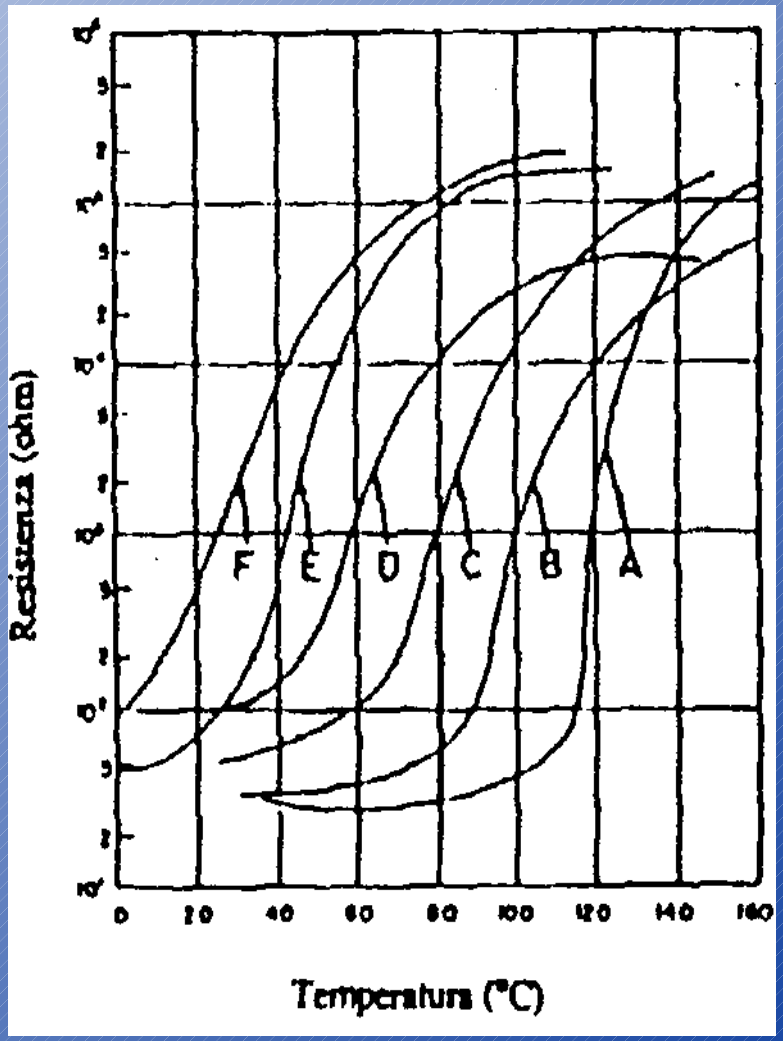
PTC

$$R_T = R_0 e^{[\beta (T - T_0)]}$$

R_T: resistenza alla temperatura T [K]

R_0: resistenza alla temperatura di riferimento T_0 [K]

β:coefficiente caratteristico del materiale [K]



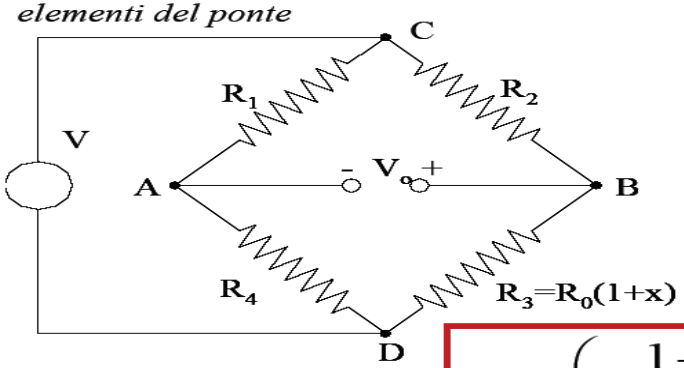
Relazioni funzionali tipiche resistenza/temperatura di termistori PTC al Ba-Sr

Simbolo miscela	A	B	C	D	E	F
Ba(%)	96.7	90.0	83.3	76.7	70.0	63.0
Sr (%)	3.3	10.0	16.7	23.3	30.0	37.0
Temp. Curie (°C)	115	85	75	55	35	15

Circuiti di condizionamento per sensori resistivi

Il ponte di Wheatstone

Metodo a deflessione: *Invece di misurare l'entità dell'azione necessaria a ristabilire l'equilibrio del ponte è possibile ottenere un segnale elettrico funzione della variazione degli elementi del ponte*



$$V_0 = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} - \frac{R_4}{R_1 + R_4} \right) V$$

$$V_o = \left(\frac{R_0(1+x)}{R_2 + R_0(1+x)} - \frac{R_4}{R_1 + R_4} \right) V$$

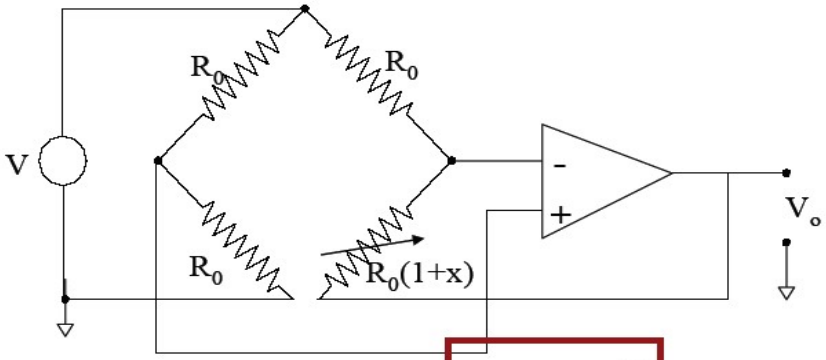
$$V_o = \left(\frac{1+x}{k+1+x} - \frac{1}{k+1} \right) V$$

$$k = \frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_0}$$

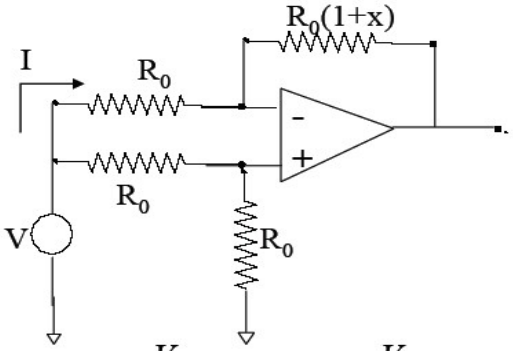
Linearizzazione

La linearità è una delle caratteristiche metrologiche più interessanti di un sistema di misura.

Oltre che linearizzare la caratteristica di trasduzione è possibile considerare configurazioni circuitali tramite cui ottenere una relazione intrinsecamente lineare.



$$Vo = -V\frac{x}{2}$$



$$V_+ = \frac{V}{2} \qquad I = \frac{V}{2R_0}$$

$$V_o = -IR_0(1+x) + \frac{V}{2} = -\frac{1}{2}Vx$$

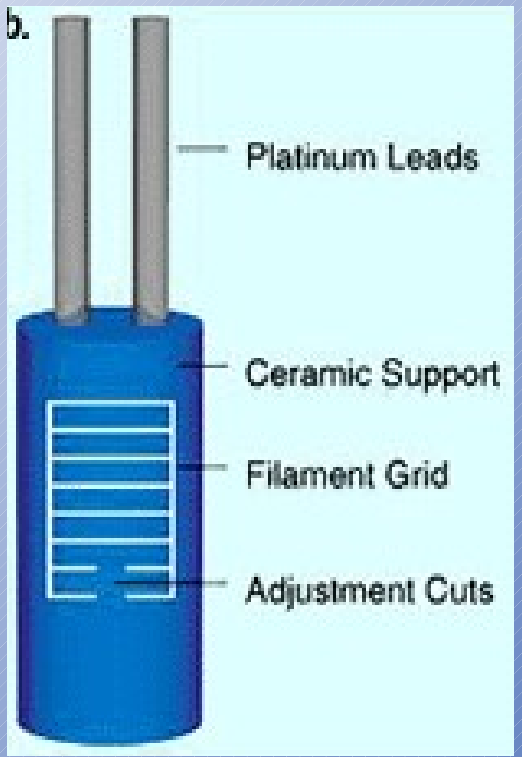
TEMPERATURE SENSOR COMPARISON CHART

Characteristic	Pt RTD, Film	Pt RTD, WW	Thermistor	Thermocouple	Silicon
Active Material	Platinum thin film	Platinum, wire wound	Metal oxide ceramic	Two dissimilar metals	Silicon transistor cascade
Relative Sensor Cost	Moderate to Low	Moderate	Low to Moderate	Low	Low
Relative System Cost	Moderate	Moderate	Low to Moderate	High	Low
Temp Range	-200°C to 750°C (560°C max. typ.)	-200°C to 850°C (600°C max. typ.)	-100°C to 500°C (125°C max. typ.)	-270°C to 1800°C	-40°C to 125°C
Changing Parameter	Resistance	Resistance	Resistance	Voltage	Voltage
Base Value	100 Ω TO 2000 Ω	100 Ω	1 kΩ to 1 MΩ	<10 μV at 25 °C	750mV at 25
Interchangeability	±0.1% , ±0.3°C	±0.06% , ±0.2°C	±10%, ±2°C typ.	±0.5% , ±2°C	±1% , ±3°C
Stability	Excellent	Excellent	Moderate	Poor	Moderate
Sensitivity	0.39% /°C	0.39% /°C	- 4% /°C	40 μV /°C	10 mV /°C
Relative Sensitivity	Moderate	Moderate	Highest	Low	Moderate
Linearity	Excellent	Excellent	Logarithmic, Poor	Moderate	Moderate
Slope	Positive	Positive	Negative	Positive	Positive
Noise Susceptibility	Low	Low	Low	High	Low
Lead Resistance Errors	Low	Low	Low	High	Low
Minimum Size (in.)	.050 x .065	0.5 x .060 ϕ	.016 x .120	.025 x .016 ϕ	SO-53
Minimum Probe Diameter	.080	.080	.065	.025	.080
Special Requirements		Lead compensation	Linearization	Reference junction	

Sensori di temperatura

RTD – Termometri a resistenza

RESISTANCE TEMPERATURE DETECTORS (RTDs) - sono sensori costituiti da un avvolgimento di un filo conduttore (wirewound) oppure da una serpentina realizzata con tecnologia a film sottile (thin film) che mostrano una variazione della resistenza con la temperatura.



Sebbene vengano usati diversi tipi di metalli come rame o nickel, le migliori prestazioni in termini di linearità, ripetibilità e stabilità si ottengono con RTD realizzati in platino (sensori primari, ITS-90)

Pt RTD (RTD al platino) realizzati con film sottile offrono prestazioni vicine ai dispositivi wirewound ma con costi ed ingombri minori.

Pt RTD

Il Platino è un materiale nobile, non si ossida apprezzabilmente sotto i 1000-1100 °C.

Norme IEC 751
La relazione *resistenza-temperatura* è modellizzata dalla ***Callendar-Van Dusen equation***.

$$R_T = R_0(1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3) \qquad -200\ °C < T < 0\ °C$$

A, B, C coefficienti ricavati sperimentalmente dalla misure di R_0, R_{100}, R_{260}

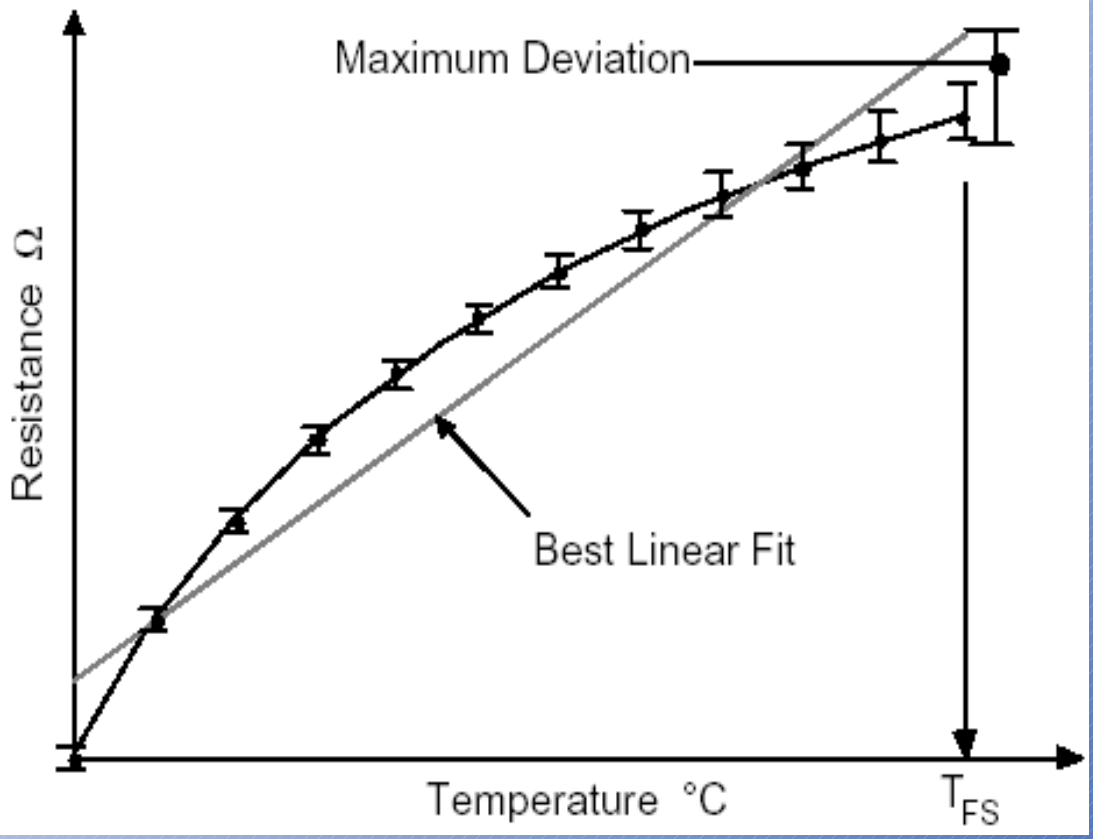
T: temperatura in °C
R_0: resistenza a 0 °C
R_T: resistenza alla temperatura T

$$A = \alpha + \frac{\alpha\ \delta}{100} \qquad B = -\frac{\alpha\ \delta}{100^2} \qquad C_{T<0} = -\frac{\alpha\ \beta}{100^4}$$

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100\,R_0} \qquad \delta = \frac{R_0\left(1 + \alpha\ 260\right) R_{260}}{4.16\,R_0\,\alpha} \qquad \beta\ cost.\ per\ T < 0^\circ C$$

Pt RTD

La relazione Callendar-Van Dusen viene troncata a T^2 per valori positivi di temperatura



$$R_T = R_0(1 + AT + BT^2) \qquad 0\ °C < T < 800\ °C$$

Cu RTD

La relazione Callendar-Van Dusen viene troncata a T per valori positivi di temperatura

Rispetto al Platino platino, il Rame presenta:

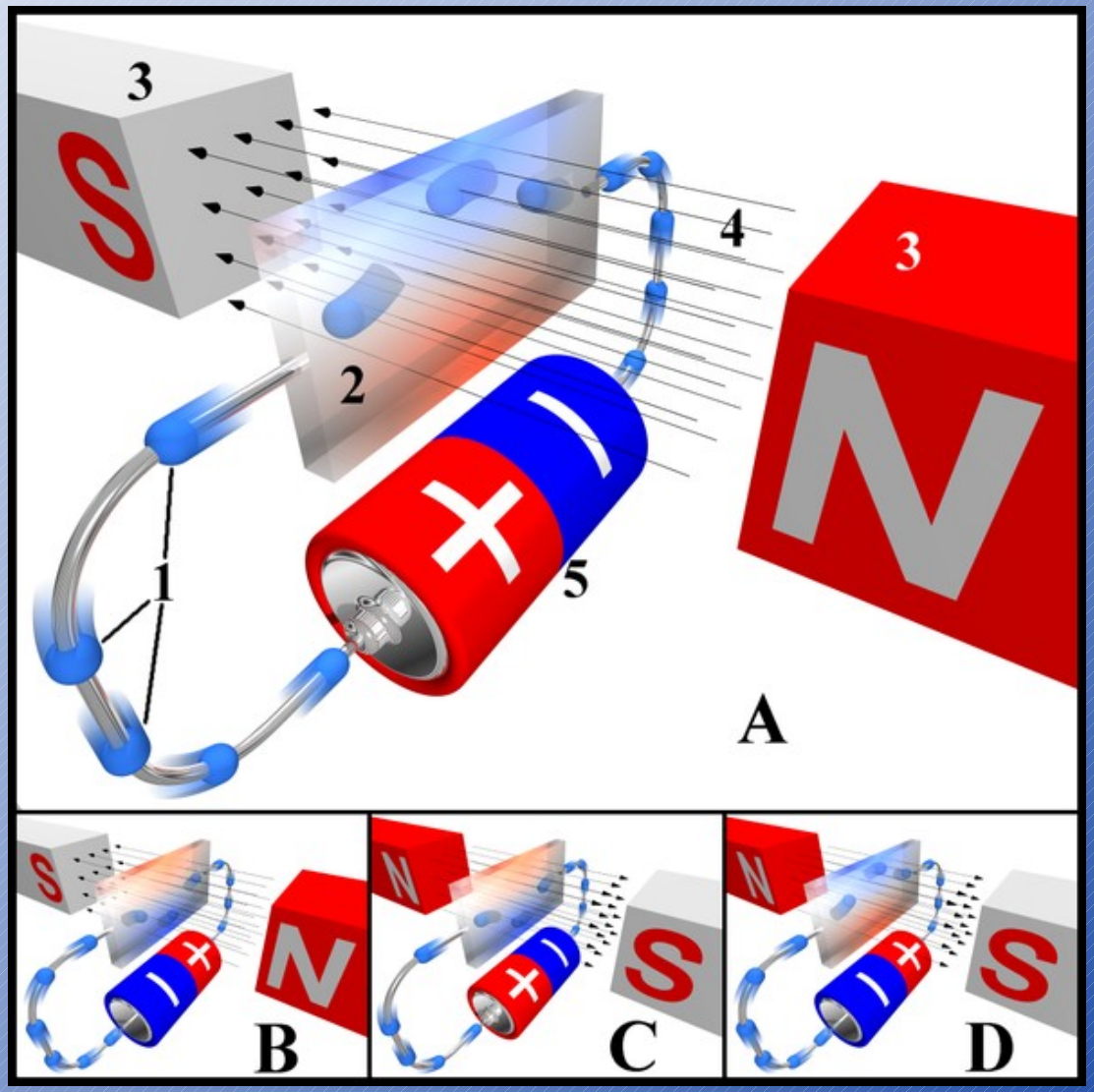
- Maggiore coefficiente di temperatura α=4.26 10^{-3}/°C
- Minor resistività elettrica
- Maggiore linearità della relazione resistenza-temperatura
- Minor resistenza all'ossidazione

Il maggior coefficiente di temperatura non compensa la minor resistività. Infatti, a parità di resistenza ($R=\rho l/s$), si hanno elementi sensibilmente più grossi e quindi ***più lenti***.

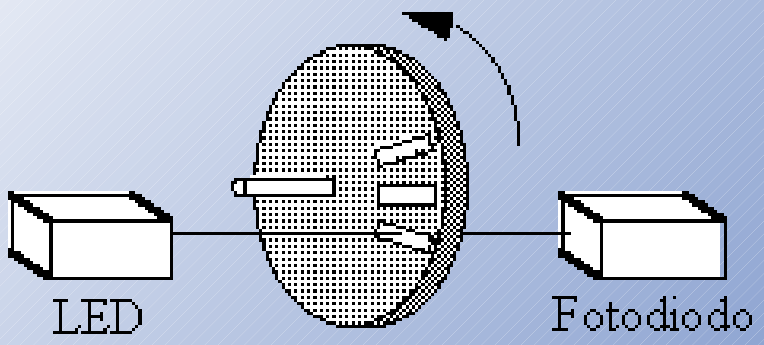
Norme IEC 751

$$R_T=R_0(1+\alpha T) \quad -150 \div 150\ °C$$

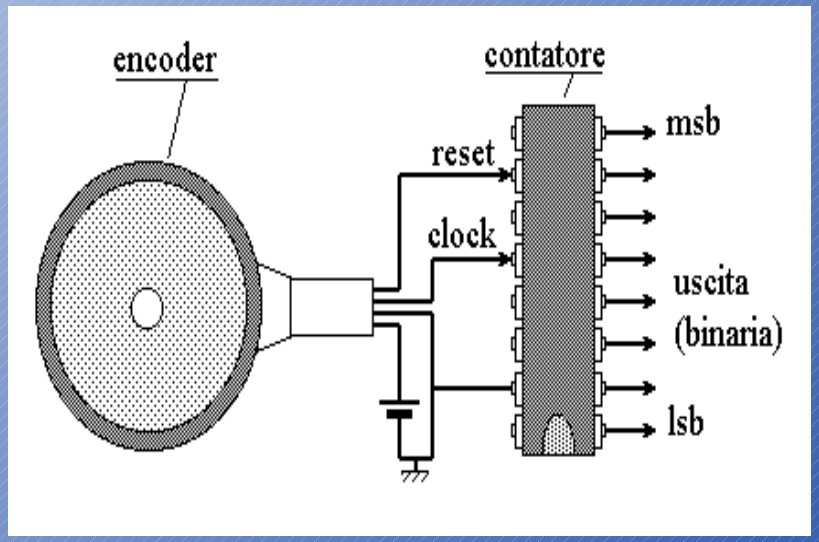
Effetto Hall



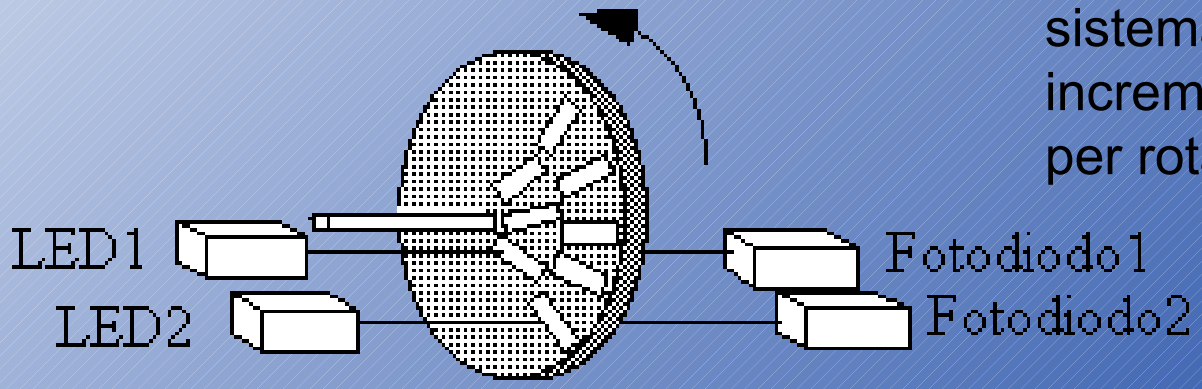
Sensori di posizione ottici



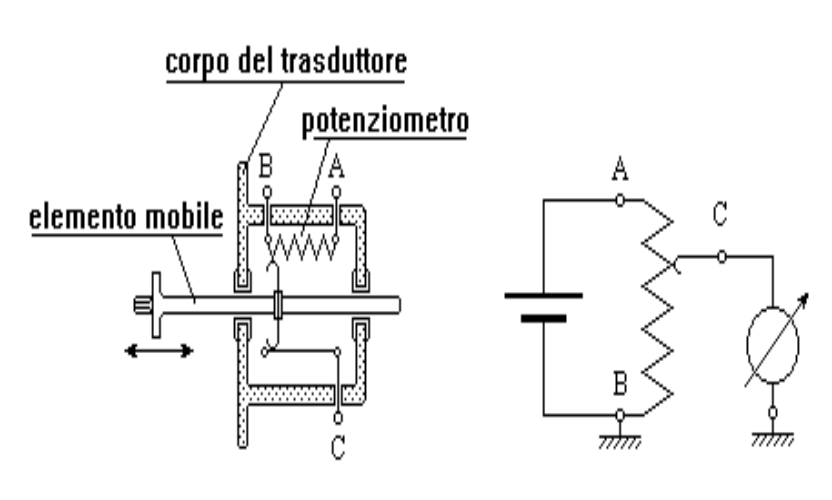
Sensore ottico a 1 bit



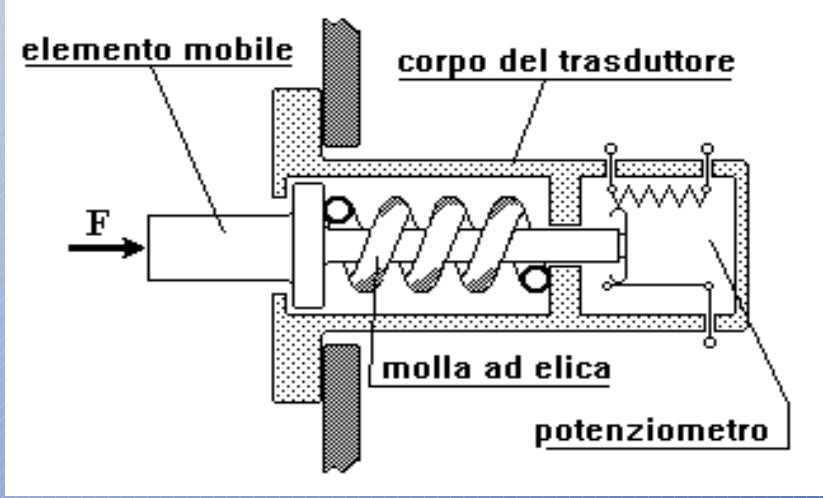
Schema di principio del sistema "encoder incrementale-contatore" valido per rotazioni unidirezionali



Sensore ottico a 2 bit



Funzionamento schematico di un trasduttore di posizione: l'elemento mobile, spostandosi in base alla grandezza di ingresso, determina la variazione della tensione in uscita al morsetto C.

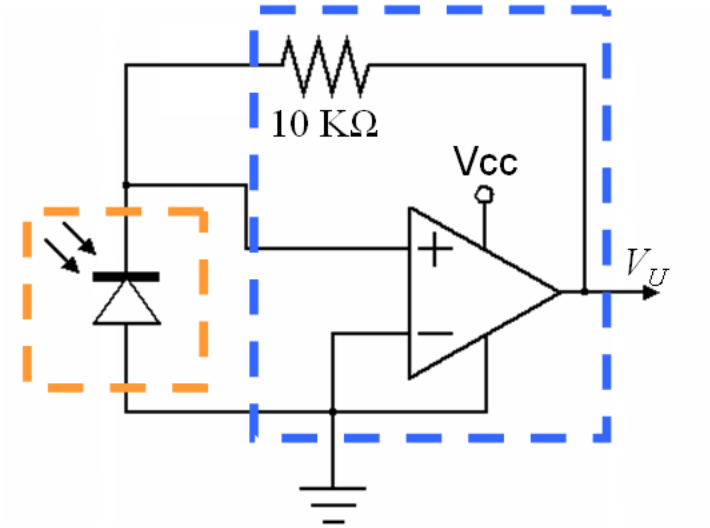


Trasduttore "forza-tensione elettrica": rappresentazione semplificata della catena di trasduzione con
il primo trasduttore elementare (o "sensore") "forza-spostamento"
ed il secondo trasduttore elementare "spostamento-tensione elettrica

Sensore di luce

- Trasduttore fotoelettrico

Energia luminosa ➡ Energia elettrica



$$S_\lambda = 0.55 \text{ A/W}, \text{ con } \lambda = 940 \text{ nm}$$

S_λ = Spectral Sensitivity

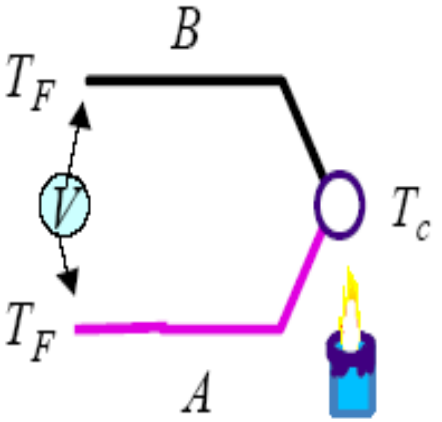
$$V_U = 10\,\text{k}\Omega \times 0{,}55\,\frac{\text{A}}{\text{W}} = 5500\ \text{V/W}$$

Fotodiodo SLCD-61N1

Circuito di condizionamento con OPA349

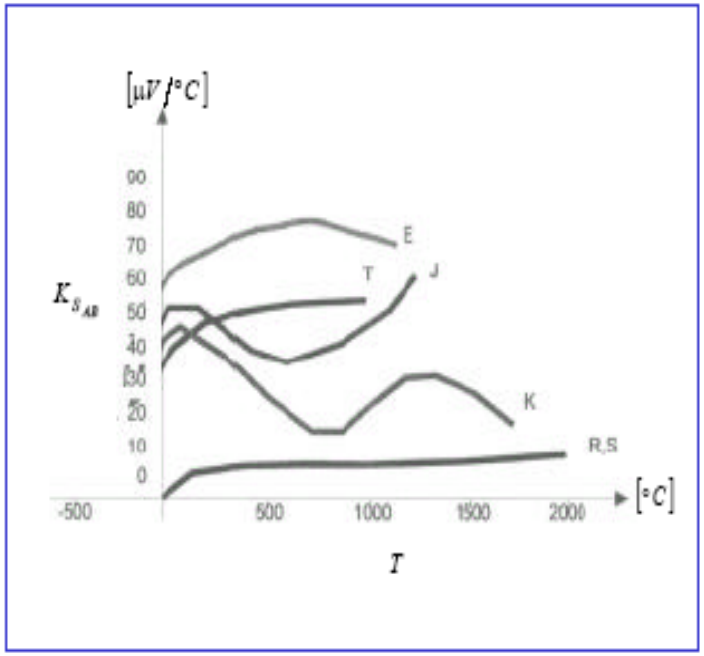
Termocoppie

Sono trasduttori che utilizzano le proprietà termoelettriche derivanti dall'accoppiamento di due conduttori dissimili posti a temperature diverse; Il loro funzionamento è basato sull'effetto Seebeck



$$E_{S_{AB}} = k_{S_{AB}}(T) \cdot \Delta T$$

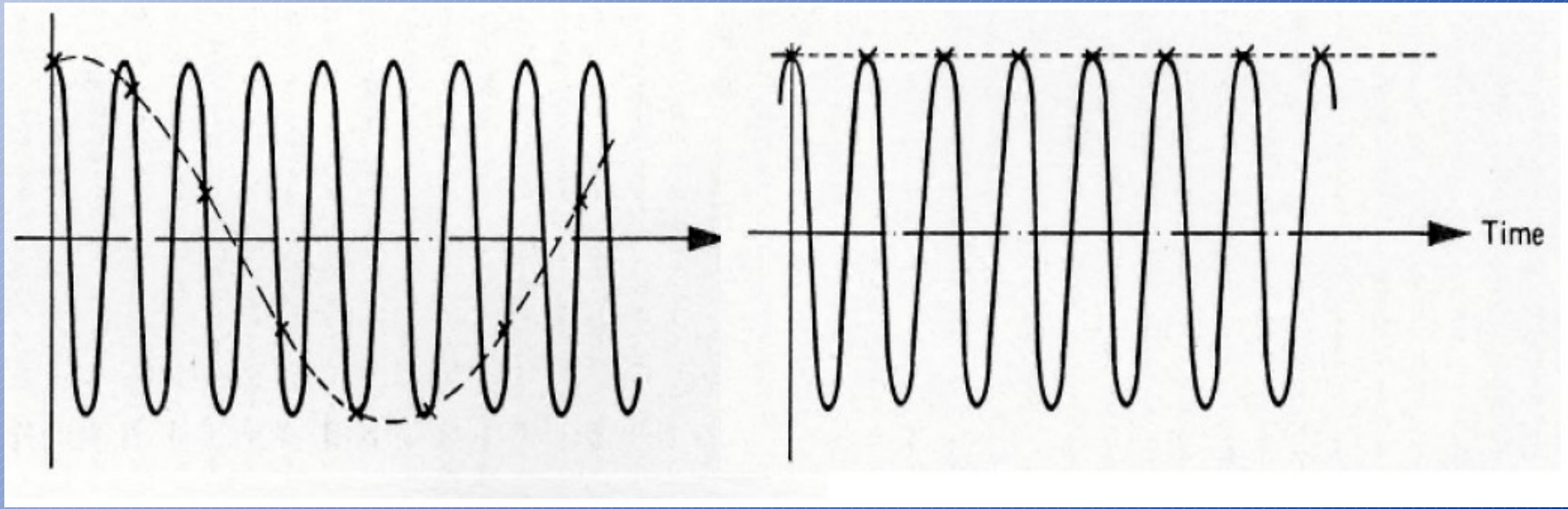
secondo cui la tensione al giunto freddo è proporzionale alla differenza di temperatura fra le due giunzioni. Purtroppo la *dipendenza non lineare* del coefficiente di Seebeck dalla temperatura finisce per inficiare la relazione di "linearità" fra temperatura e tensione.



Campionare un segnale analogico significa 'fotografare' il segnale ad istanti successivi, in genere equispaziati temporalmente, in corrispondenza di particolari valori di tempo, detti "istanti di campionamento".
L'intervallo che separa due successivi istanti di campionamento viene chiamato ***periodo di campionamento Tc*** ed il suo reciproco, ***fc*** , prende il nome di ***frequenza di campionamento***.
Si potrebbe essere indotti a pensare che il campionamento provochi una riduzione del contenuto informativo del segnale analogico in quanto si perdel'informazione sul valore assunto dal segnale in tutti gli istanti diversi daquelli di campionamento.
Il teorema del campionamento (di Shannon o di Nyquist) ci dice invece che,in condizioni ideali, la esecuzione del campionamento non provoca perditadi informazione:
Se un segnale è campionato con una frequenza almeno doppia rispetto al suo massimo contenuto in frequenza il campionamento non introduce errori. Se questo criterio non viene rispettato si incorre nel fenomeno di ***aliasing***
Per campionare un segnale occorre scegliere il passo temporale di misura, o la ***frequenza di campionamento.***
Per il teorema di Shannon, deve rispettare la condizione:

$$fc \geq 2fmax$$

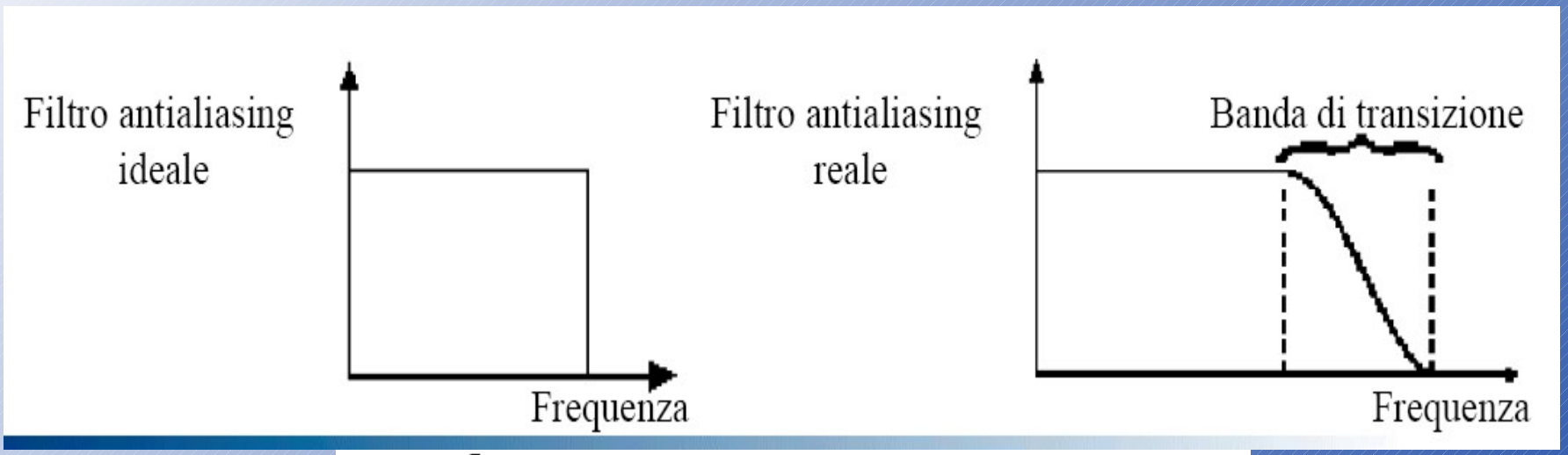
dove con fmax si intende la massima frequenza contenuta nel segnale campionato. Un esempio di aliasing è riportato nelle figure di seguito:.

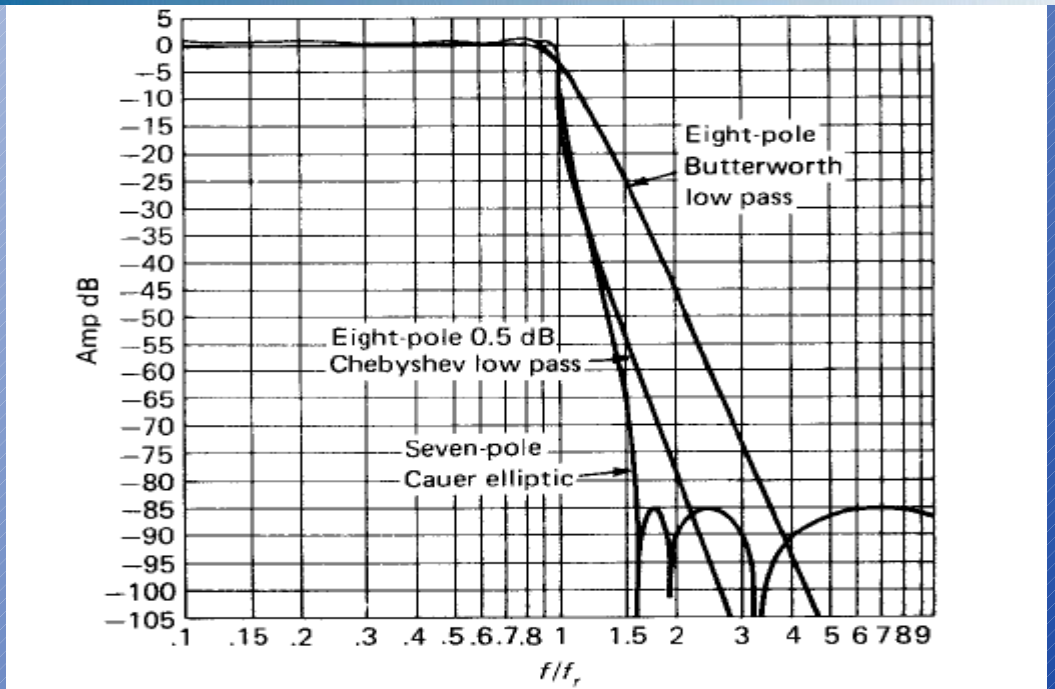


Per evitare l' "aliasing":

- ***si inserisce un filtro passa-basso a monte del convertitore A/D***
- ***si alza la frequenza di campionamento fc***

I filtri anti-aliasing sono filtri Passa-Basso (Low Pass Filters) e attenuano tutte armoniche del segnale superiori ad una frequenza caratteristica, detta frequenza di taglio (*cut/corner frequency*)

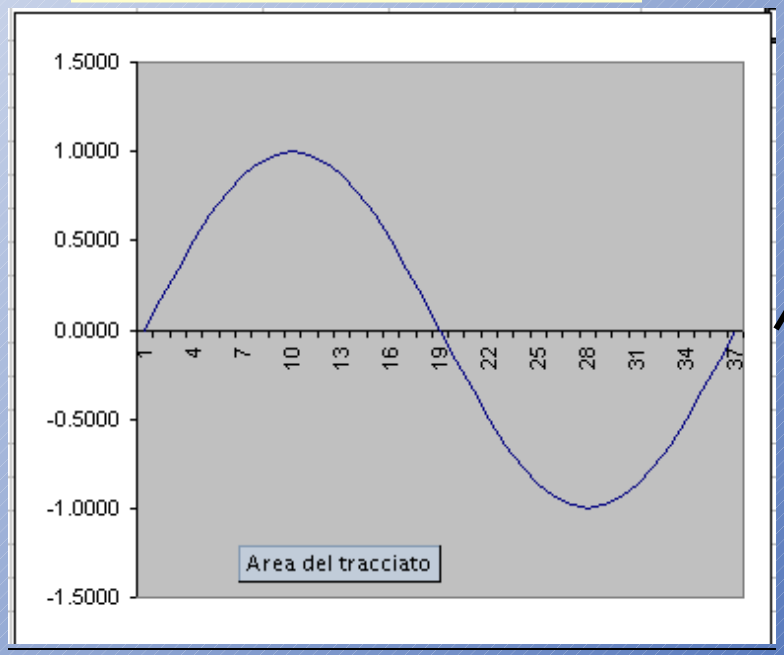


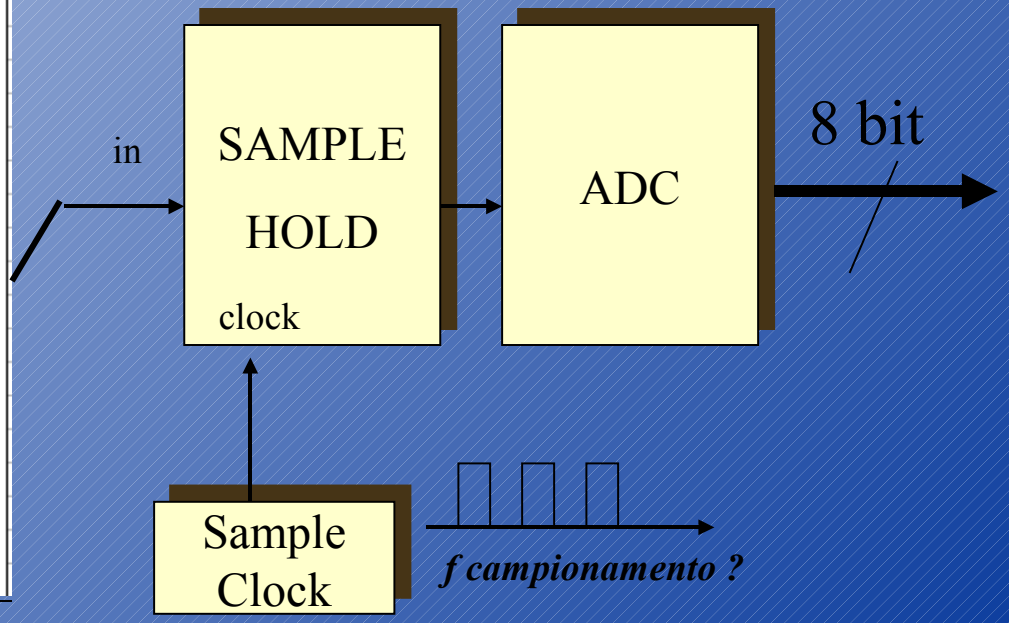


Il teorema di Shannon e la frequenza di campionamento

Dato un segnale continuo e a banda limitata esso è descritto completamente dai suoi campioni, se essi sono presi ad una frequenza almeno doppia rispetto alla frequenza massima del segnale"

Es: ***f segnale***=1/(37 μS)= 27 KHz

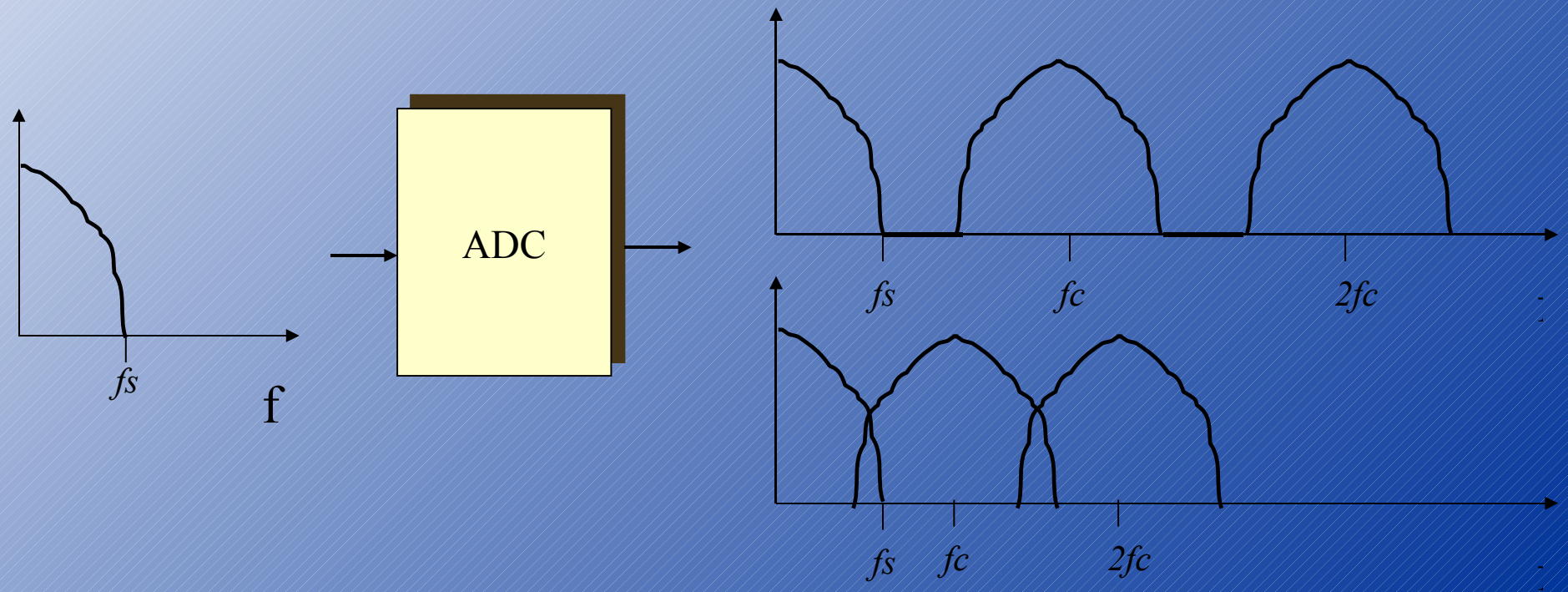




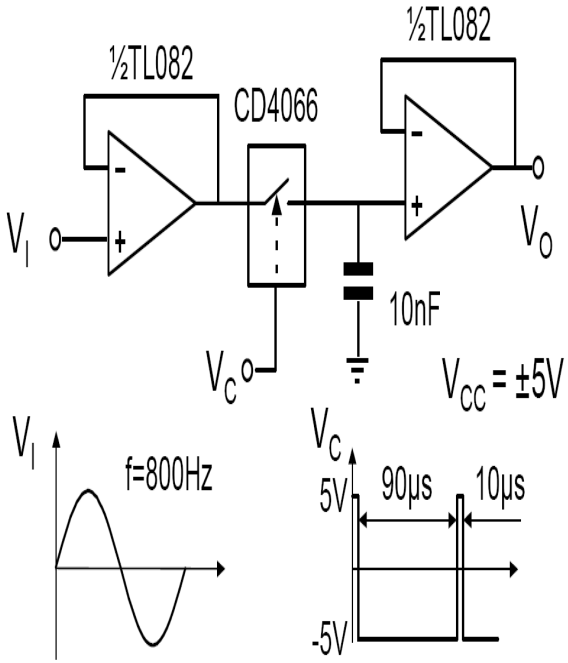
Spettro di un segnale

in pratica il campionamento può essere assimilato ad una modulazione ad impulsi, che come è noto provoca “duplicazioni” dello spettro del segnale, centrate nei multipli della frequenza di campionamento

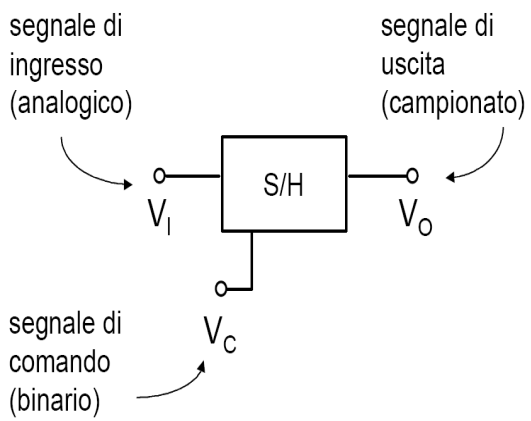
Se non si rispetta il teorema di Shannon l’aliasing introdotto dal campionamento impedisce la ricostruzione del segnale originale, in quanto due spettri adiacenti si sovrappongono!



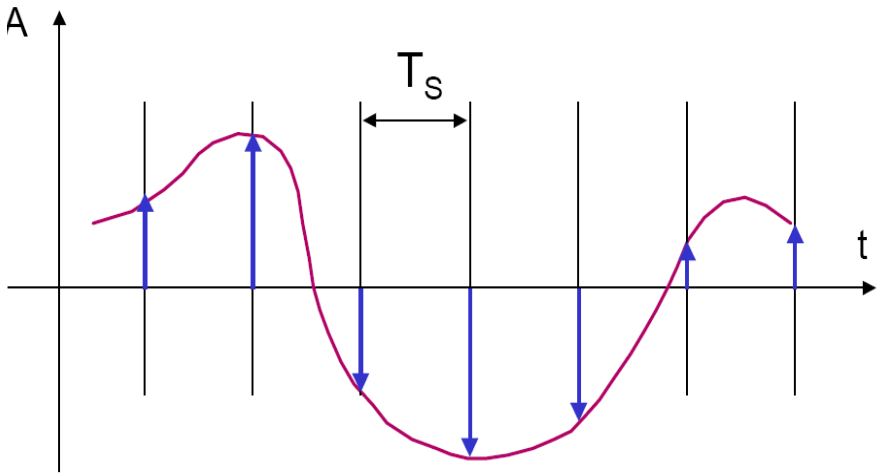
Circuito di S/H



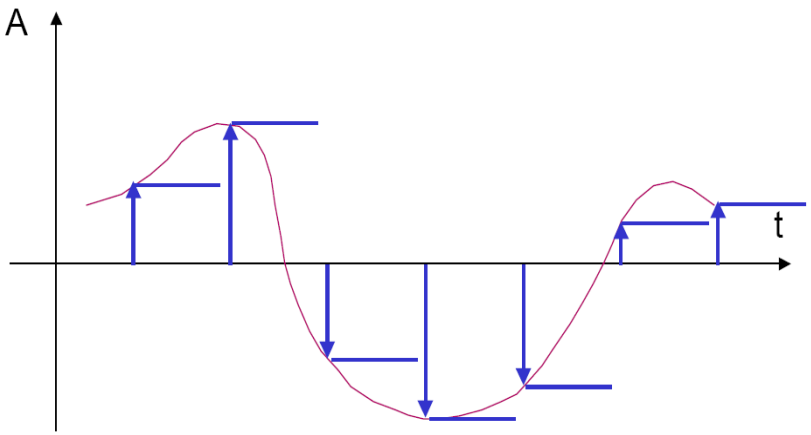
Schema funzionale di S/H



Segnale campionato

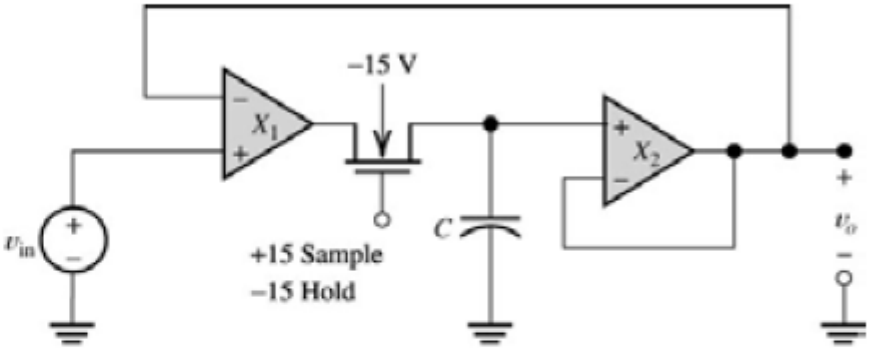


Segnale campionato e mantenuto

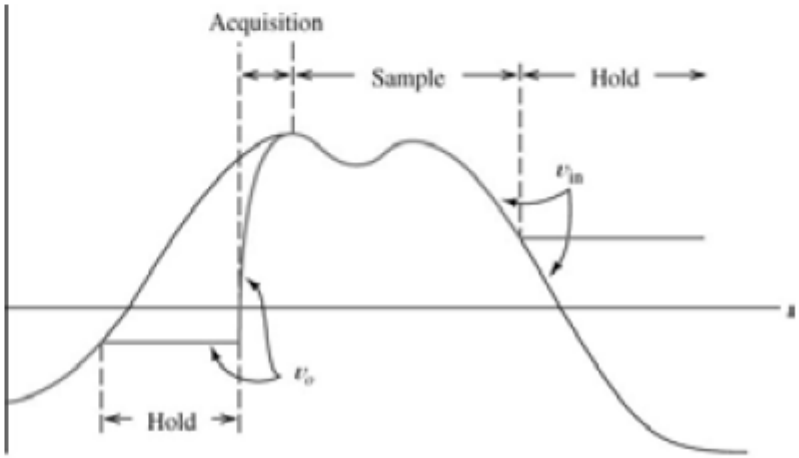


Sample & Hold

- Un segnale di controllo viene applicato al gate del MOSFET n-channel e impone la fase Hold o Sample
- **Hold**: il MOS è OFF. L'uscita è il valore dell'ingresso nell'istante immediatamente precedente allo spegnimento del MOS
- **Sample**: il MOS è ON. L'uscita è uguale all'ingresso in quell'istante.
- L'uscita ci mette un po' di tempo a raggiungere il valore esatto dell'ingresso (limitazioni degli op-amp reali – slew rate). Tempo di acquisizione



(a) Circuit diagram



(b) Typical waveforms

Massima frequenza del segnale campionabile

Un ADC per trasformare un dato da analogico a digitale impiega un certo tempo detto **tempo di conversione t_c**.

È fondamentale che per tutto l'intervallo di tempo t_c il segnale da convertire non subisca variazioni maggiori di **½ LSB** (errore di quantizzazione), se si accetta una minore precisione della conversione **1 LSB**.

Assumendo che il segnale da convertire sia $v(t) = V_M sen(\omega t) = V_M sen(2\pi ft)$ (componente spettrale di frequenza maggiore) si ha:

ricordando che $\frac{1}{2} LSB = \frac{V_{FS}}{2 * 2^n} = \frac{V_{FS}}{2^{n+1}}$ e $V_{FS} = 2V_M$ si vuole $\left.\frac{\Delta v(t)}{\Delta t}\right|_{max} = \frac{\Delta v(t)}{t_c} \leq \frac{\frac{V_{FS}}{2^{n+1}}}{t_c} = \frac{V_{FS}}{t_c 2^{n+1}}$

facendo la $\frac{d\left(V_M sen(2\pi ft)\right)}{dt} = 2\pi f V_M \cos(2\pi ft)$ che al massimo può valere $2\pi f V_M$ si ha

esempio

$$2\pi f V_M \leq \frac{V_{FS}}{t_c 2^{n+1}} \text{ da cui } 2\pi f V_M \leq \frac{2V_M}{t_c 2^{n+1}} \text{ e quindi } \pi f \leq \frac{1}{t_c 2^{n+1}}$$

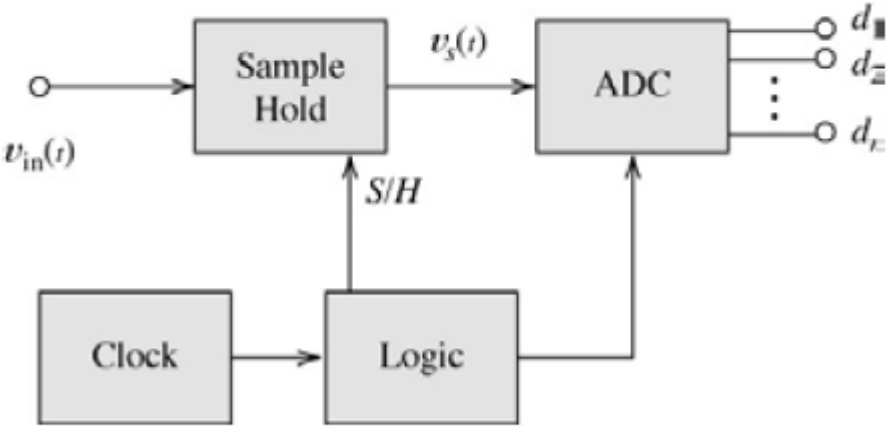
La max frequenza di un segnale che rispetta la condizione di partenza è perciò

$$f_{max} \leq \frac{1}{\pi t_c 2^{n+1}}$$

Questa rappresenta la f_{max} ***di un segnale che si può convertire senza usare un S/H***

Conversione AD

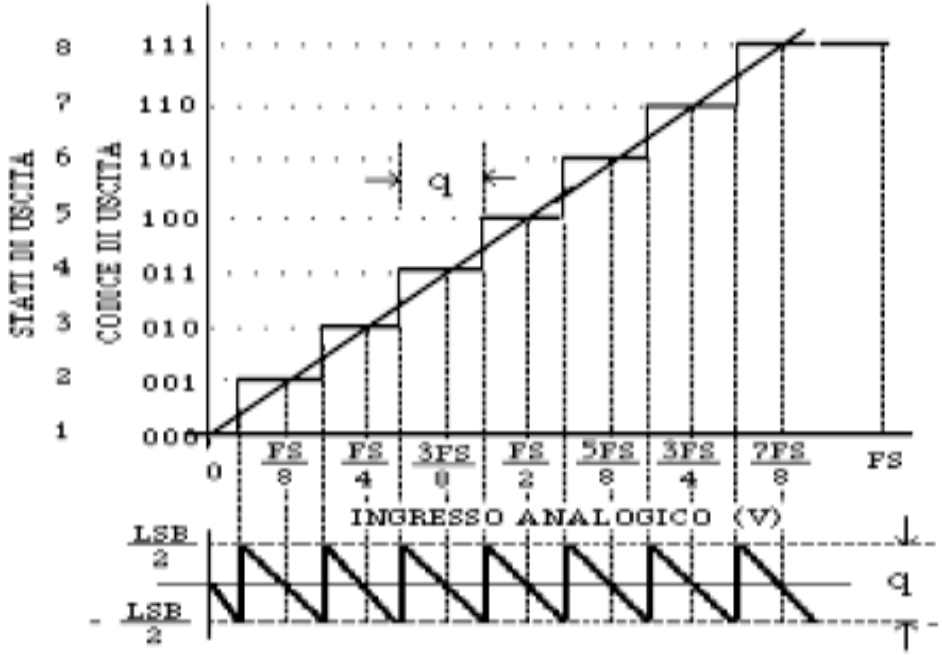
- Schema a blocchi di un convertitore AD
- Il segnale di ingresso viene campionato e mantenuto per la conversione in una parola digitale di *n*-bit
- Clock e logica controllano il circuito di S&H per alternare la fase Sample a quella Hold
- Solo durante l'Hold il convertitore fornisce l'uscita corrispondente al valore del segnale di ingresso
- Spesso S&H, Clock, Logic e ADC fanno parte di un unico circuito integrato



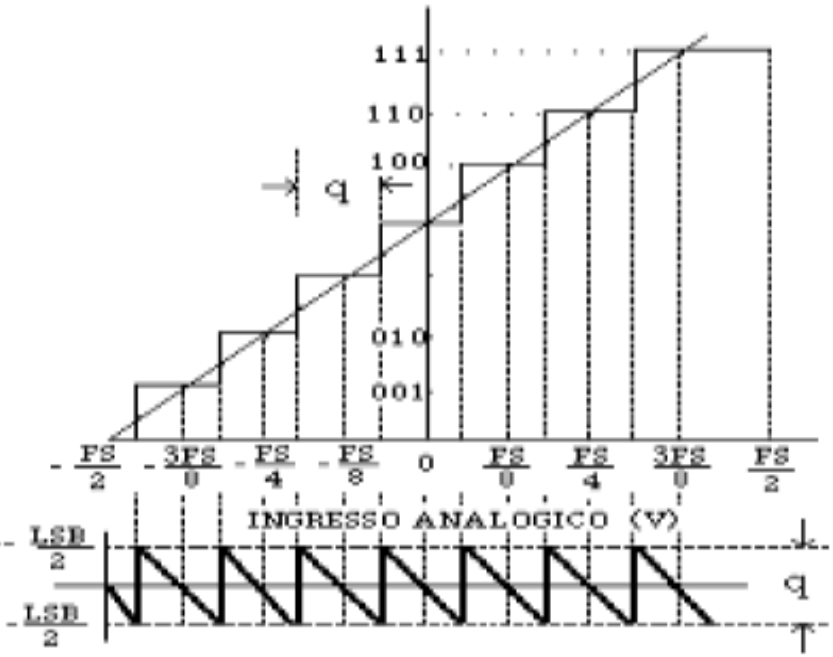
schemi di principio dei dispositivi ADC.

segno grafico (per schemi circuitali)

caratteristica unipolare



caratteristica bipolare

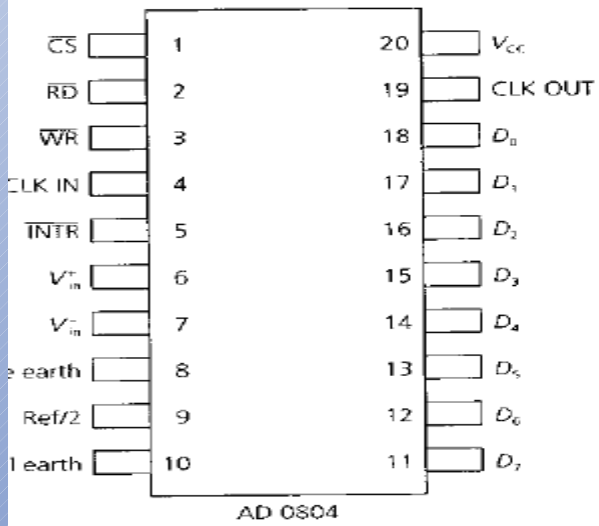


Convertitori AD

- Per scegliere un ADC bisogna tener presente:
  - Vincoli di ingresso e uscita (correnti, tensioni, impedenze, livelli logici…)
  - Accuratezza richiesta (coinvolge la risoluzione)
  - Errore tollerabile, non linearità permessa e missing codes.
  - Velocità di conversione.
  - Necessità di compatibilità con un microprocessore.
  - Codice digitale implementato.

- I data sheets generalmente riportano:
  - Breve descrizione del dispositivo e le sue caratteristiche principali.
  - Numerazione dei pin e schema a blocchi.
  - Caratteristiche elettriche e valori assoluti massimi.
- Ancora una volta: absolute accuracy, relative accuracy, differential linearity and monotonicity, conversion time, dynamic range, resolution.
- La risoluzione è:

Risoluzione=(tensione di fondo scala)/2^{n-1}



	Errore di linearità (±LSB)	Tempo di conversione (1/2 LSB μs)	Dissipazione termica (mW)
8-bit			
0804	0.5	100	12.5
0820	1	1.6	42
10-bit			
820	1	0.05	275
12-bit			
574	1	25	265
912	1	10	95

Convertitori analogico/digitali

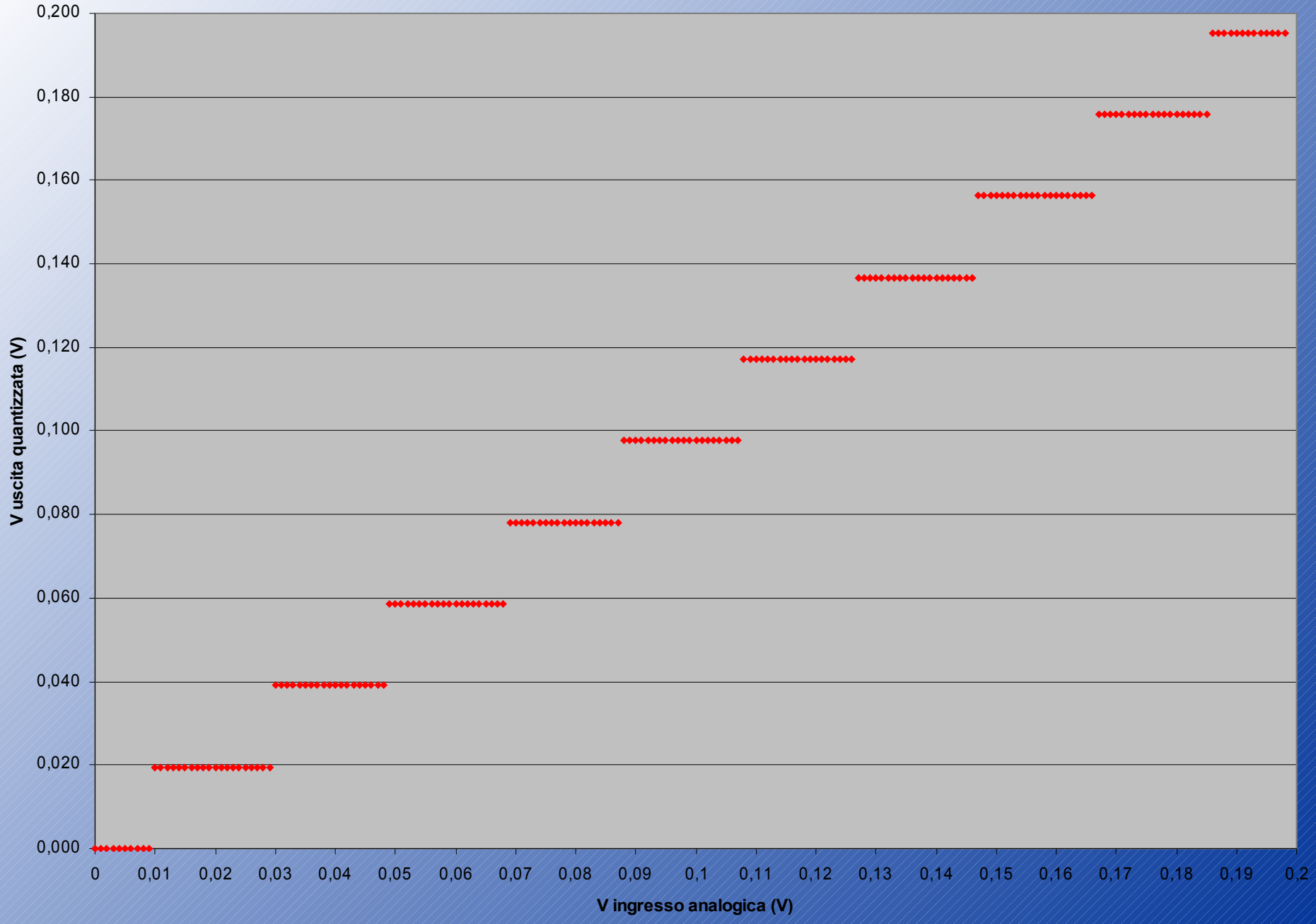
Un convertitore analogico digitale ha lo scopo di permettere ad un sistema a microprocessore di acquisire informazioni su grandezze analogiche, trasformandole in stringhe di bit corrispondenti.

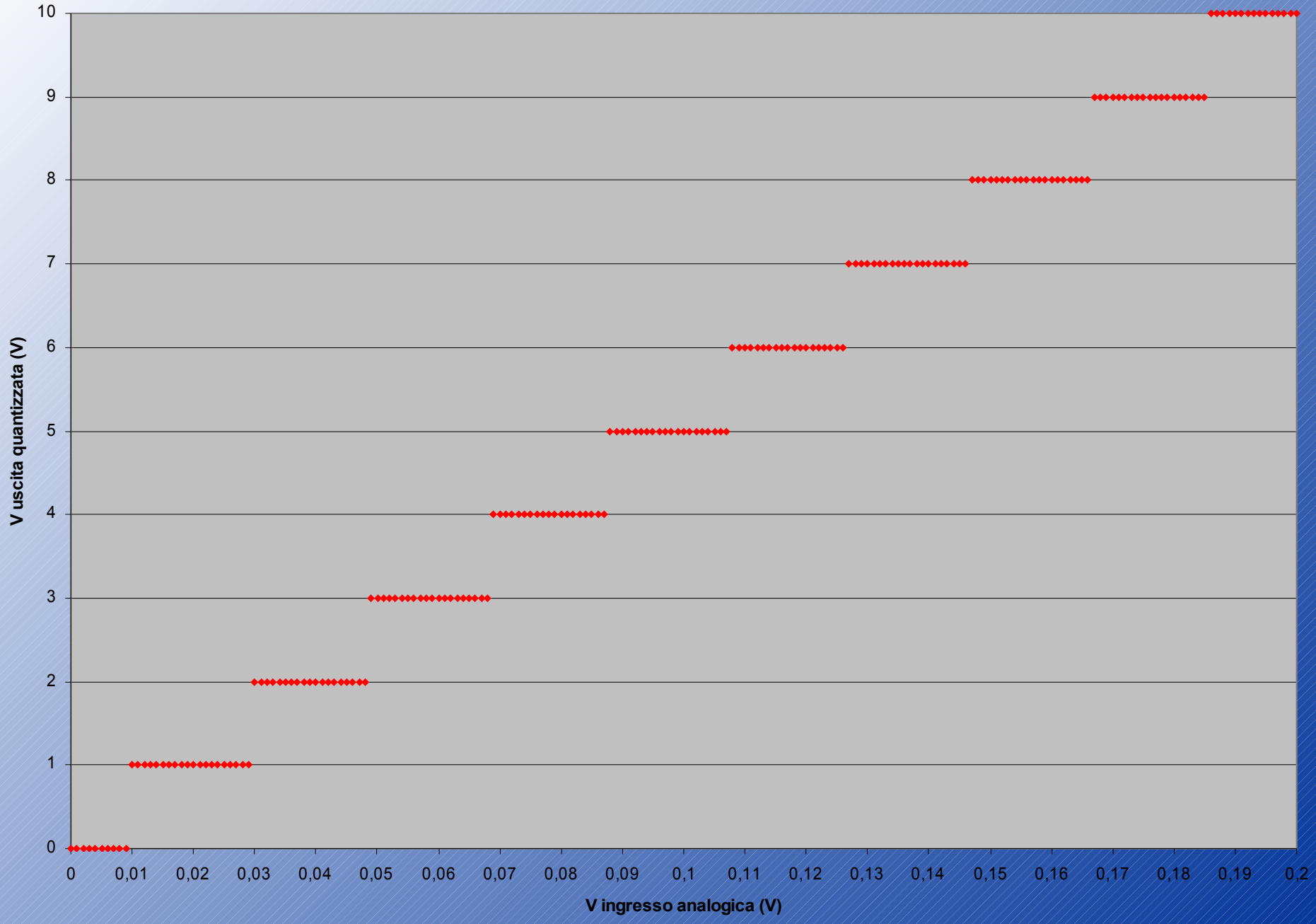
Un ADC accetta in ingresso una grandezza analogica (tensione), e restituisce in uscita un numero espresso in forma binaria secondo un opportuno codice, che rappresenta la grandezza analogica in ingresso.

Nella conversione analogico/digitale è ineliminabile la perdita d'informazione.

Infatti una grandezza analogica varia con continuità all'interno di un range quindi assume infiniti valori, la grandezza numerica in uscita può assumere un numero finito di valori in dipendenza del numero di bit che compongono il dato in uscita.

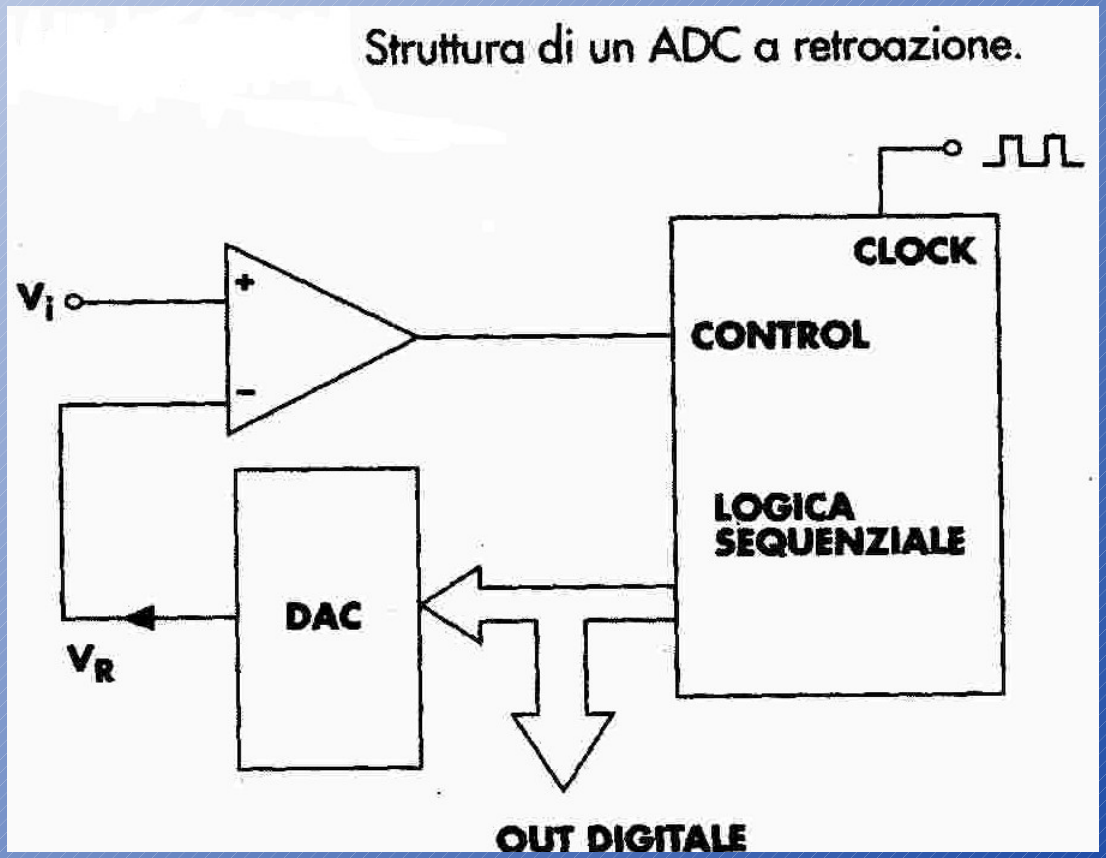
Se abbiamo un **ADC ad 8 bit** che accetta in ingresso tensioni comprese fra **0 e 5 V**, poiché con 8 bit sono rappresentabili soltanto $\mathbf{2^8=256}$ combinazioni diverse, si possono rappresentare soltanto **256 valori diversi di tensioni d'ingresso**, valori che differiscono fra loro di un quanto **Q=5/256=19,53 mV**. Ciò significa che una variazione della tensione d'ingresso inferiore al quanto non verrebbe rilevata in uscita. Il quanto viene anche detto **intervallo di quantizzazione**. Tale intervallo di quantizzazione (2***errore di quantizzazione)** può essere minimizzato soltanto aumentando il numero di bit che costituiscono l'uscita dell'ADC.


0,200
0,180
0,160
0,140
0,120
0,100
0,080
0,060
0,040
0,020
0,000
V uscita quantizzata (V)
0
0,01
0,02
0,03
0,04
0,05
0,06
0,07
0,08
0,09
0,1
0,11
0,12
0,13
0,14
0,15
0,16
0,17
0,18
0,19
0,2
V ingresso analogica (V)


V uscita quantizzata (V)
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0,01
0,02
0,03
0,04
0,05
0,06
0,07
0,08
0,09
0,1
0,11
0,12
0,13
0,14
0,15
0,16
0,17
0,18
0,19
0,2
V ingresso analogica (V)

schema di principio dei ***convertitori A/D a retroazione***

Il principio di funzionamento di un ADC è rappresentato in figura. Il blocco “logica sequenziale” è un blocco che è in grado di generare in sequenza,seguendo il clock, tutte le combinazioni possibili degli n bit dell’ADC. Queste sequenze di bit vanno in ingresso ad un DAC che genera la corrispondente tensione in uscita.
Appena tale tensione diventa maggiore o uguale a quella di ingresso, l’uscita del comparatore va bassa bloccando il circuito sequenziale e congelando la stringa di bit che si voleva ottenere come risultato della conversione.



Esempio

All'ingresso di un ADC con risoluzione di 8 bit (n=8) e con V_{REF}=5.12 V si applica una tensione

di: 0V, 2.56V, 3.2 V, 5.12 V, all'uscita si ha:

$$Q = \frac{5.12}{256} = 0.02V$$

V_i (V)	N(dec)	N (binario)
0	0	00000000
2.56	128	10000000
3.2	160	10100000
5.12	255	11111111

Esempio 1:

Un ADC a **8 bit** e **t_c =100 μ s** può convertire, senza S/H, con un errore di ½ LSB segnali con frequenza max di:

$$f_{\max} \leq \frac{1}{\pi t_c 2^{n+1}} = \frac{1}{2^{8+1} \cdot 3{,}14 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 6{,}2\,Hz$$