

L'oscilloscopio digitale

Oscilloscopio analogico (cenni)
Acquisizione dati: digitalizzazione di
segnali analogici

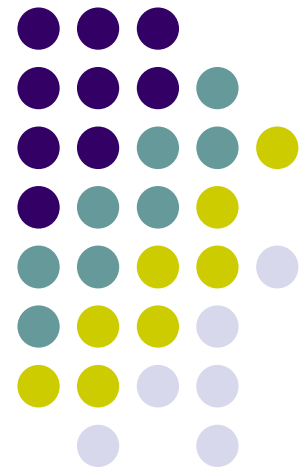
Testo di riferimento:

Fondamenti di misure e strumentazione elettronica

Carullo-Pisani-Vallan, CLUT-2006

Online consultate:

http://home.deib.polimi.it/svelto/didattica/materiale_didattico.html





L' Oscilloscopio

- Elemento essenziale in laboratorio per misurazioni di grandezze elettriche
- Strumento con cui si visualizza l'andamento del segnale oggetto di misura
- Possibilità di effettuare un elevato numero di misure
 - Sia di natura qualitativa (presenza ed andamento segnale, anomalie, distorsioni)
 - Sia quantitative (misure di ampiezza, frequenza, intervalli di tempo, etc etc)

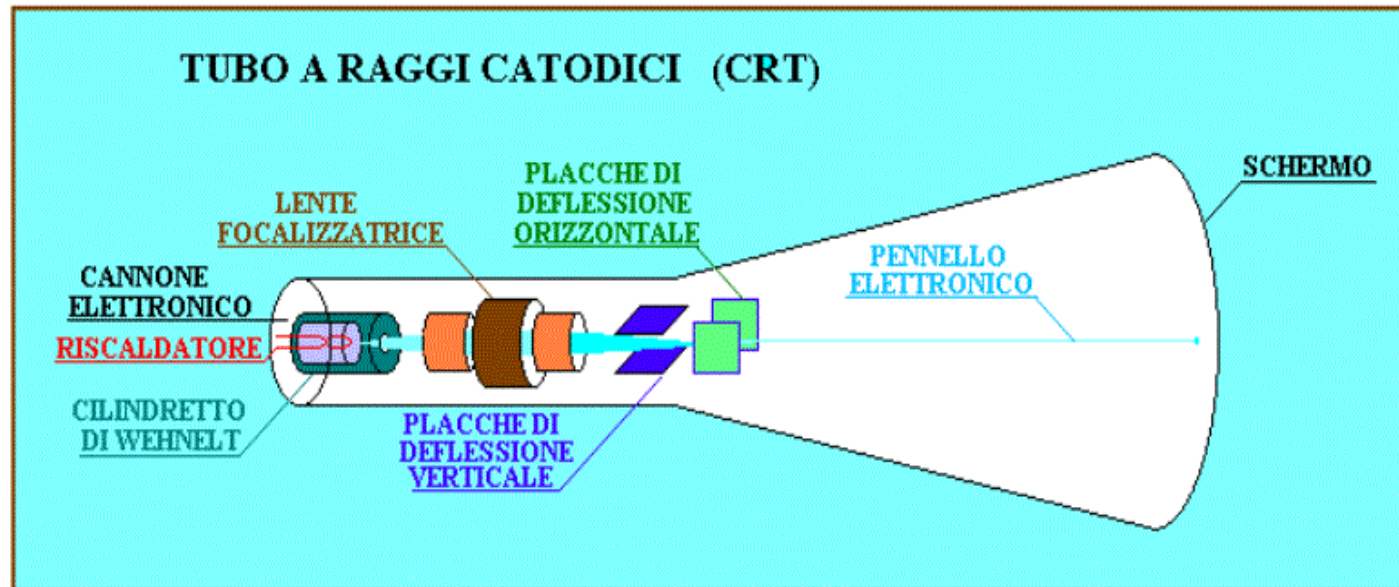
L'oscilloscopio analogico



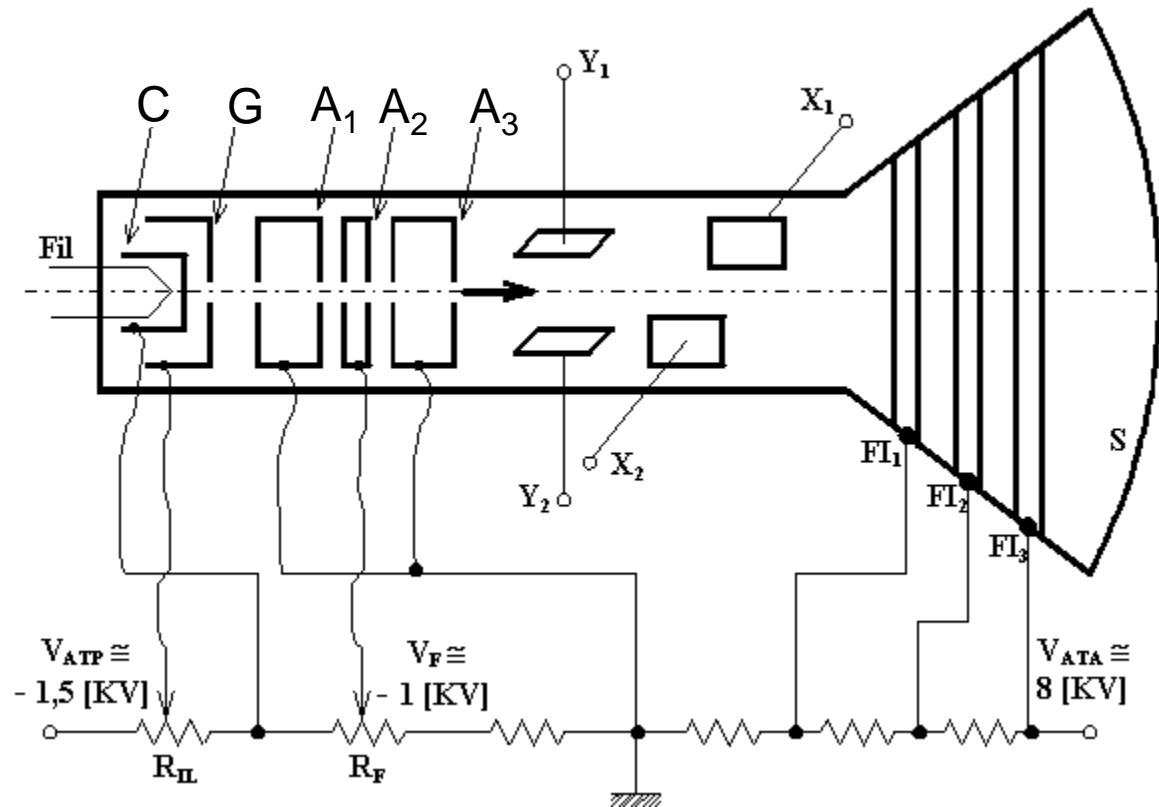


L'oscilloscopio Analogico

- Elemento principale è il tubo a raggi catodici
 - 1: placche di deflessione (orizz., vert.) del fascio
 - 2: cannone elettronico
 - 3: “pennello” elettronico
 - 4: “lente” di messa a fuoco
 - 5: schermo a fosfori per visualizzazione
- Struttura sotto vuoto



Oscilloscopio analogico: il tubo a raggi catodici



L'Oscilloscopio analogico: sensibilità del CRT



$$F_x = 0 \Rightarrow x = vt$$

$$F_y = ma_y = qE_y$$

$$y = \frac{1}{2} \frac{q}{m} E_y t^2 = \frac{1}{2} \frac{q}{m} E_y \frac{x^2}{v^2}$$

$$y' = \frac{1}{2} \frac{E_y}{V_a} x \Rightarrow y'(l) = \frac{1}{2} \frac{E_y}{V_a} l$$

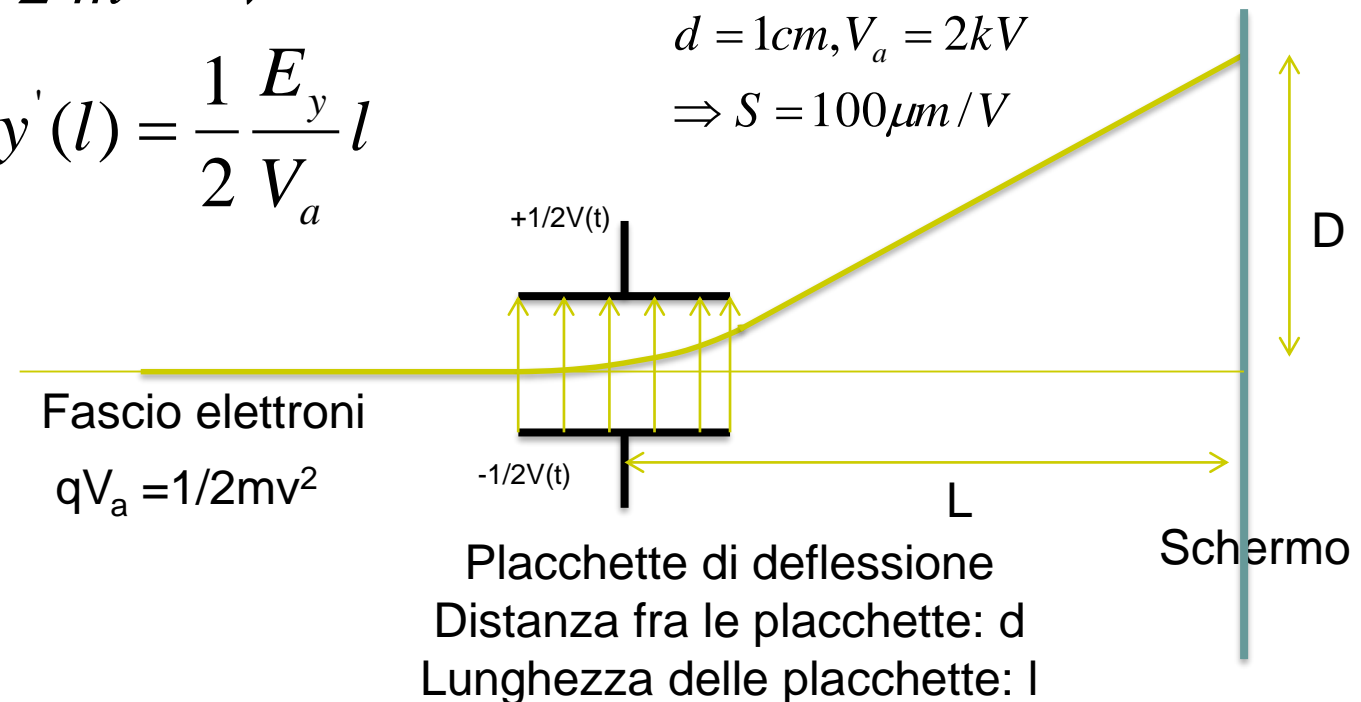
$$\frac{D}{L} = \frac{1}{2} \frac{V(t)l}{dV_a}$$

$$S = \text{sensibilità} = \frac{D}{V(t)} = \frac{1}{2} \frac{Ll}{dV_a}$$

$$\text{Esempio: } L = 20\text{cm}, l = 2\text{cm},$$

$$d = 1\text{cm}, V_a = 2\text{kV}$$

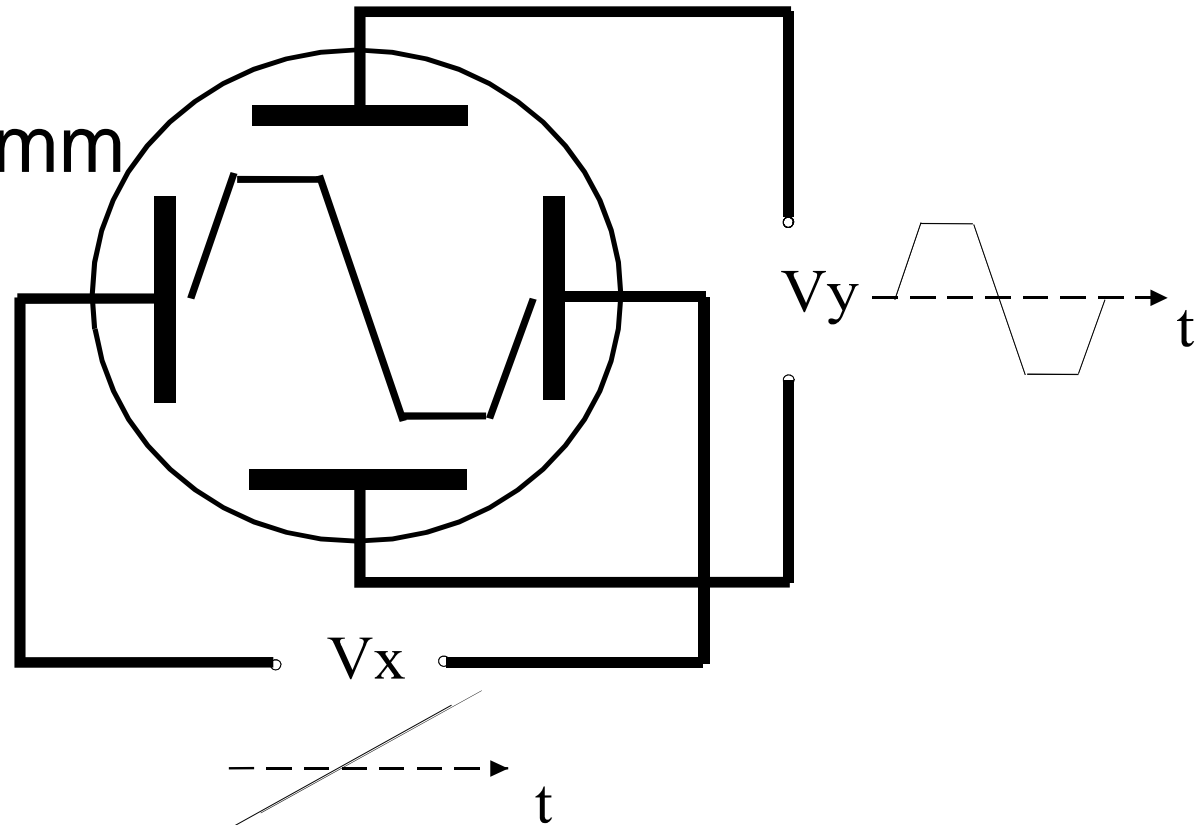
$$\Rightarrow S = 100\mu\text{m/V}$$



L' Oscilloscopio Analogico

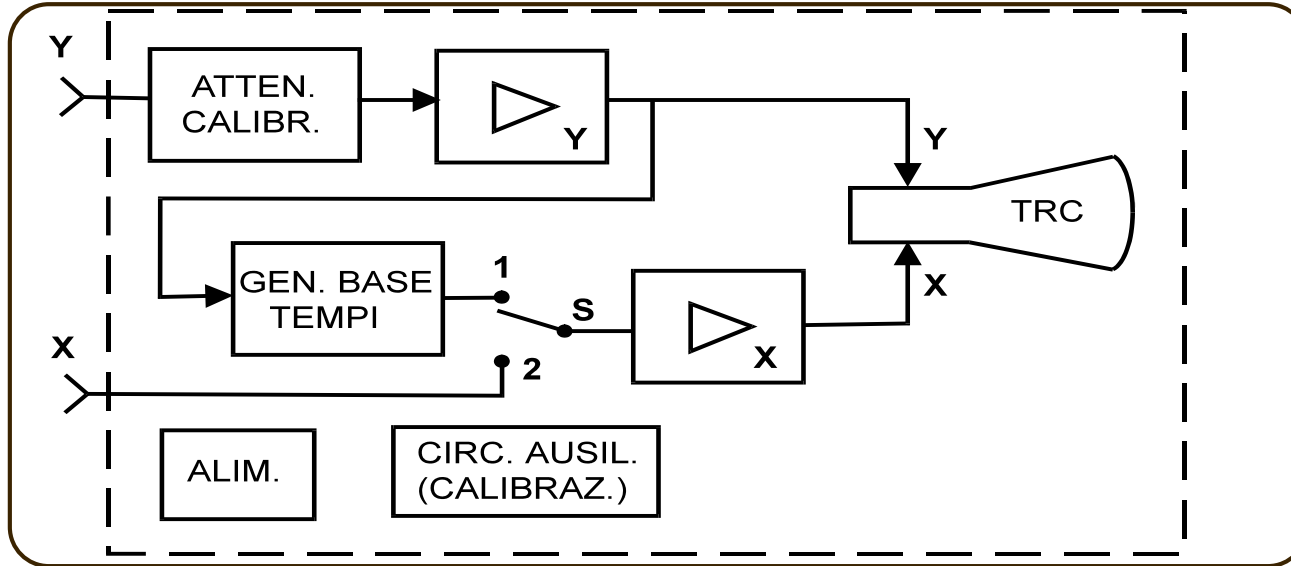


- Costruzione dell'immagine: tensioni V_x e V_y applicate alle placchette di deflessione
- Sensibilità: kV/mm





Schema a blocchi



- **S in posizione 2:** composizione di due segnali su assi ortogonali (rappresentazione XY)
- **S in posizione 1:** rappresentazione di grandezze nel dominio del tempo (grandezze periodiche...)

S in posizione 1



Rappresentazione nel dominio del tempo

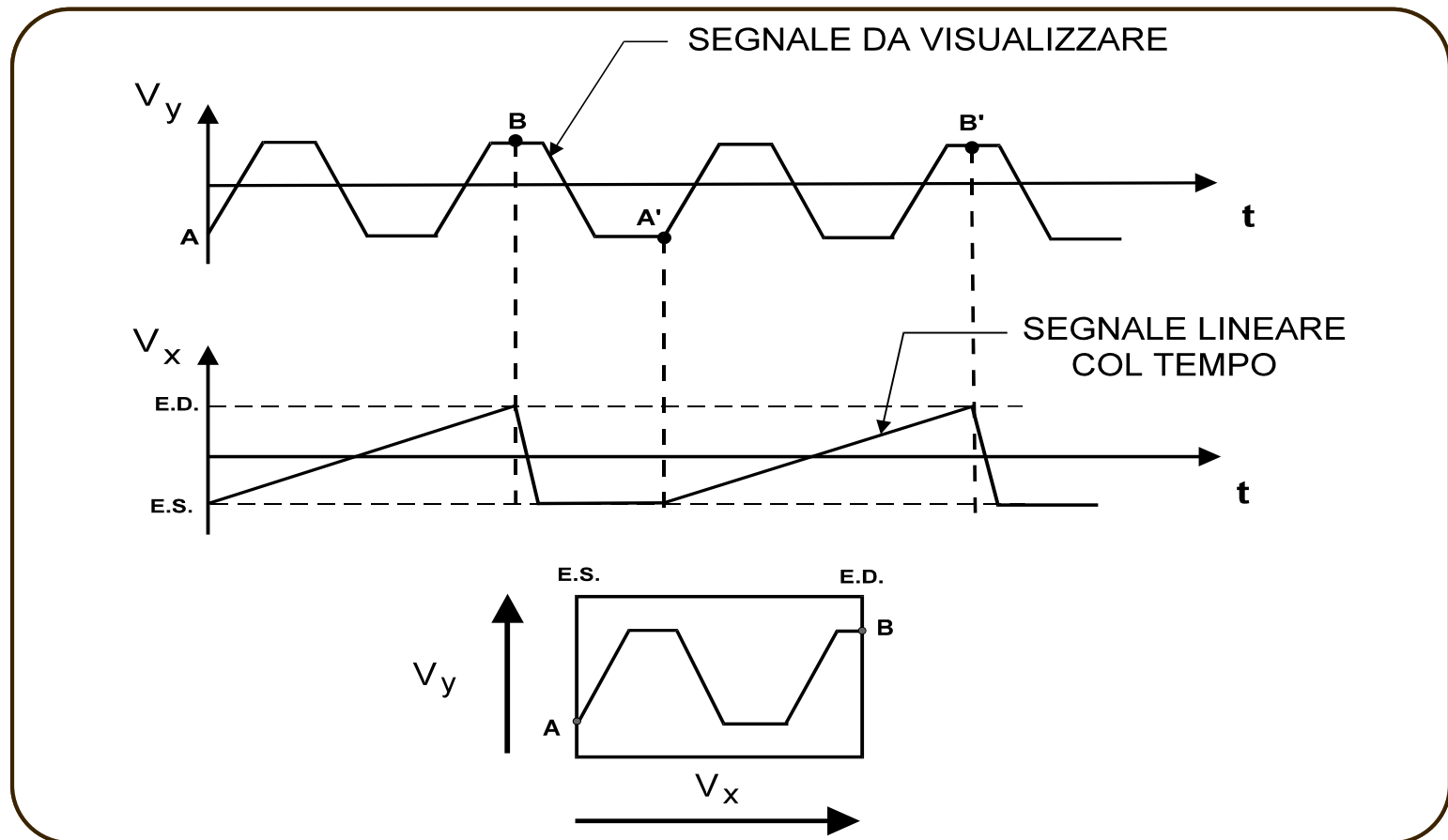




Immagine non sincronizzata 1/2

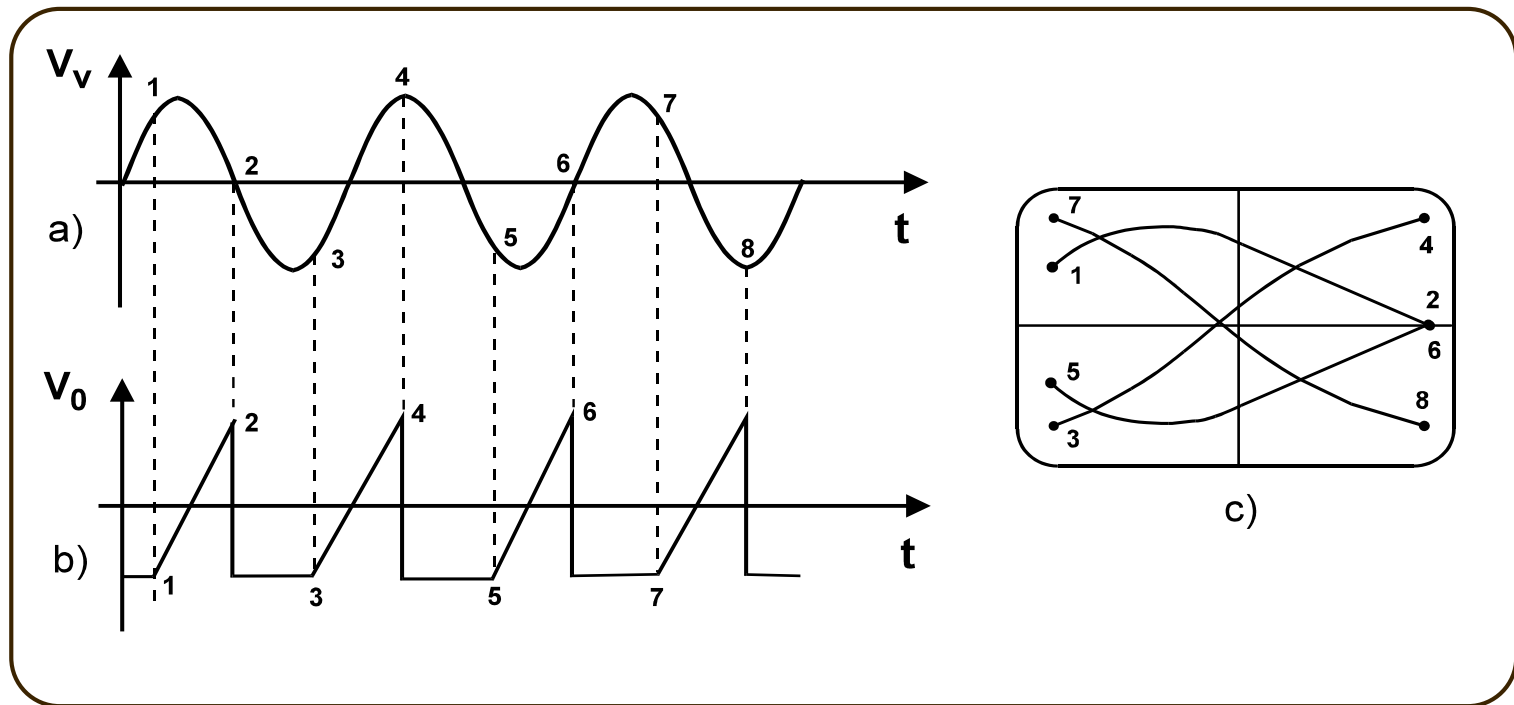
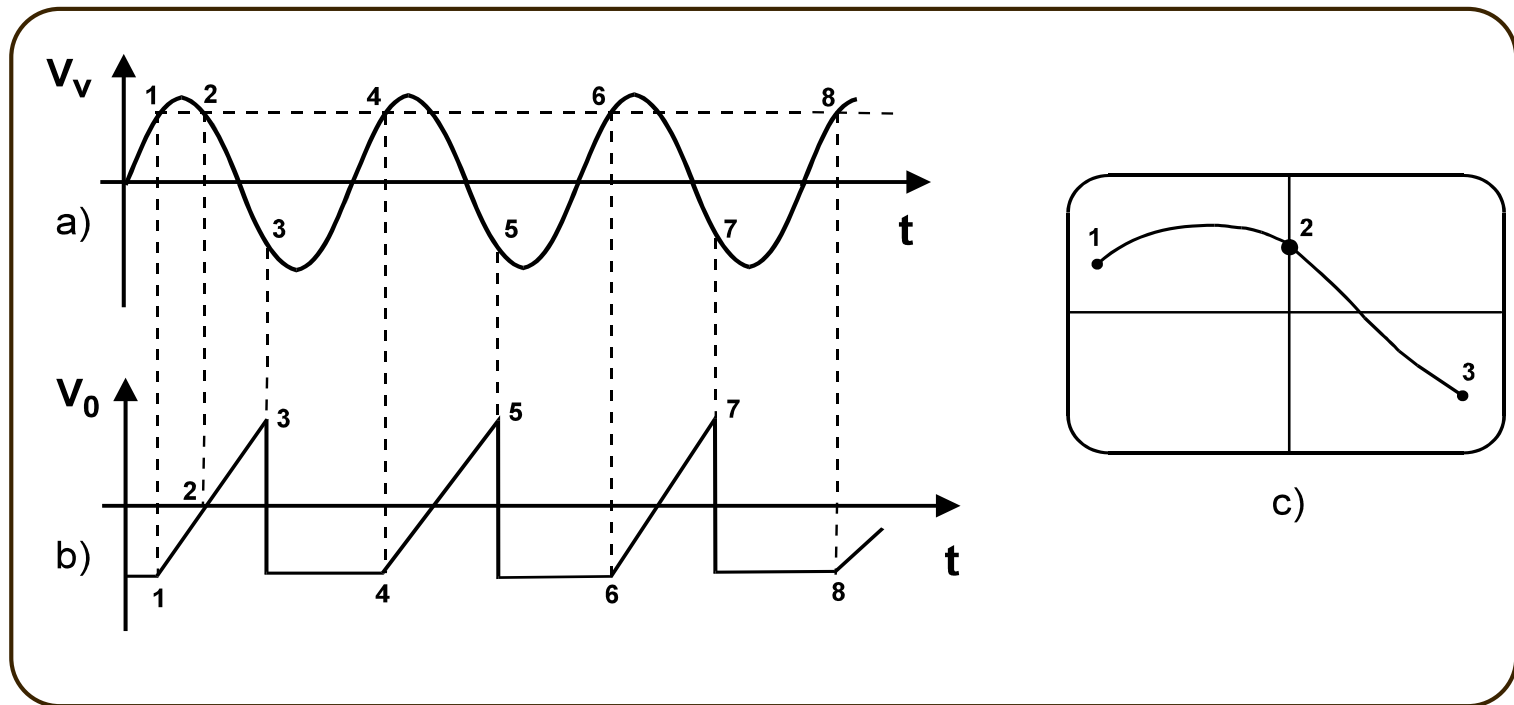


Immagine sincronizzata 2/2





L'oscilloscopio Analogico

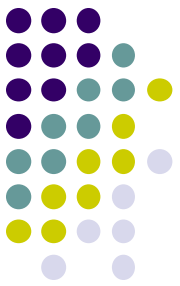
- Limiti di banda: fino ad alcune centinaia di MHz
- Alto costo
- CRT che “invecchia”



L'oscilloscopio digitale

- Grazie all'evoluzione tecnologica sono oggi disponibili convertitori analogico digitali (A/D), memorie e microprocessori ad alta velocità e basso costo
- Gli oscilloscopi oggi disponibili sono (quasi) tutti digitali

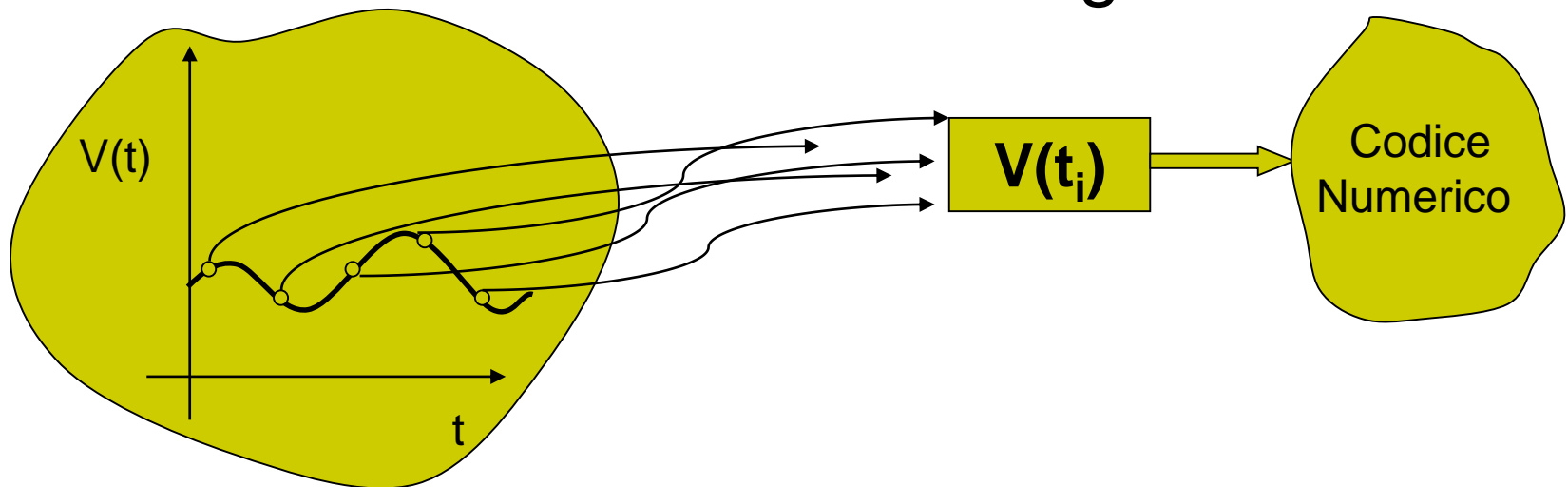
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



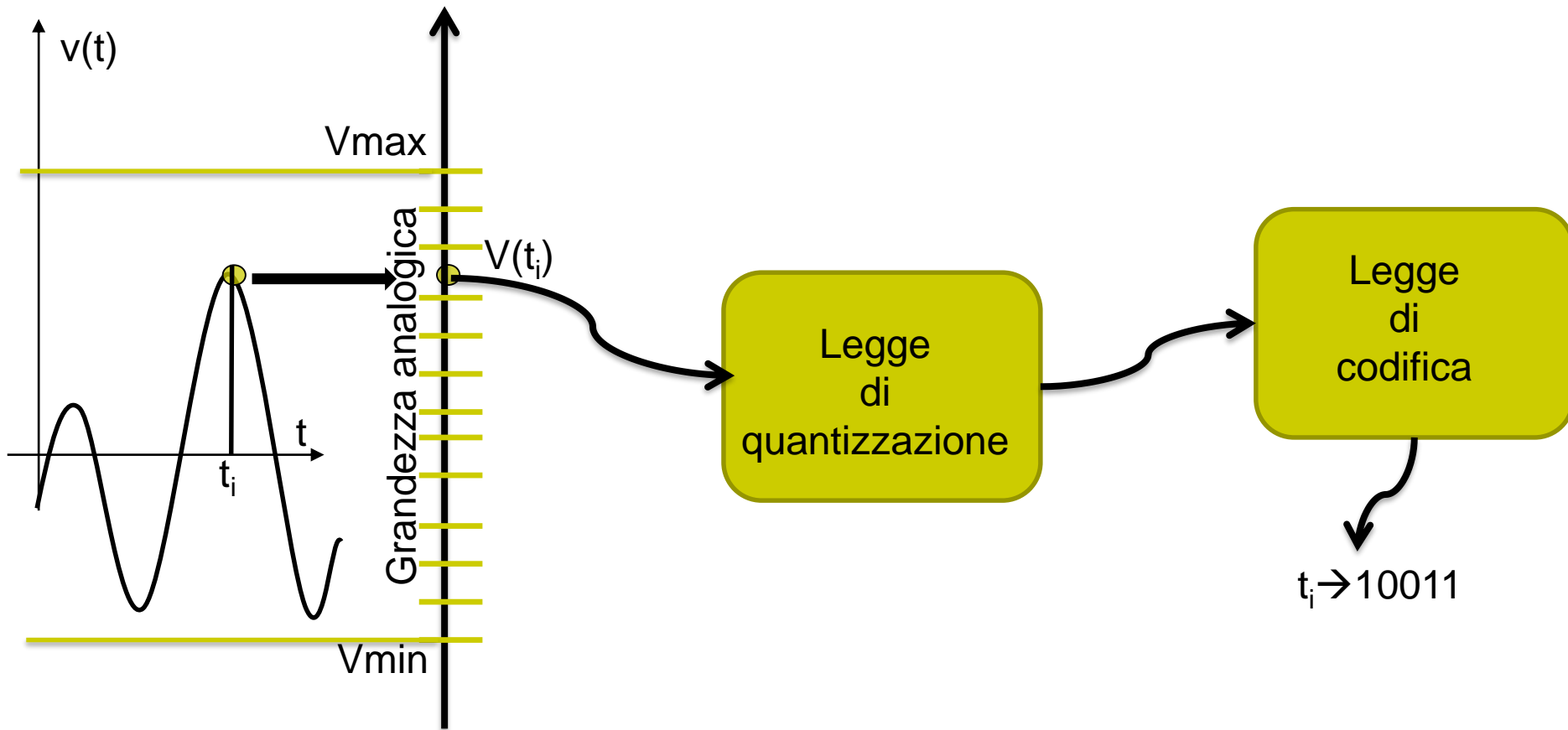
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



- In generale le grandezze fisiche misurabili, affinché possano essere elaborati da sistemi digitali, devono subire una trasformazione che permetta di utilizzarli “successivamente” da una unità di elaborazione digitale.



Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



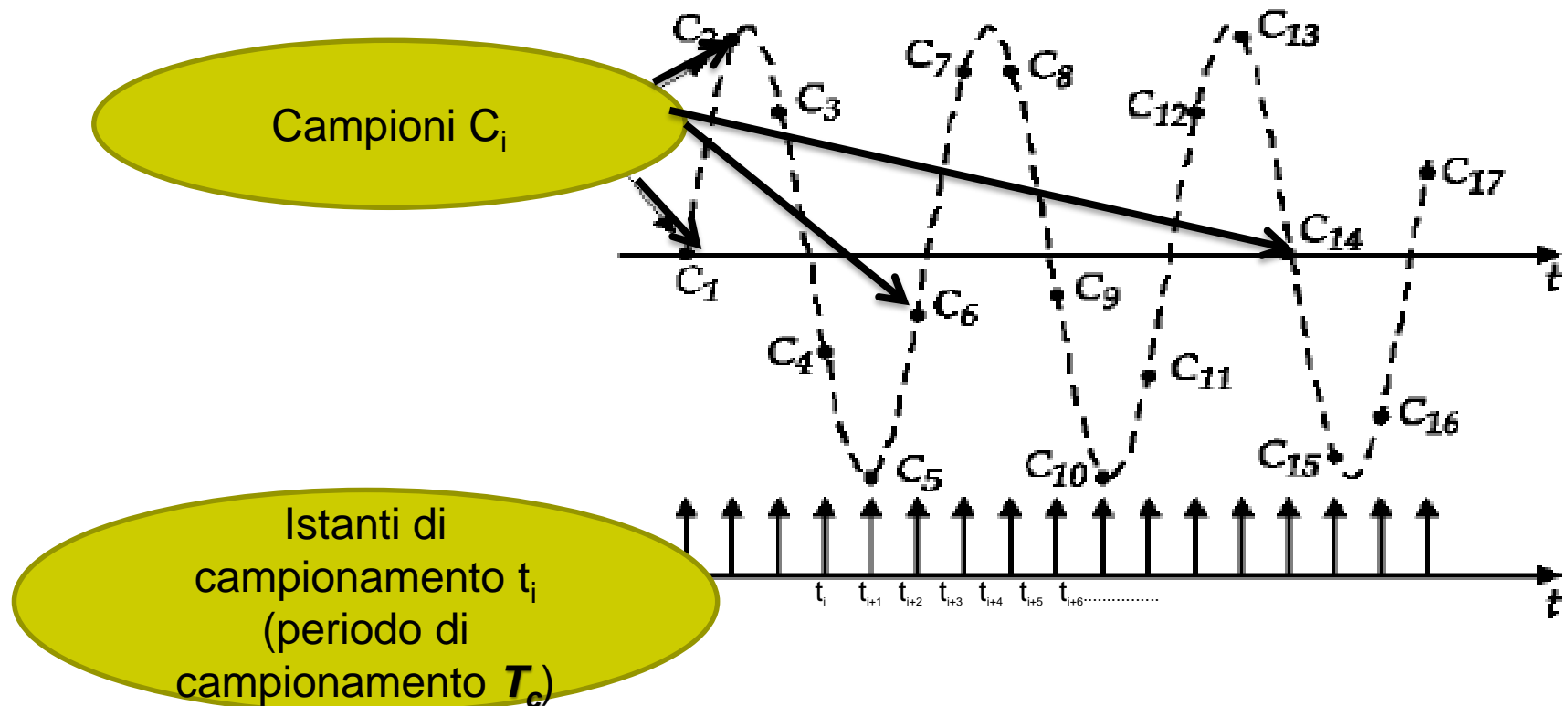
- Campionare un segnale $s(t)$ continuo nel tempo significa considerarne i valori solo in precisi istanti di tempo (istanti di campionamento).
- In generale il segnale analogico assume valori compresi fra un valore minimo V_{\min} ed uno massimo V_{\max} . Si definisce full-scale range (FSR)

$$\text{FSR} = V_{\max} - V_{\min}$$

Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



- Acquisizioni di campioni C_i all'istante t_i ad intervalli regolari di valore T_c



Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



- Ai valori di tensione compresi fra V_i e V_{i+1} si associano univocamente dei valori numerici

● Esempio: $0 \leq V_0 < 1 \Rightarrow 000$

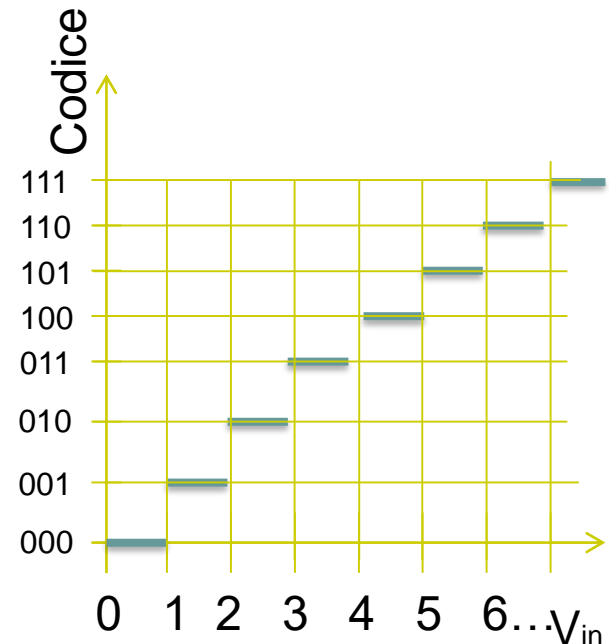
$1 \leq V_1 < 2 \Rightarrow 001$

$2 \leq V_2 < 3 \Rightarrow 010$

...

$7 \leq V_7 < 8 \Rightarrow 111$

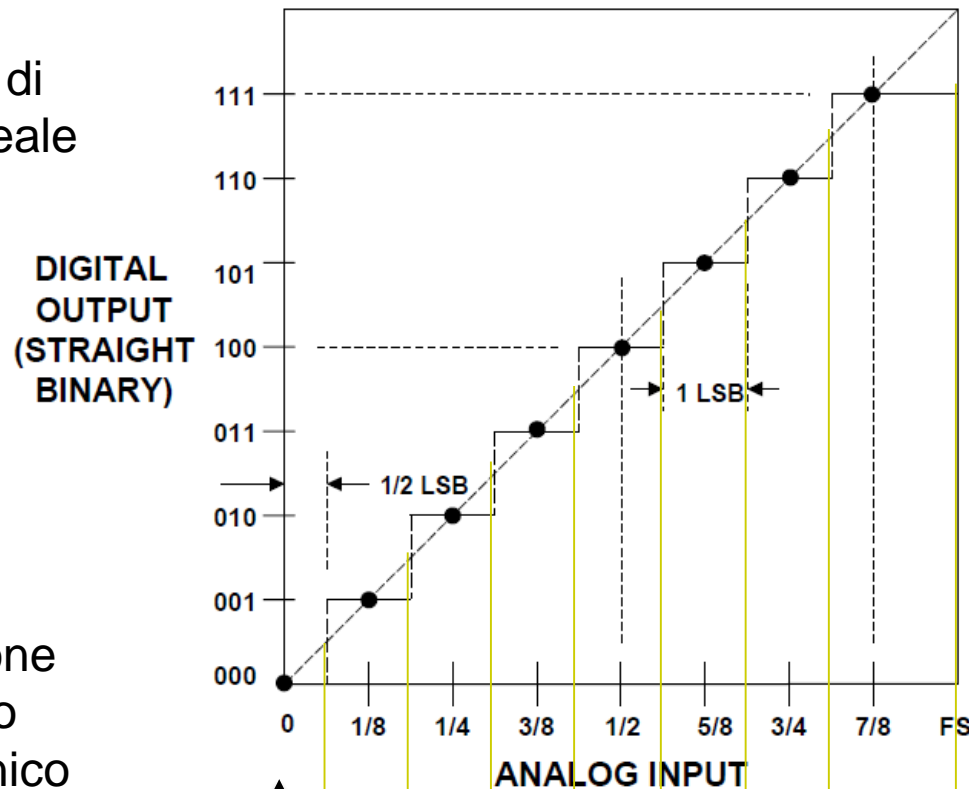
$V_i \geq 8 \Rightarrow 111$



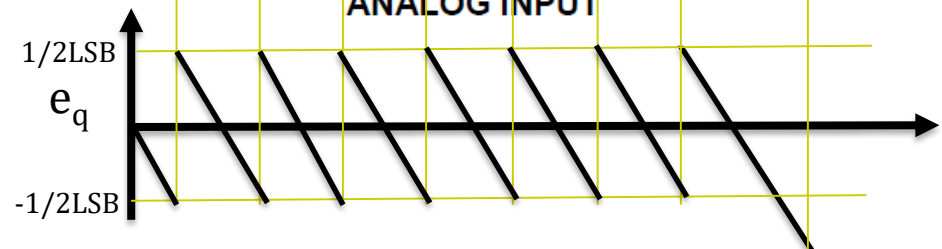
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



Funzione di trasferimento di un AD a 3 bit unipolare ideale



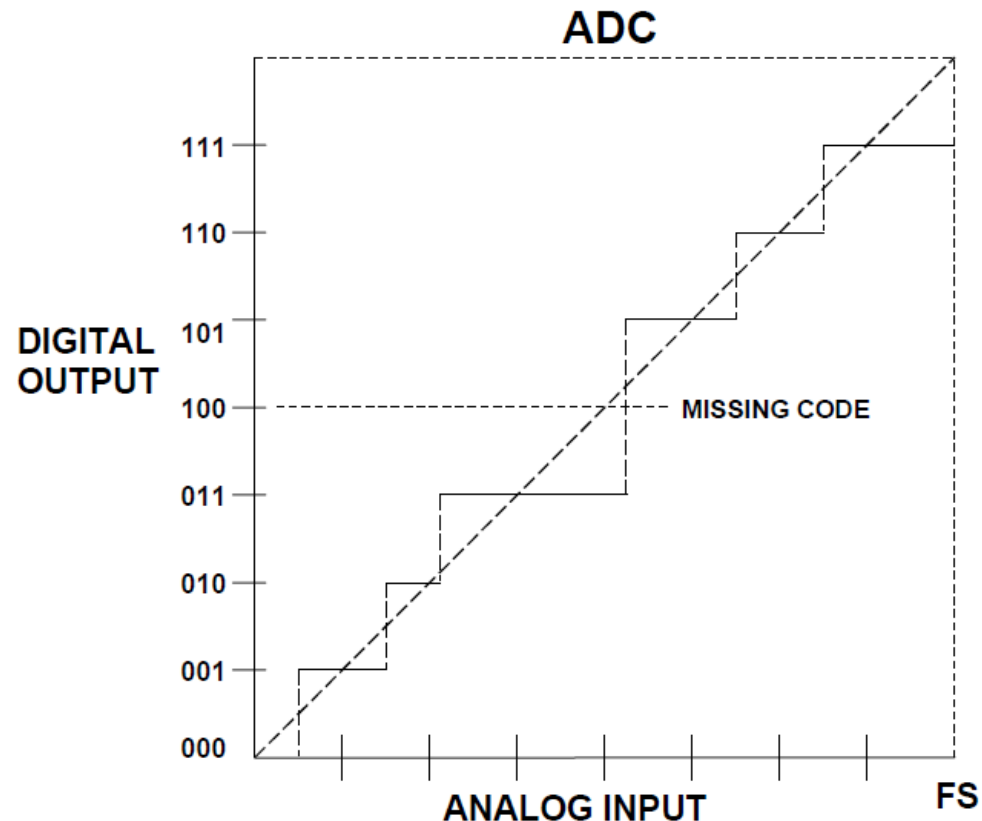
Incertezza di quantizzazione e_q = ad ogni codice binario non viene associato un unico valore della tensione d'ingresso ma l'insieme dei valori appartenenti al passo di quantizzazione



Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



Funzione di trasferimento di un AD a 3 bit unipolare reale con 1 codice assente

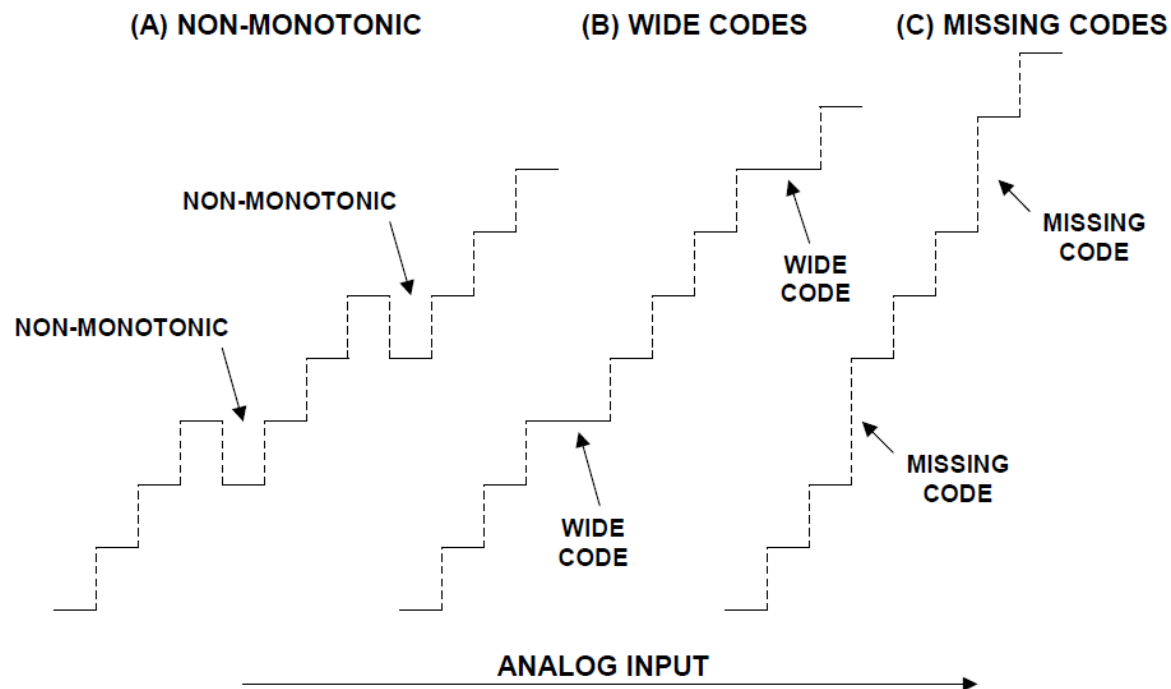


Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



Funzione di trasferimento di un AD reale

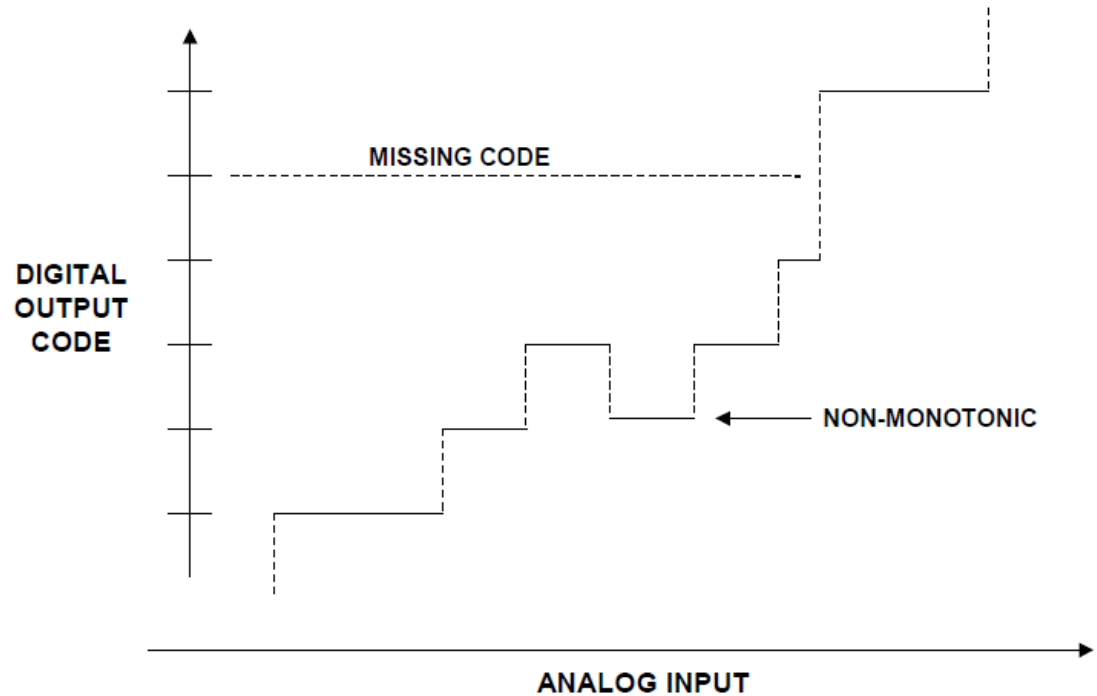
- a) Non monotonicità della caratteristica di quantizzazione
- b) Alcuni codici di ampiezza maggiore di 1LSB
- c) Alcuni codici sono completamente assenti



Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



Funzione di trasferimento di un AD reale non monotona e con un codice mancante



Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



Possibili causa di incertezza in AD:

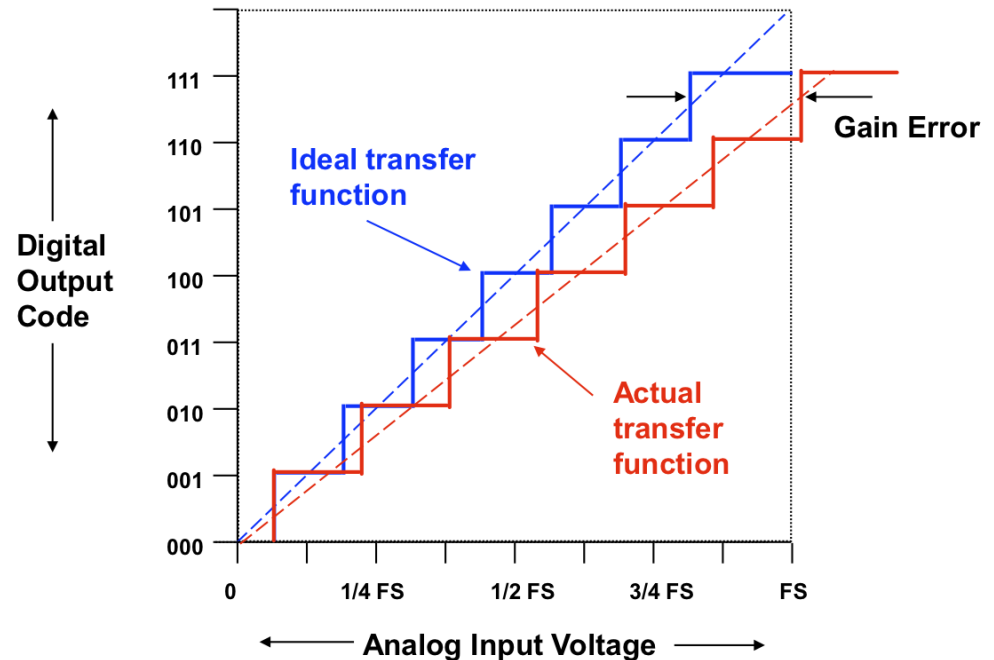
- Pendenza della caratteristica di conversione non corretta (incertezza di guadagno)
- Offset presente nella prima transizione (incertezza di offset)
- Non linearità della caratteristica di conversione

Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



Possibili causa di incertezza in AD:

- Pendenza della caratteristica di conversione non corretta (incertezza di guadagno)

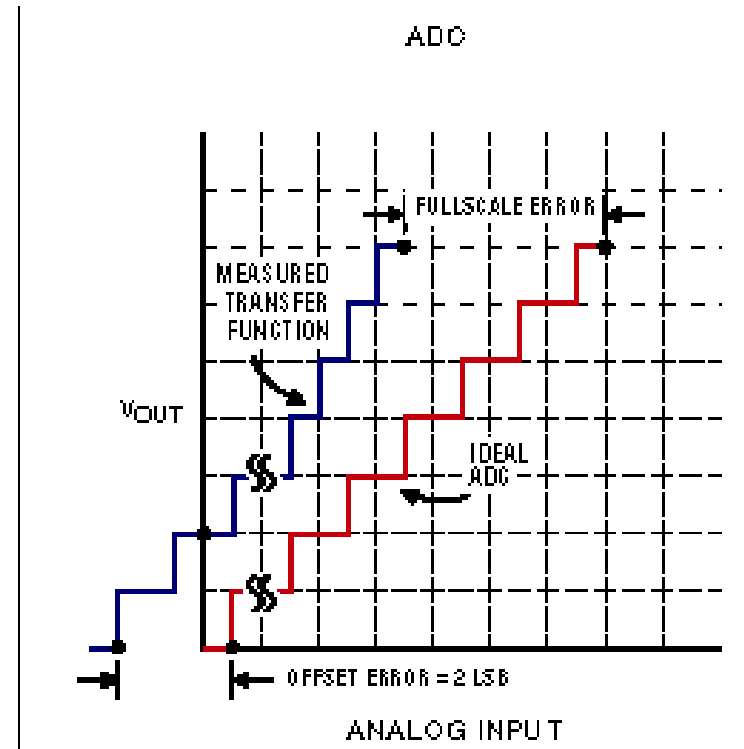


Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



Possibili causa di incertezza in AD:

- Offset presente nella prima transizione (incertezza di offset)



Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



- La quantizzazione delle ampiezze è ottenuta suddividendo il campo dei valori possibili in intervalli elementari (detti anche “di quantizzazione”) di ampiezza **q**
- La risoluzione di un convertitore A/D rappresenta la minima quantità che può essere apprezzata: si identifica pertanto con la quantità elementare **q**

Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



- La codifica usualmente adottata utilizza simboli binari (0 e 1). Ogni parola di codice è formata in generale da n simboli binari ordinati, cui corrisponde un dato peso

$B_{n-1} \dots B_i \dots B_1 B_0$ *simboli binari 0,1*

$2^{n-1} \dots 2^i \dots 2^1 2^0$ *pesi*

Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



- Il valore decimale y che corrisponde alla parola di codice formata con i simboli B_i risulta:

$$y = \sum_{i=0}^{n-1} 2^i \cdot B_i$$

- Il generico peso 2^i contribuisce alla sommatoria solo se il corrispondente bit B_i è pari a 1

Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



- Definizioni:
- B_{n-1} = MSB (Most Significant Bit) è il bit più significativo, associato al peso maggiore (2^{n-1})
- B_0 = LSB (Least Significant Bit) è il bit meno significativo, associato al peso minore (2^0)

Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



- Sia il campionamento che la quantizzazione fanno perdere una parte dell'informazione contenuta nel segnale analogico
 - Con riferimento al **tempo**, si perde la conoscenza del segnale nell'intervallo temporale compreso fra due successivi istanti di campionamento
 - Con riferimento alle **ampiezze**, si perde informazione sui valori del segnale compresi fra due livelli successivi di quantizzazione

Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici

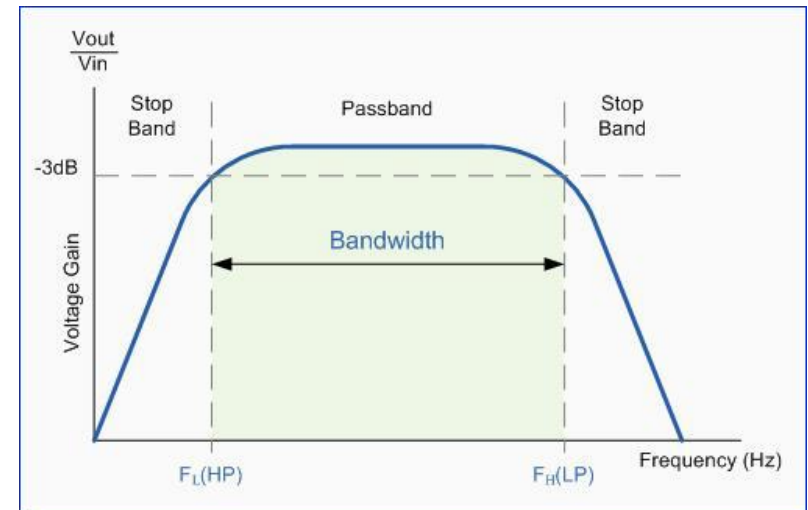
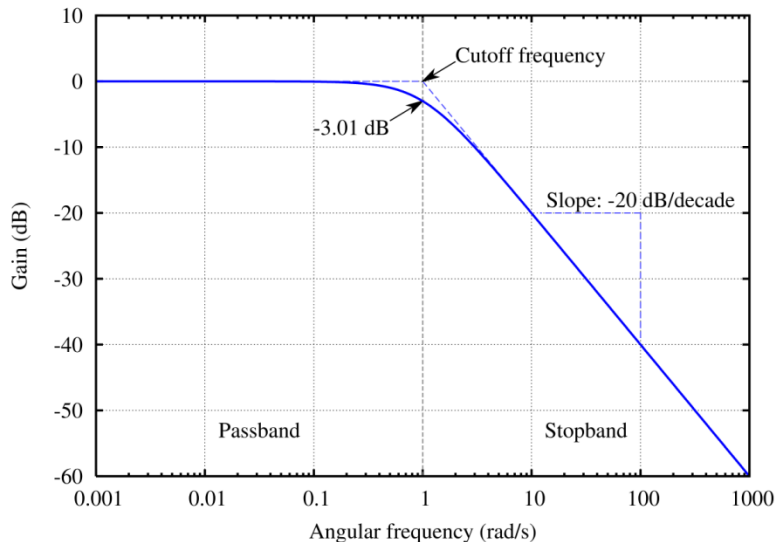


- Teorema del campionamento: è possibile ricostruire in forma esatta il segnale originario purché i campioni siano presi con una frequenza superiore almeno al doppio della massima frequenza contenuta nel segnale
- Incertezza di quantizzazione: con riferimento alle ampiezze, il segnale quantizzato differisce tanto meno dal segnale originario, quanto più numerosi sono i livelli di discretizzazione (n crescente)

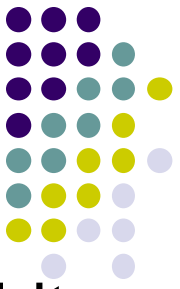
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



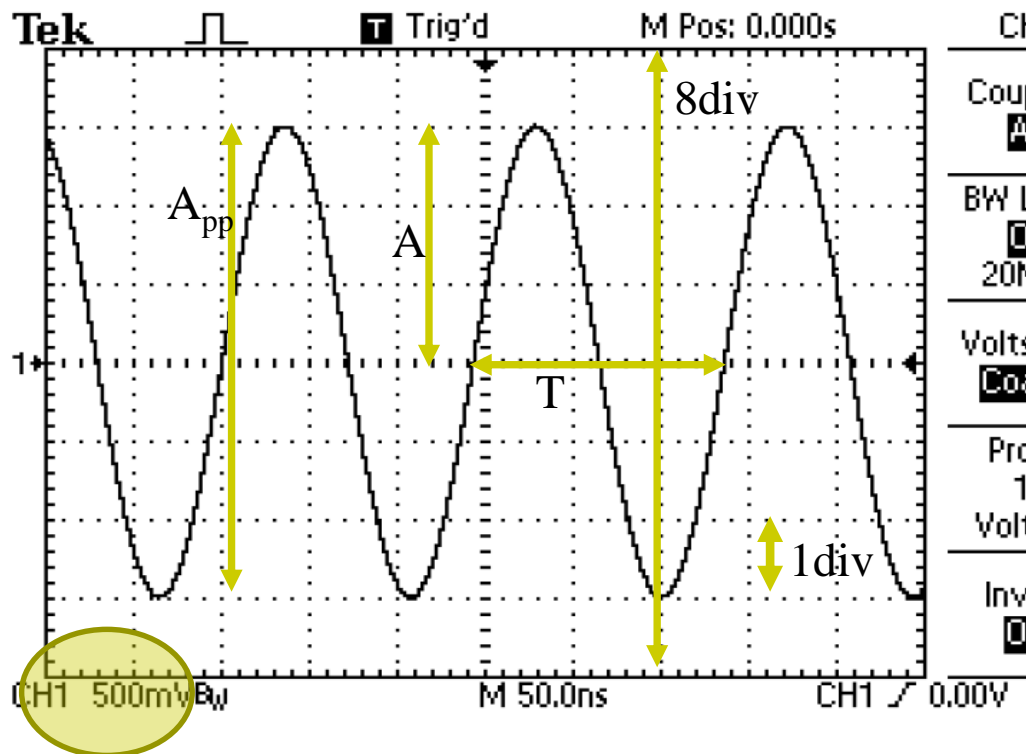
- Teorema del campionamento: se definiamo la banda B del segnale da campionare è sufficiente campionare ad una frequenza $f_c > 2B$



Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



- Incertezza di quantizzazione: in generale con 8 bit l'incertezza di quantizzazione è sufficientemente piccola per gli scopi di misura in un DSO



Segnale sinusoidale

$$s(t) = A \sin(2\pi/T \cdot t) ; f = 1/T$$

Sensibilità verticale = $S_v = 500\text{mV/div}$

Ampiezza = $A = 3\text{div} \cdot S_v = 1.5\text{V}$

Spessore traccia $\sim 1/20 \text{ div} = 0.05 \text{ div}$

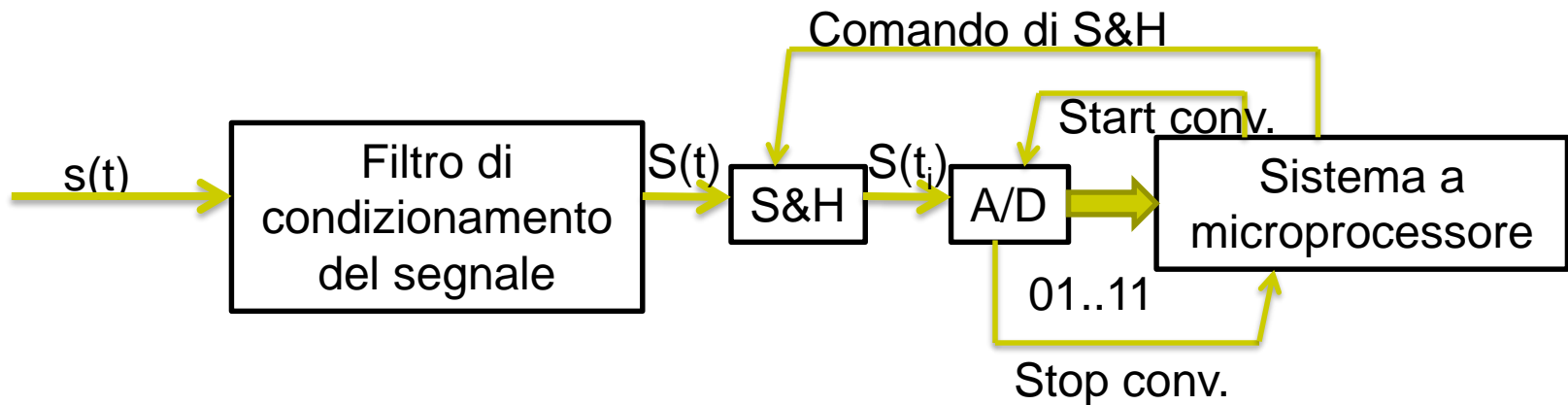
LSB = $8 \text{ div} : 2^8 \sim 0.03 \text{ div}$

Acquisizione dati



- Sistema di misura a canale singolo

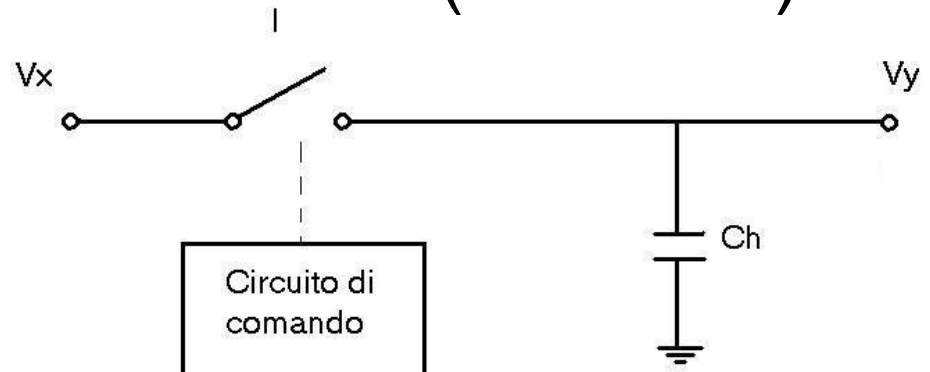
- S&H: sample and hold per “memorizzare” all’istante t_i il valore di tensione del segnale di ingresso
- Il segnale fissato dal S&H è convertito dall’AD a seguito del comando di Start
- Quando il convertitore AD ha terminato la conversione “avvisa” il microprocessore che il dato è pronto per essere immagazzinato in memoria



Acquisizione dati: Sample and Hold



- Al fine di ottenere una conversione AD la tensione all'ingresso (V_x) del convertitore AD deve rimanere costante per tutta la durata della conversione stessa
- Il circuito equivalente di un S&H ideale è costituito da un interruttore e da un condensatore di mantenimento (memoria)



Acquisizione dati: Sample and Hold



- Nella fase di Sample l'uscita del S&H riproduce il valore di tensione del segnale di ingresso senza modificarlo
- In tutta la durata della fase di Hold l'uscita del S&H assume un valore di tensione pari all'ultimo valore presente nella fase di Sample

Acquisizione dati: Sample and Hold

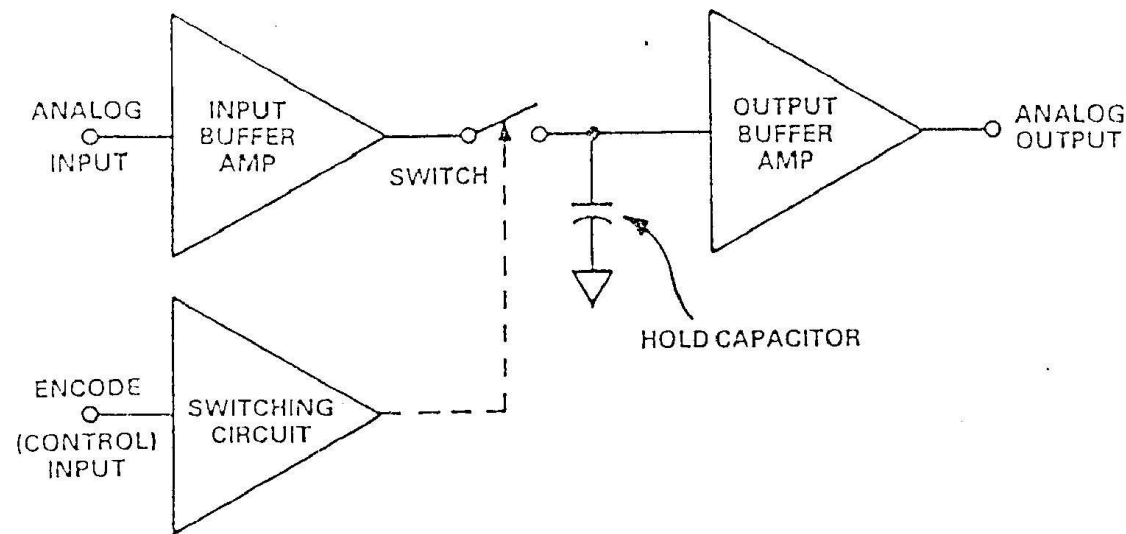


- Limiti del circuito di base sono dovuti a:
 - Il condensatore si scarica per perdite o resistenze di carico “basse”
 - La carica del condensatore avviene attraverso un generatore con resistenza equivalente non nulla: aumenta il tempo di acquisizione
 - Parametri parassiti dell'interruttore
 - Errori di feedthrough: l'uscita dipende in parte anche dalla tensione in ingresso al S&H e non solo dalla tensione memorizzata dal condensatore
 -

Acquisizione dati: Sample and Hold



Sample and Hold con amplificatori operazionali:
circuitto di base



L' Oscilloscopio Digitale



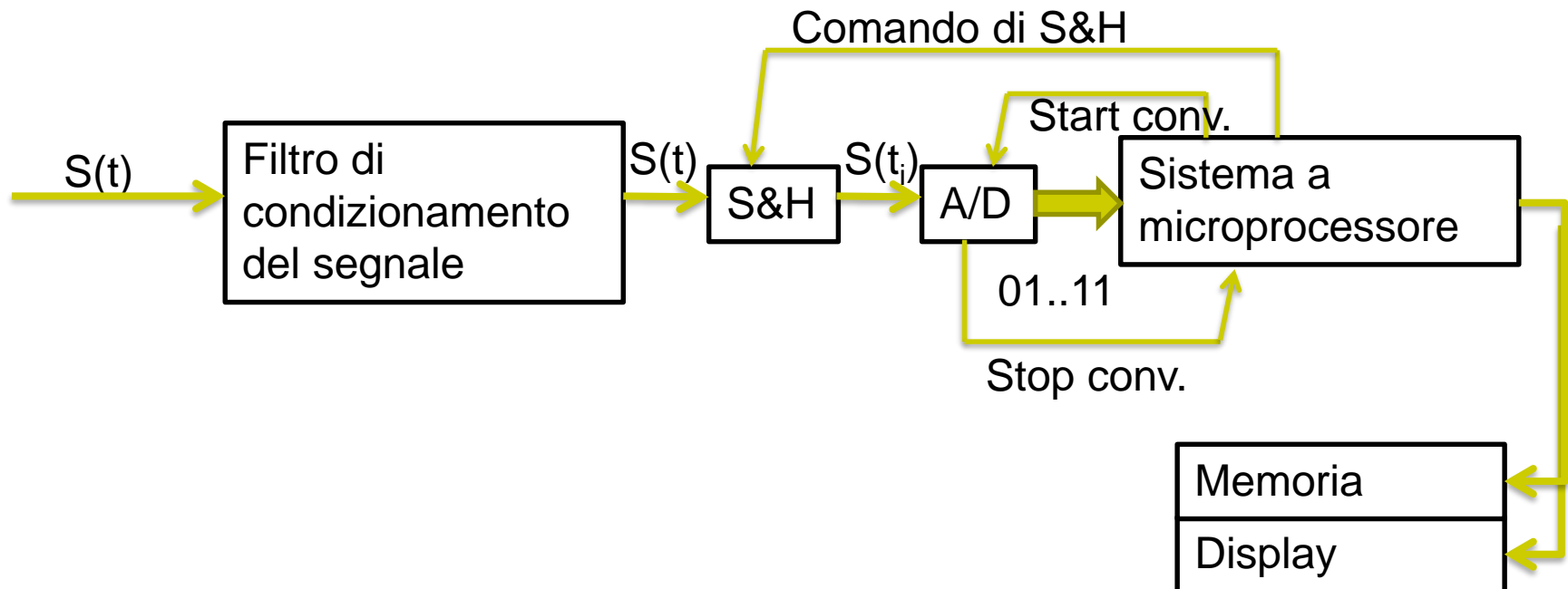
- In genere i DSO sono anche caratterizzati da un gran numero di canali di ingresso (anche fino a 4 analogici e 16 digitali)





L' Oscilloscopio Digitale

- Lo schema di base è quello tipico di un sistema di acquisizione dati in cui l'obiettivo principale è massimizzare la banda



Convertitori Analogico Digitali



- Negli oscilloscopi digitali, tipicamente, sono utilizzati i convertitori AD di tipo FLASH in quanto la velocità di conversione richiesta è molto elevata (ns)
- Tipicamente gli AD di tipo FLASH hanno una risoluzione di pochi bit (tipicamente 8-9)



Convertitori Analogico Digitali

- In commercio esistono diversi tipi di convertitori AD:
 - **A doppia rampa**
 - A conversione tensione frequenza
 - Ad approssimazioni successive
 - **Flash**
 - Sigma-delta
 - Etc etc...
- In generale i convertitori AD si dividono in due grandi famiglie:
 - Ad alta risoluzione (ma lenti)
 - Veloci (ma a bassa risoluzione)

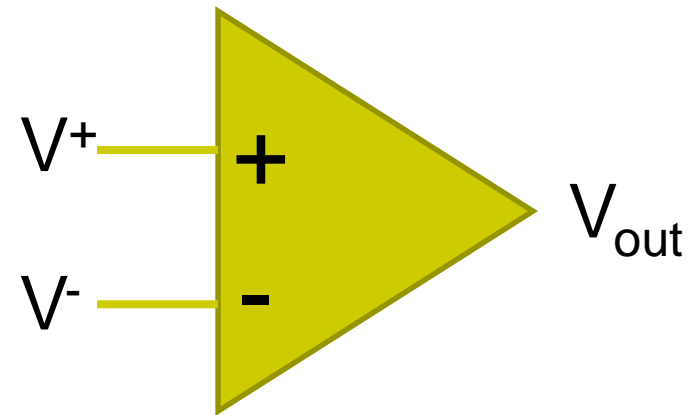
Convertitori Analogico Digitale



- Occorre introdurre un nuovo componente: il comparatore di soglia (ideale)

- $V^+ > V^-$ $V_{out} = "1"$

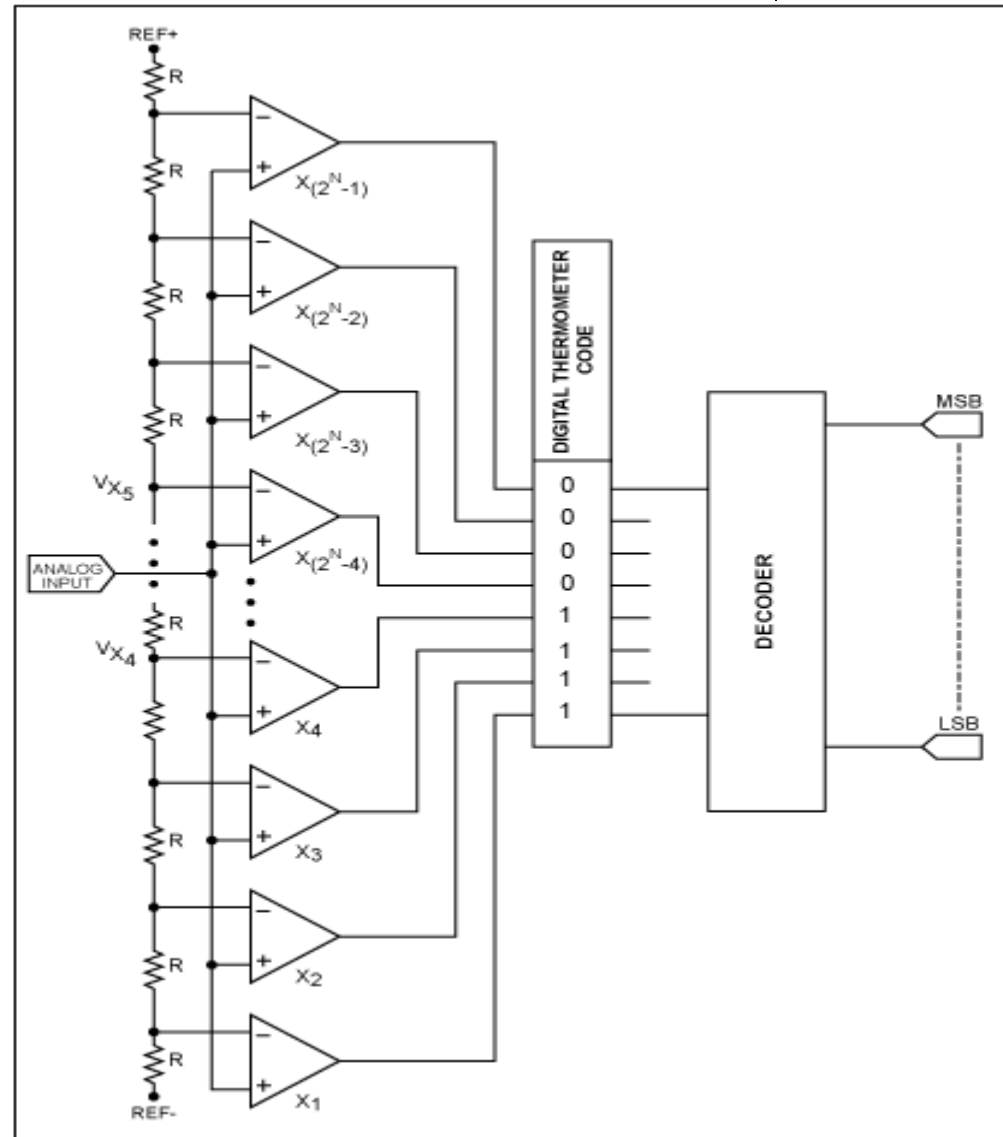
- $V^+ < V^-$ $V_{out} = "0"$



Convertitori Analogico Digitali: Flash



- Schema di massima:
 - Rete di 2^N resistenze
 - $2^N - 1$ Comparatori
 - Uscita dei comp.: codice termometrico (gli "1" sono simili alla colonna di mercurio di un termometro)
 - Decoder da cod. termometrico a 2^N bit a codice a N bit



Convertitori Analogico Digitali: Flash

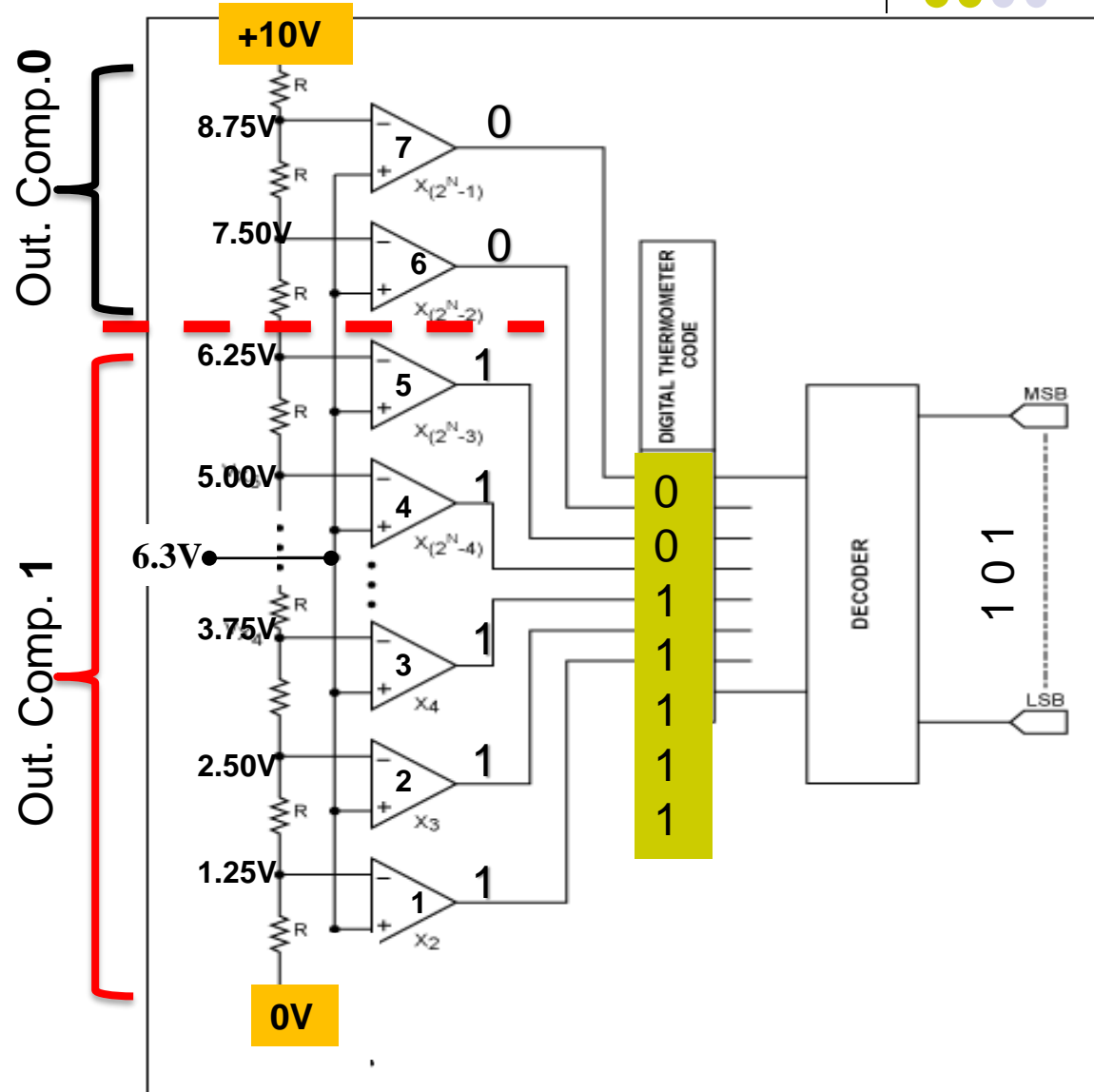


- Esempio:

- $Ref^+ = 10V$
- $Ref^- = 0V$
- $N=3 \rightarrow 7$ comp
- 8 resistenze
- $V_{in}=6.3V$

Legge di decodifica

0000000	\Leftrightarrow	000
0000001	\Leftrightarrow	001
0000011	\Leftrightarrow	010
0000111	\Leftrightarrow	011
0001111	\Leftrightarrow	100
0011111	\Leftrightarrow	101
0111111	\Leftrightarrow	110
1111111	\Leftrightarrow	111



Convertitori Analogico Digitali: Flash

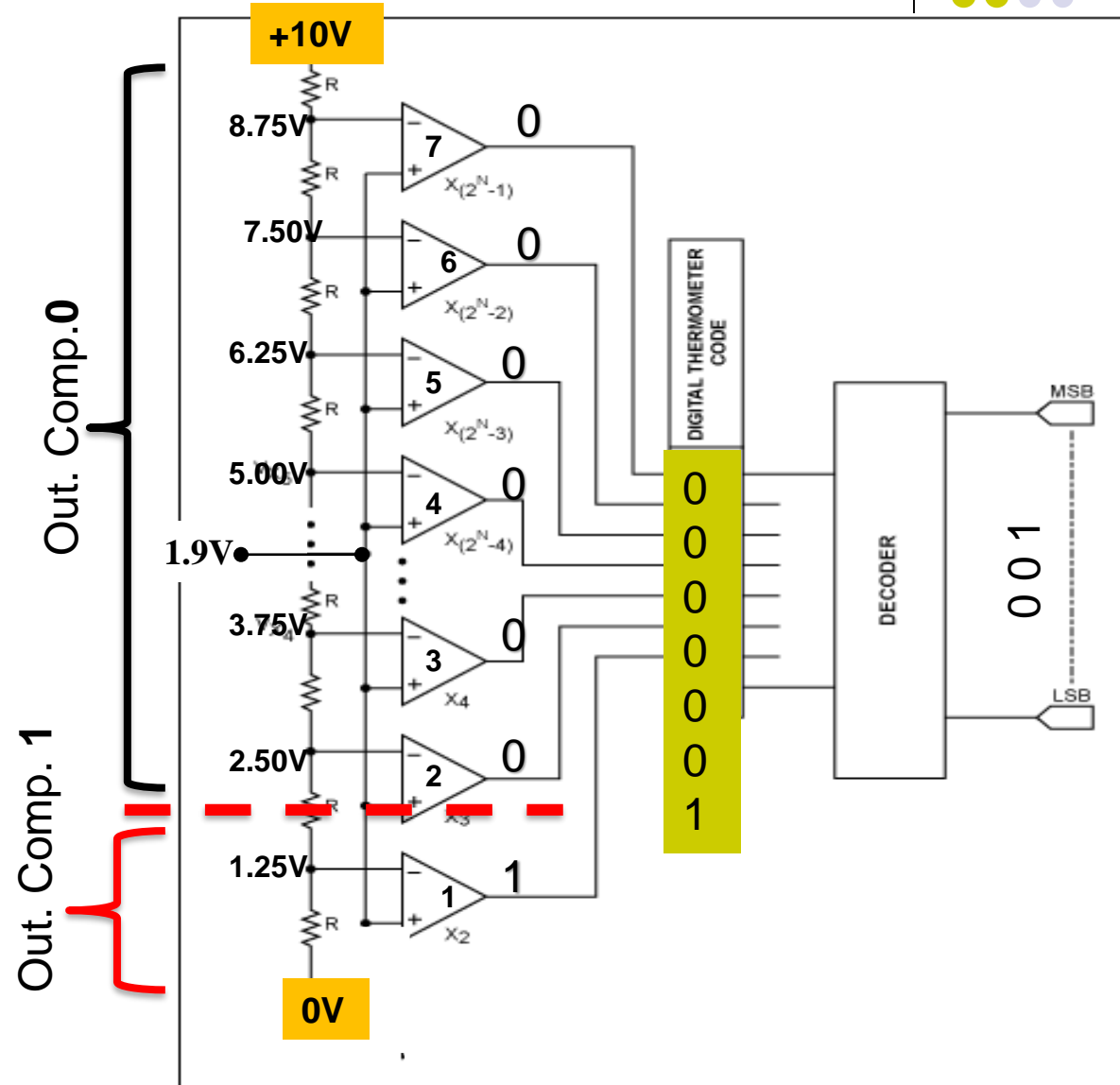


● Esempio:

- $Ref^+ = 10V$
- $Ref^- = 0V$
- $N=3 \rightarrow 7$ comp
- 8 resistenze
- $V_{in}=1.9V$

Legge di decodifica

0000000	\Leftrightarrow	000
0000001	\Leftrightarrow	001
0000011	\Leftrightarrow	010
0000111	\Leftrightarrow	011
0001111	\Leftrightarrow	100
0011111	\Leftrightarrow	101
0111111	\Leftrightarrow	110
1111111	\Leftrightarrow	111



Convertitori Analogico Digitali: Flash

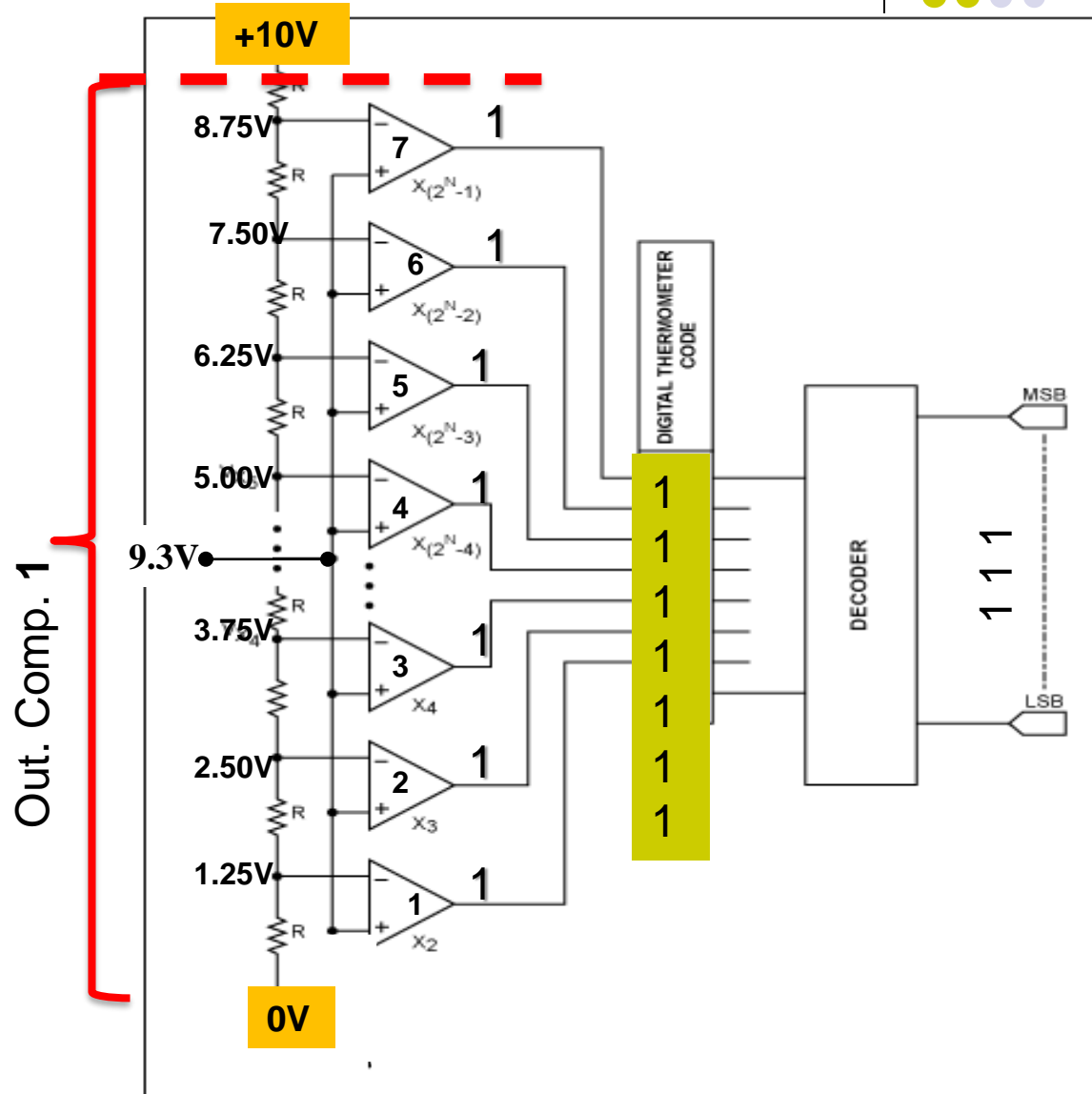


● Esempio:

- $Ref^+ = 10V$
- $Ref^- = 0V$
- $N=3 \rightarrow 7$ comp
- 8 resistenze
- $V_{in}=9.3V$

Legge di decodifica

0000000	\Leftrightarrow	000
0000001	\Leftrightarrow	001
0000011	\Leftrightarrow	010
0000111	\Leftrightarrow	011
0001111	\Leftrightarrow	100
0011111	\Leftrightarrow	101
0111111	\Leftrightarrow	110
1111111	\Leftrightarrow	111

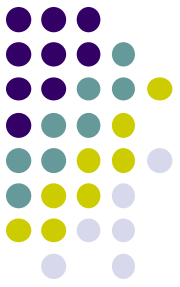


Convertitori Analogico Digitali: Flash

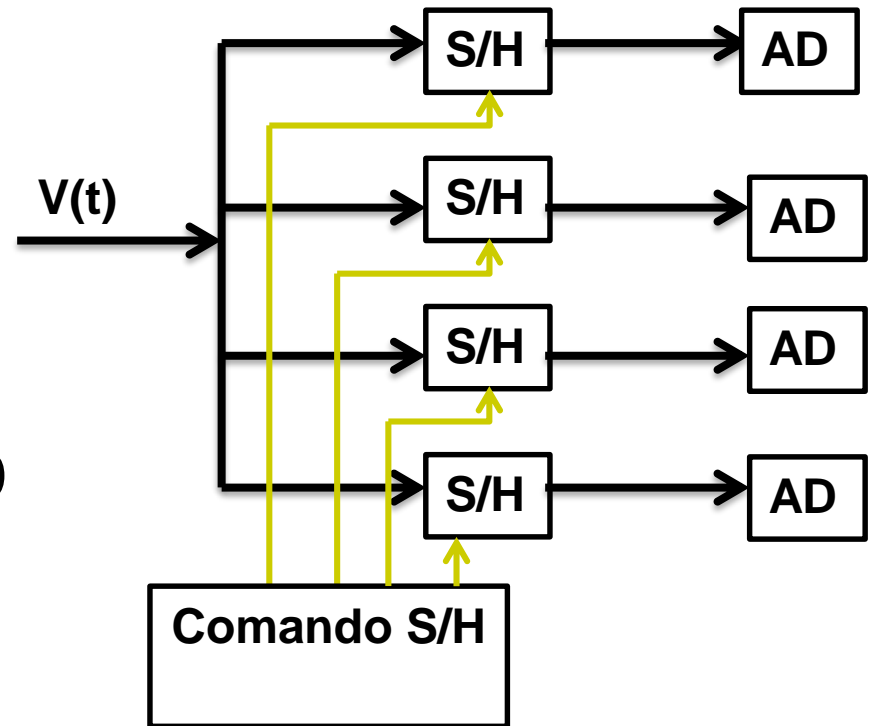


- L'elevata velocità di conversione è possibile grazie al confronto simultaneo dell'ingresso analogico con i livelli di tensione ai nodi del partitore resistivo
- La velocità di conversione è di $100 \div 1000$ Msample/s
- La risoluzione è limitata dal fatto che, per esempio, un convertitore a 10 bit richiederebbe l'impiego 1023 comparatori con conseguente elevato consumo e dimensione del chip. In genere i convertitori flash sono a 8-9 bit

Convertitori Analogico Digitali: Flash



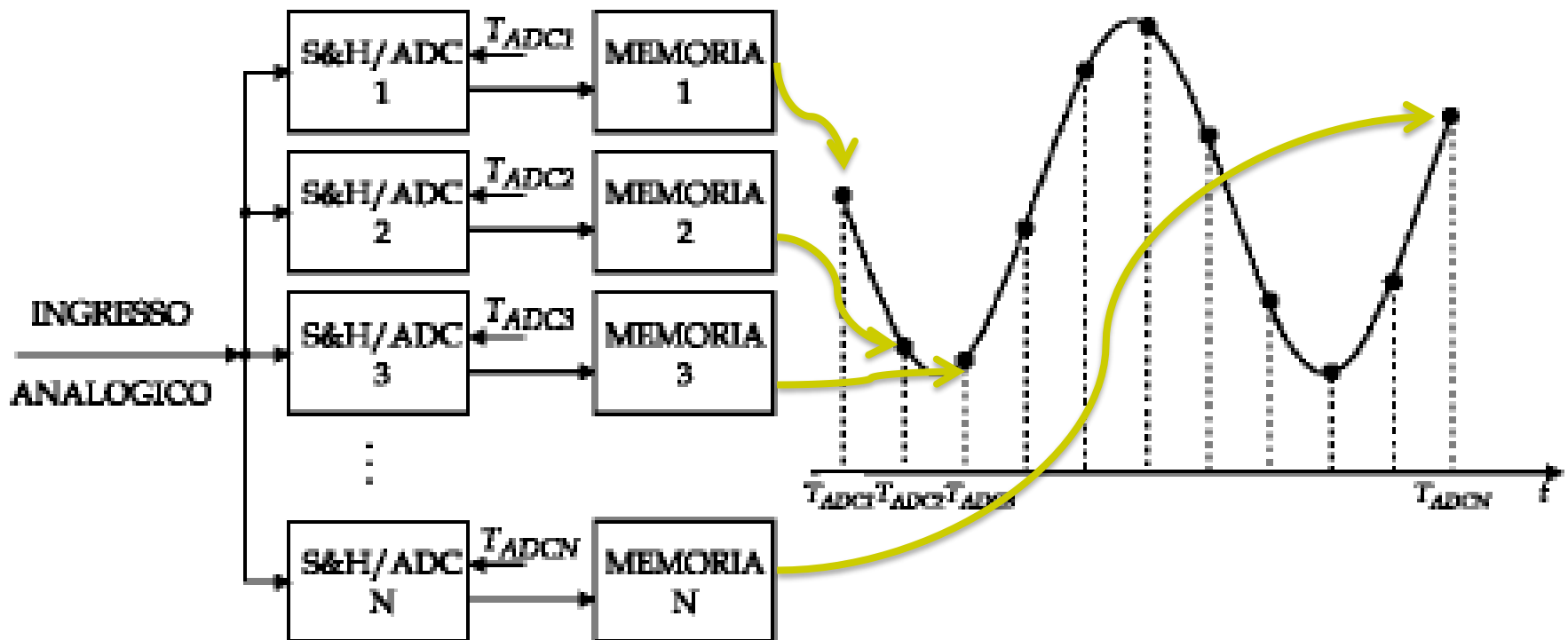
- La tendenza attuale è quella di avere più sistemi S/H + AD Flash in parallelo comandati in sequenza
- Nella figura accanto la velocità complessiva è 4 volte quella della singola coppia S/H + AD
- Si ottengono velocità di conversione superiori di 1GS/s



L'Oscilloscopio Digitale: la sezione di conversione AD



- Schema a multiconvertitore per ottenere maggiore velocità di conversione



L'Oscilloscopio Digitale: la sezione di conversione AD



- Schema a singolo convertitore AD in multiplexing (fino qualche migliaio di S/H)

