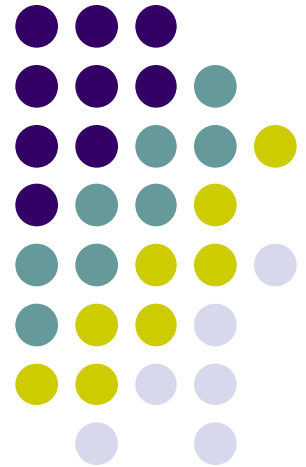
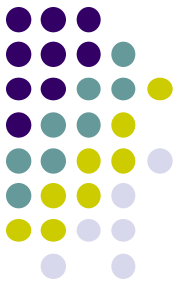


Sistemi Elettronici

Tecnologie e Misure

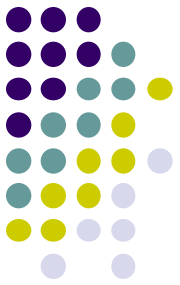
L'oscilloscopio digitale (DSO)
Digitalizzazione di segnali analogici
ADC flash
Acquisizione dati e DSO





L' Oscilloscopio

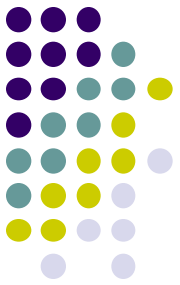
- ❑ Elemento essenziale in laboratorio per misurazioni di grandezze elettriche
- ❑ Strumento con cui si visualizza l'andamento del segnale oggetto di misura
- ❑ Possibilità di effettuare un elevato numero di misure
 - ❑ Sia di natura qualitativa (presenza ed andamento segnale, anomalie, distorsioni,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



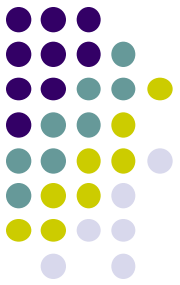
L'oscilloscopio

- ❑ 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

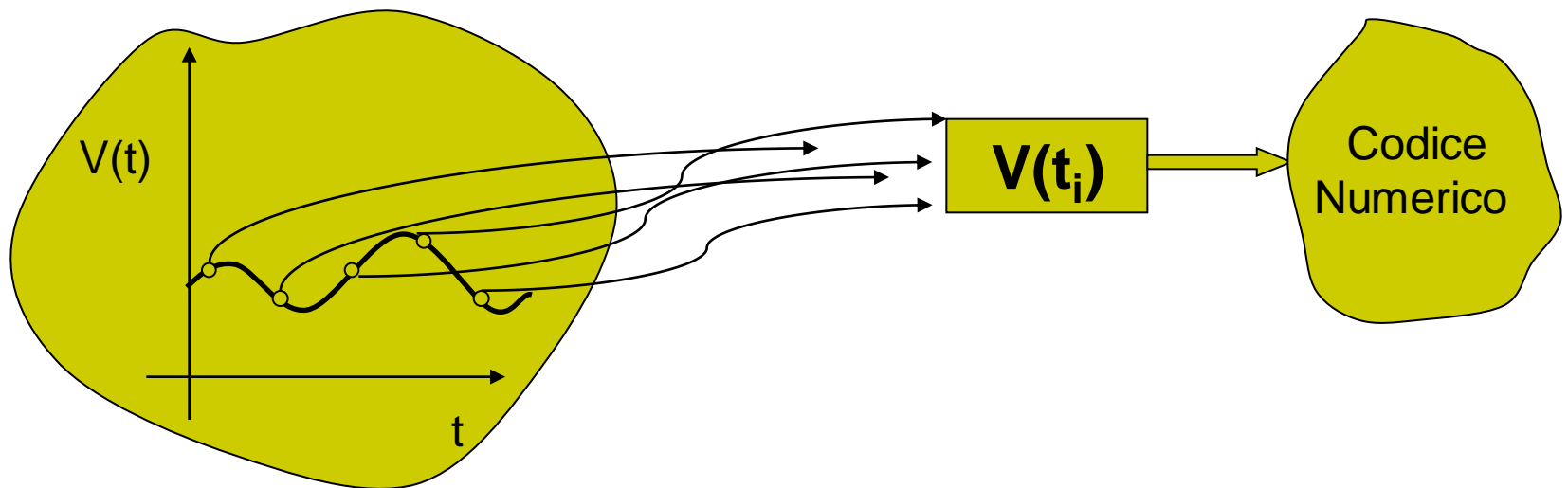
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



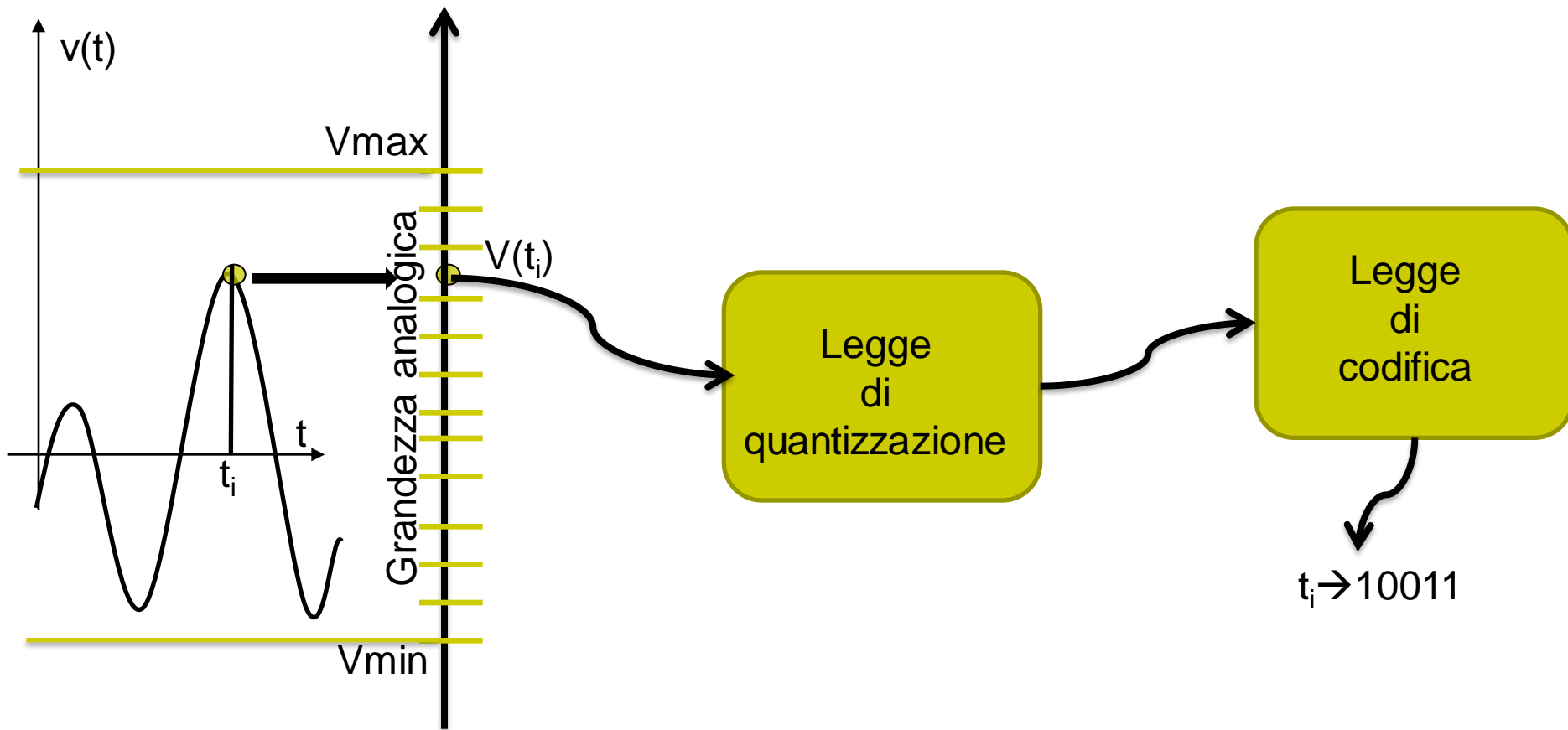
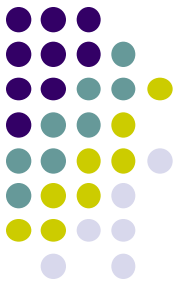
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



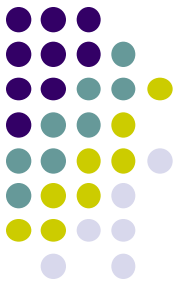
In generale le grandezze fisiche misurabili, affinché possano essere elaborati da sistemi digitali, devono subire una trasformazione che permetta di utilizzarli, successivamente, da una unità di elaborazione digitale.



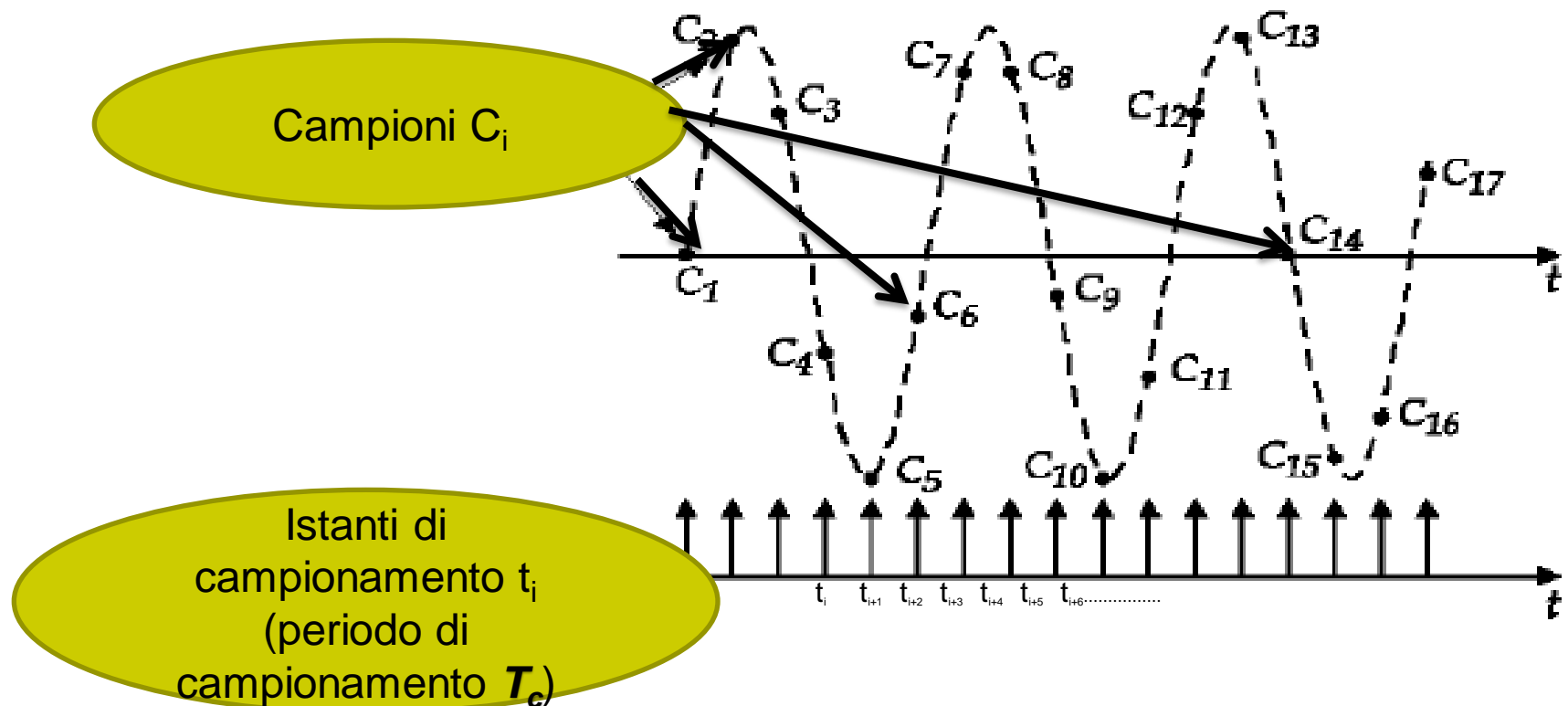
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



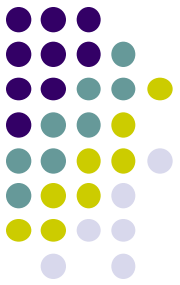
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



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



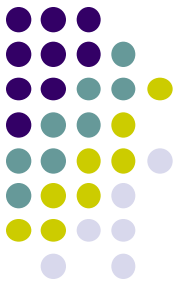
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



- ❑ Campionare un segnale $s(t)$ continuo nel tempo significa considerarne i valori solo in precisi istanti di tempo (istanti di campionamento).
- ❑ In generale il convertitore AD accetta 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



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

Esempio:

$$0 \leq V_0 < 1 \Rightarrow 000$$

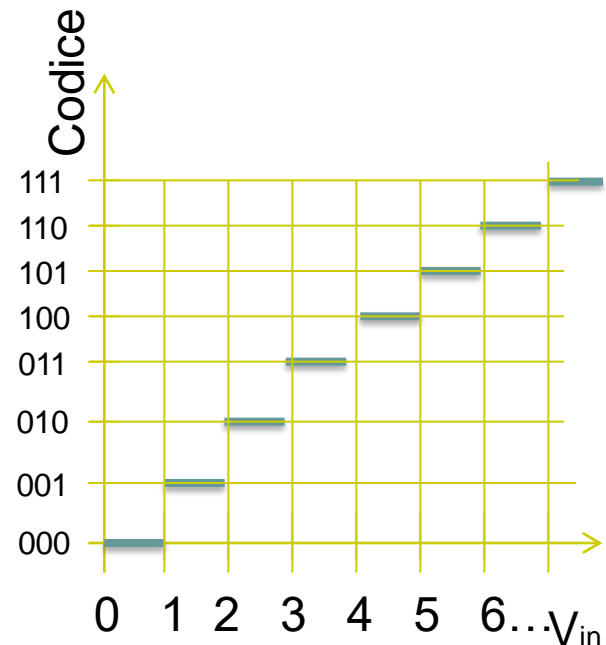
$$1 \leq V_1 < 2 \Rightarrow 001$$

$$2 \leq V_2 < 3 \Rightarrow 010$$

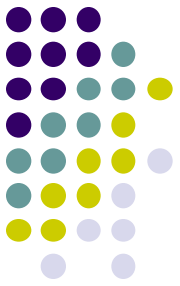
...

$$7 \leq V_7 < 8 \Rightarrow 111$$

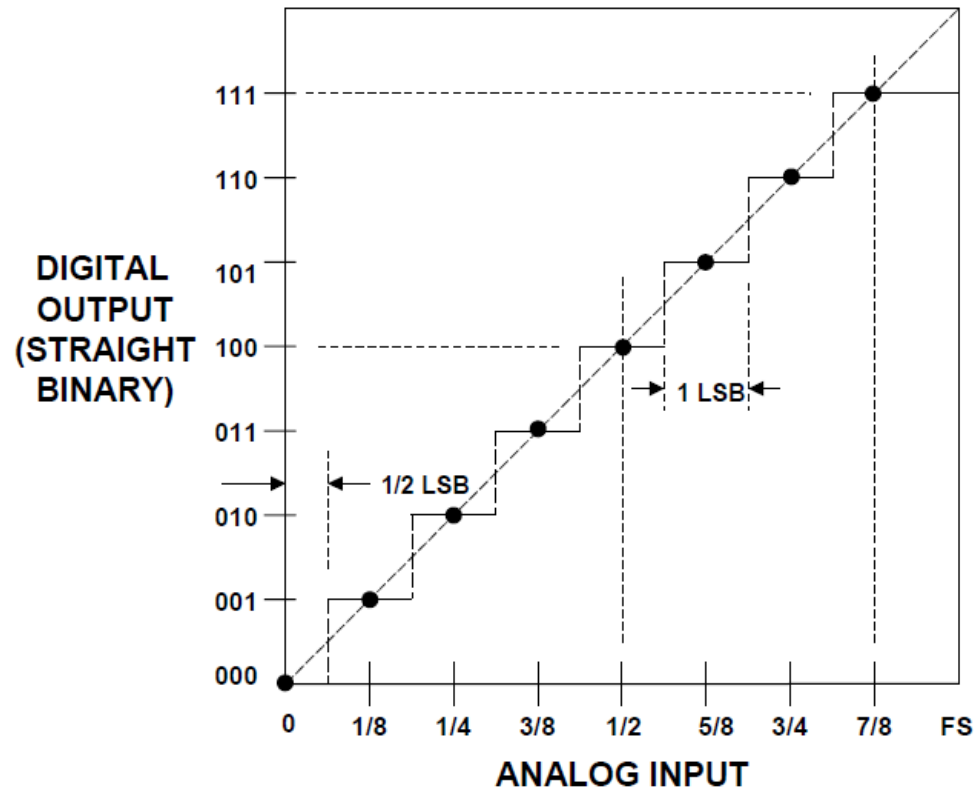
$$V_i \geq 8 \Rightarrow 111$$



Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici

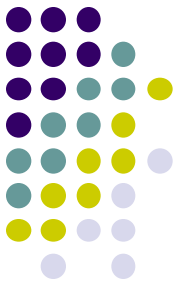


Funzione di trasferimento
di un AD a 3 bit ideale



From: www.analog.com

Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



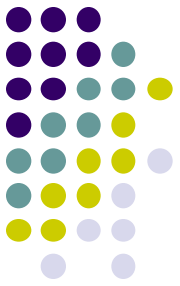
- La codifica usualmente adottata utilizza simboli binari (0 e 1)
- Ogni parola di codice è formata da N_B simboli binari ordinati (numero di bit) a cui corrisponde un dato peso

$B_{N_B-1} B_{N_B-2} \dots B_i \dots B_1 B_0$ (simboli binari 0 e 1)

$2^{N_B-1} 2^{N_B-2} \dots 2^i \dots 2^1 2^0$ (pesi)

Esempio con 5 *simboli binari* $\rightarrow N_B = 5 \rightarrow 10010 = (1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0) =$
 $= (16 + 0 + 0 + 2 + 0) = 18$ (*valore in base 10*)

Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici

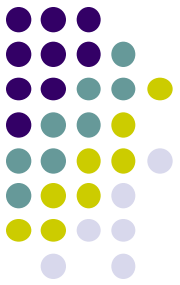


- Il valore decimale y che corrisponde alla parola di codice formata con i simboli B_i risulta:

$$y = \sum_{i=0}^{N_B-1} (2^i \cdot B_i)$$

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

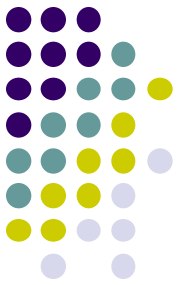
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



Definizioni:

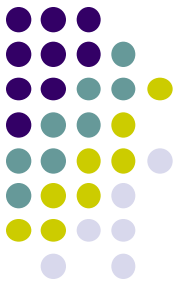
- B_{N_B-1} = MSB (Most Significant Bit) è il bit più significativo, associato al peso maggiore (2^{N_B-1})
- B_0 = LSB (Least Significant Bit) è il bit meno significativo, associato al peso minore (2^0)

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 risoluzione di un processo di conversione analogico-digitale è definita come la minima variazione del segnale in ingresso che induce al codice binario una variazione di un LSB

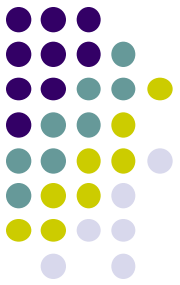
$$q = \frac{FSR}{2^{N_B}}$$

Dove:

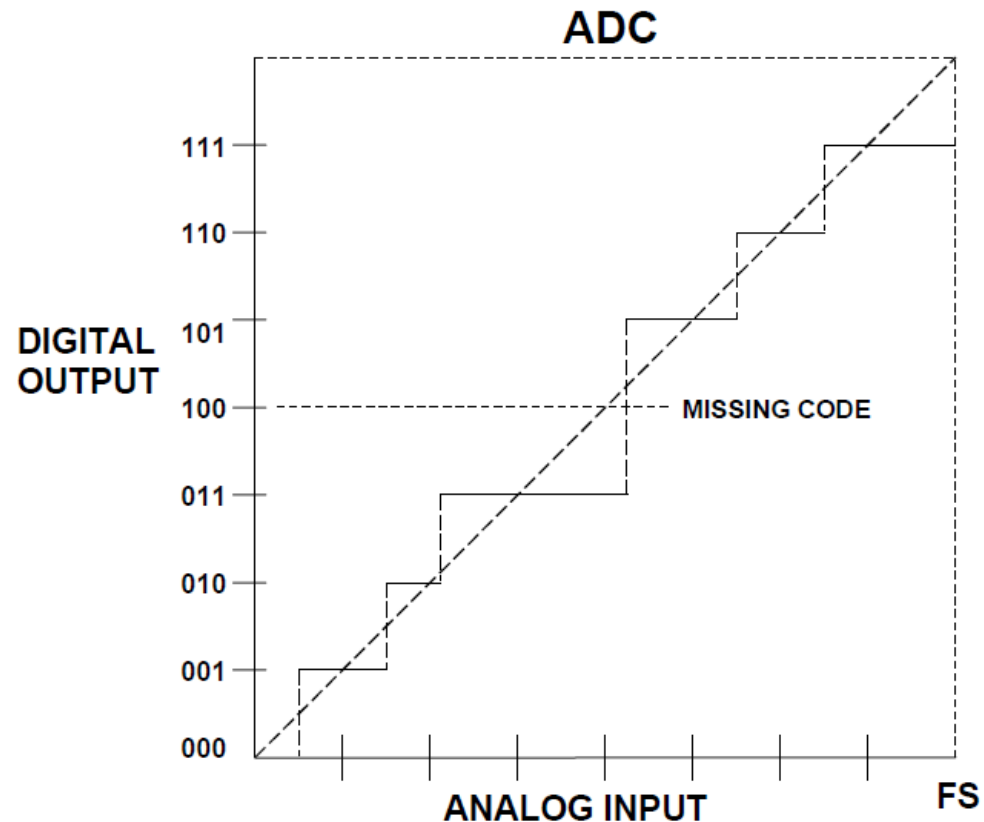
- FSR: range di valori accettabili dall'ADC
(per esempio: fra -5V e +5V \rightarrow FSR=10V; fra 0V e 5V \rightarrow FSR = 5V)
- N_B = numero di bit del convertitore ADC

Esempio: convertitore a 10 bit con FSR di 10V $\rightarrow q = \frac{FSR}{2^{N_B}} = \frac{10\text{ V}}{2^{10}} \approx 1\text{ mV}$

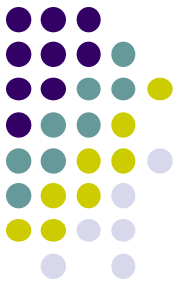
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



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

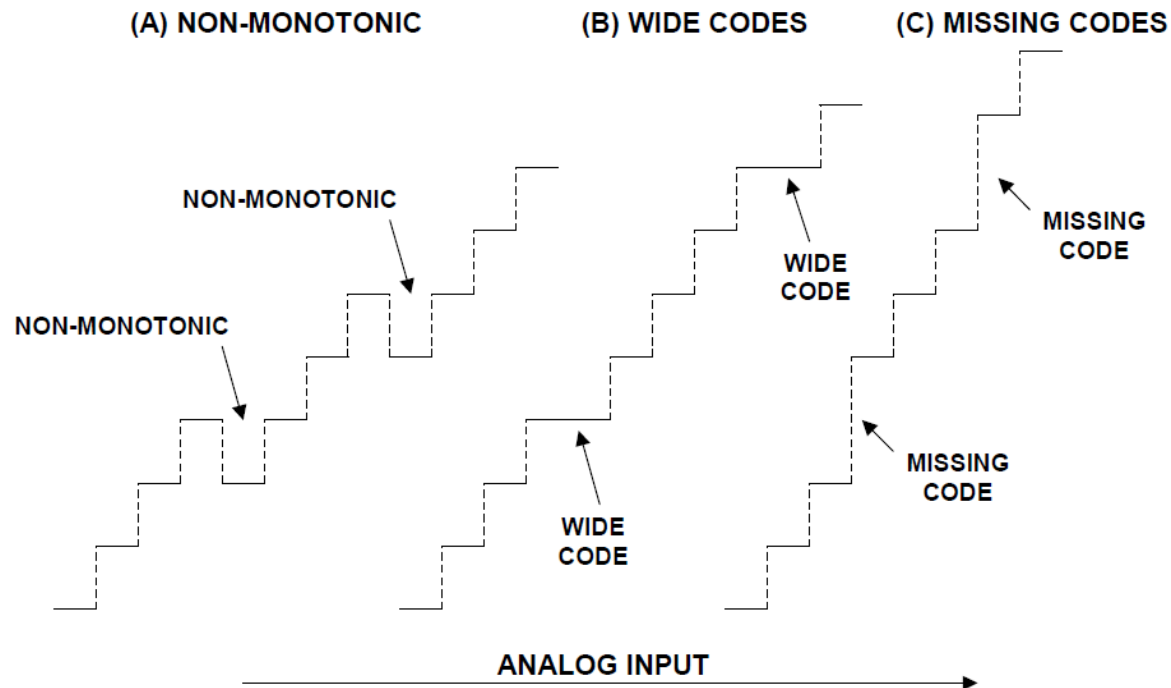


Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici

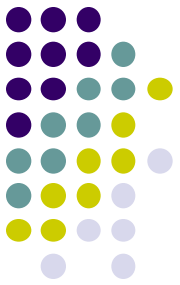


Funzione di trasferimento di un AD reale

- ❑ Non monotonicità della caratteristica di quantizzazione
- ❑ Alcuni codici di ampiezza maggiore di 1LSB
- ❑ Alcuni codici sono completamente assenti



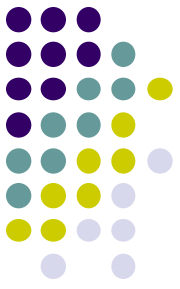
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



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

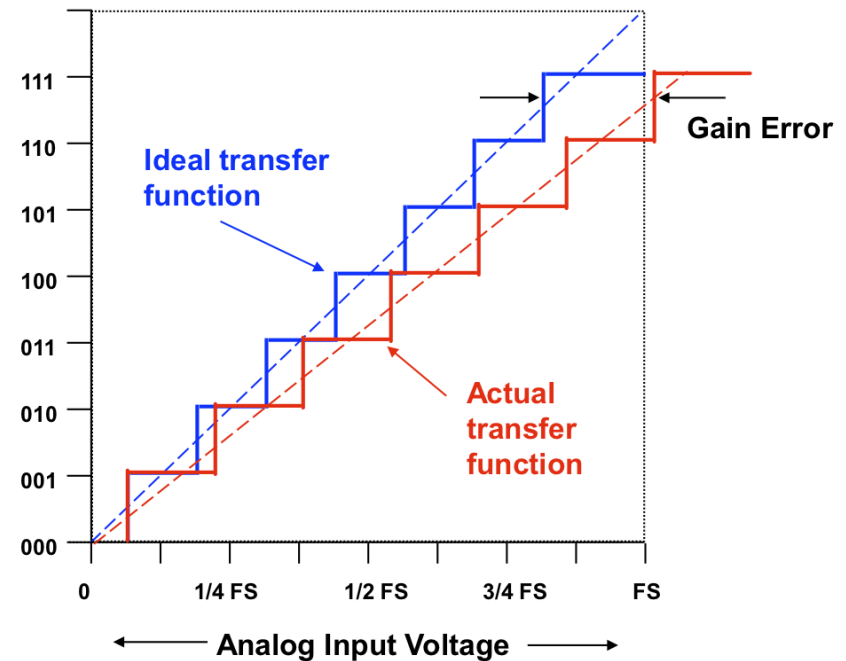
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



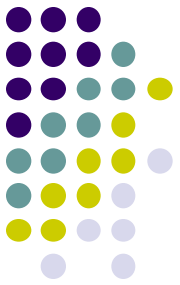
Possibili causa di incertezza in AD

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

Digital
Output
Code

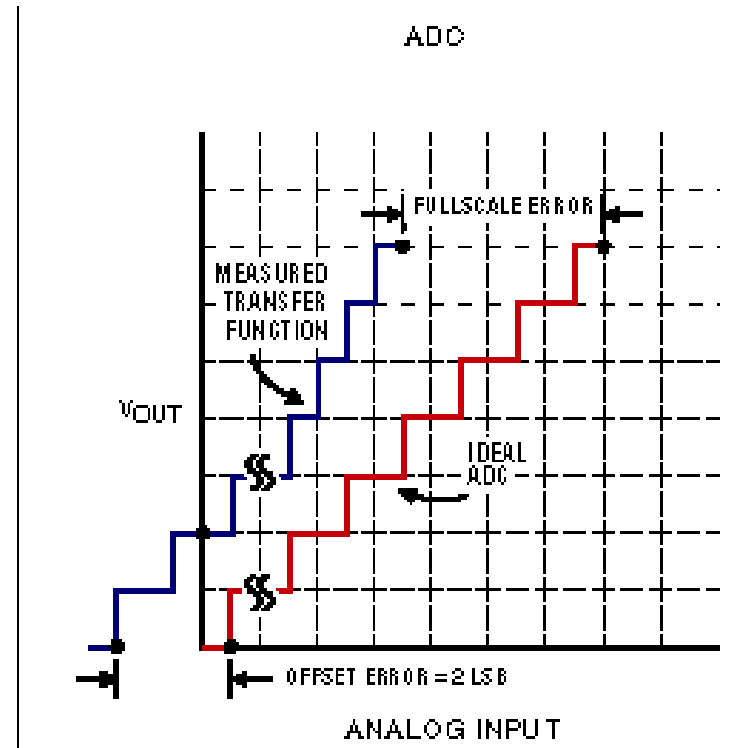


Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici

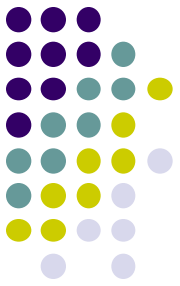


Possibili causa di incertezza in AD:

- Offset presente nella prima transizione (incertezza di offset)



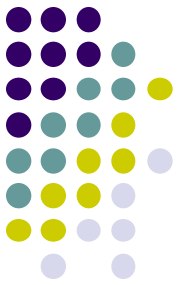
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



Sia il campionamento che la quantizzazione fanno perdere una parte dell'informazione contenuta nel segnale analogico

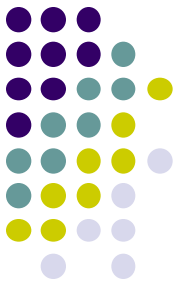
- ❑ Con riferimento al **tempo**, si perde la conoscenza del segnale nell'intervallo temporale compreso fra due successivi istanti di campionamento
- ❑ Con riferimento alle **ampiezze**, si perde informazione sui valori del segnale compresi fra due livelli successivi di quantizzazione

Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici

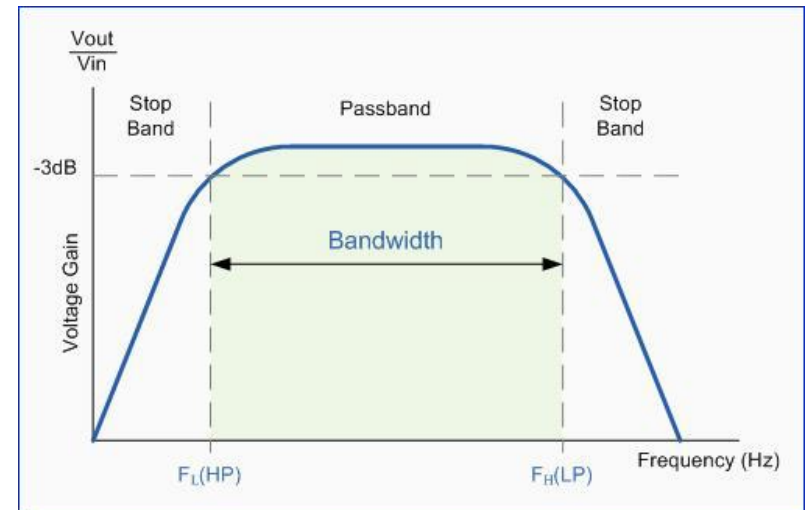
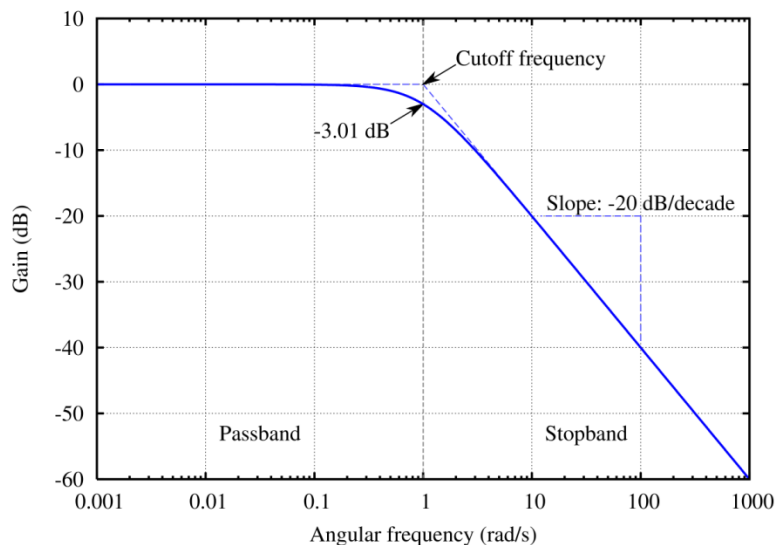


- ❑ Teorema del campionamento: è possibile ricostruire in forma esatta il segnale originario purché i campioni siano presi con una frequenza superiore almeno al doppio della massima frequenza contenuta nel segnale
- ❑ Incertezza di quantizzazione: con riferimento alle ampiezze, il segnale quantizzato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

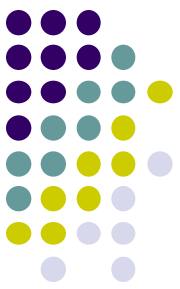
Acquisizione dati: digitalizzazione di segnali analogici



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

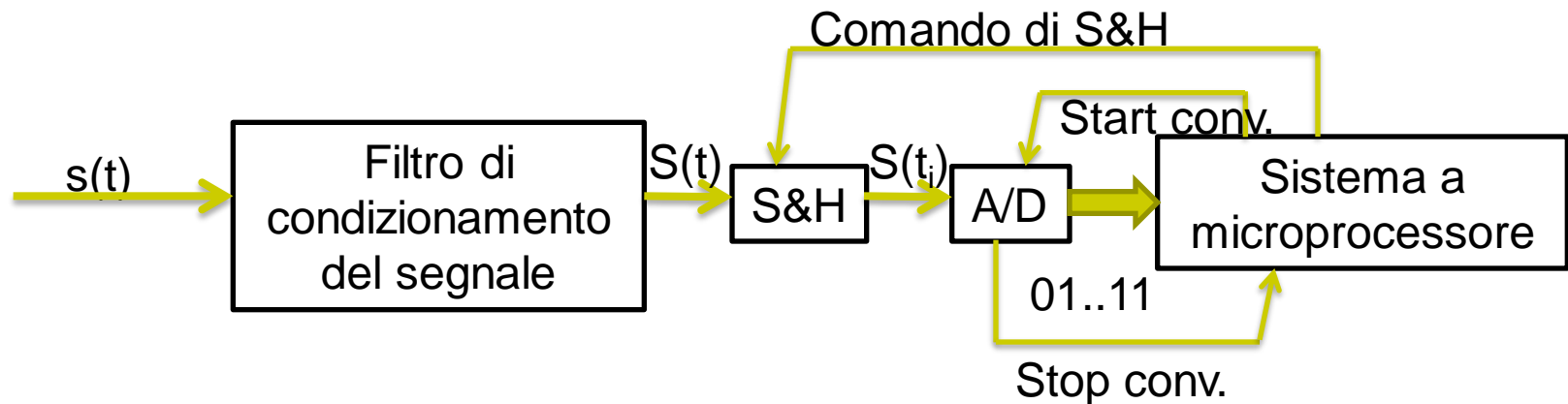


Acquisizione dati: schema di massima

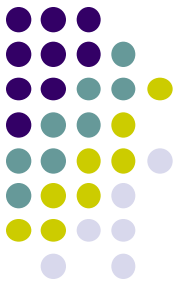


Sistema di misura a canale singolo

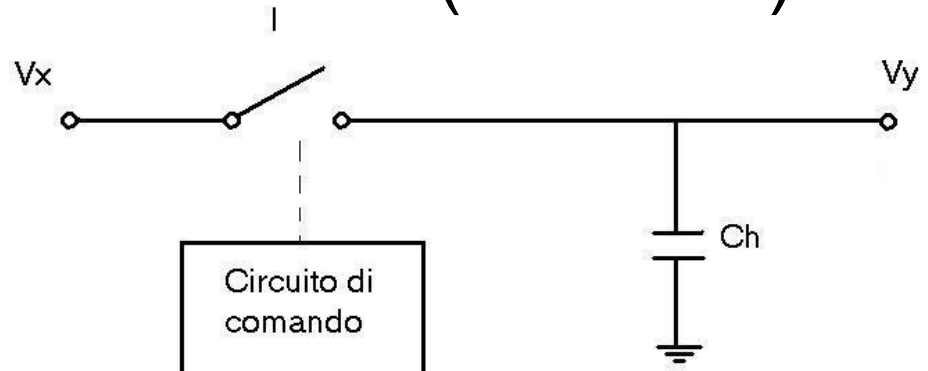
- ❑ S&H: sample and hold per “memorizzare” all’istante t_i il valore di tensione del segnale di ingresso
- ❑ Il segnale fissato dal S&H è convertito dall’AD a seguito del comando di Start
- ❑ Quando il convertitore AD ha terminato la conversione “avvisa” il microprocessore che il dato è pronto per essere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



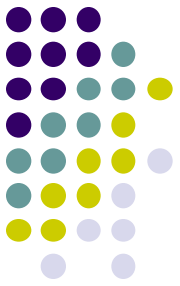
Acquisizione dati: Sample and Hold



- ❑ 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)

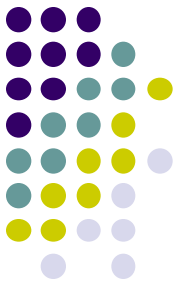


Acquisizione dati: Sample and Hold



- ❑ 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

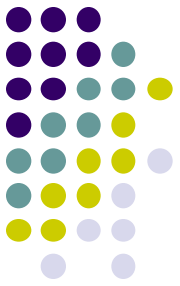
Acquisizione dati: Sample and Hold



Limiti del circuito di base sono dovuti a:

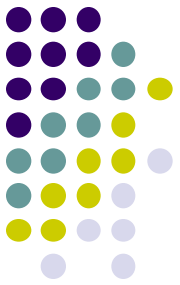
- ❑ Il condensatore si scarica per perdite o resistenze di carico “basse”
- ❑ La carica del condensatore avviene attraverso un generatore con resistenza equivalente non nulla: aumenta il tempo di acquisizione
- ❑ Parametri parassiti dell'interruttore
- ❑ Errori di feedthrough: l'uscita dipende in parte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

L' Oscilloscopio Digitale



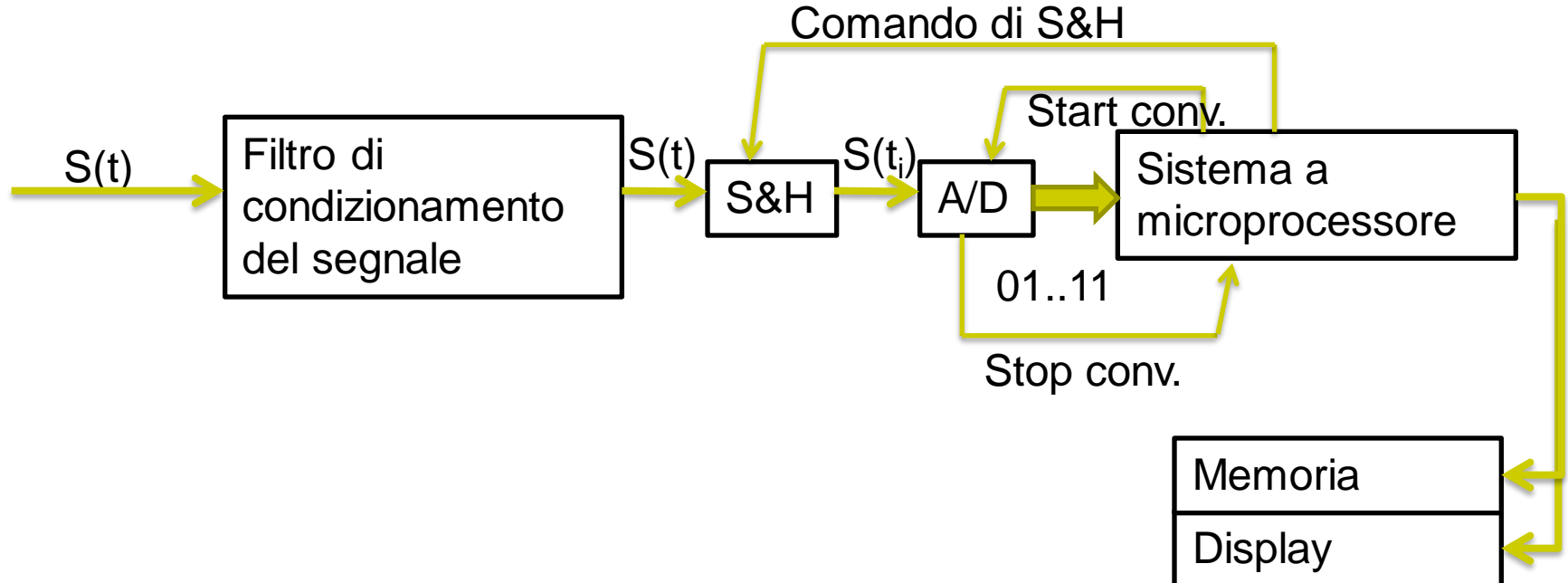
In genere i DSO sono anche caratterizzati da un gran numero di canali di ingresso (per esempio 4 analogici e 16 digitali)



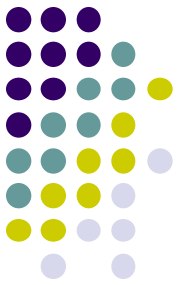


L' Oscilloscopio Digitale

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

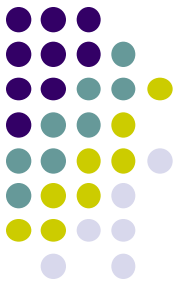


L' Oscilloscopio Digitale: ADC utilizzati



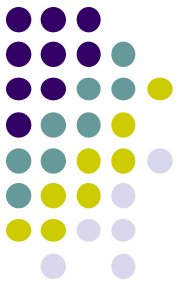
- ❑ Negli oscilloscopi digitali, tipicamente, sono utilizzati i convertitori AD di tipo FLASH in quanto la velocità di conversione richiesta è molto elevata (ns)
- ❑ Tipicamente gli AD di tipo FLASH hanno una risoluzione di pochi bit (tipicamente 8-9)

L' Oscilloscopio Digitale: ADC utilizzati



- ❑ 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)

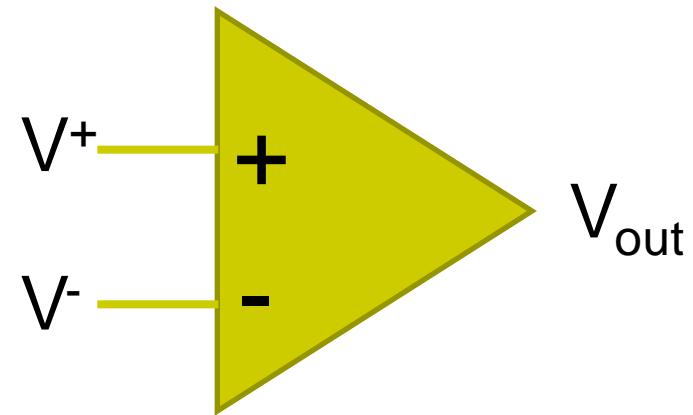
L' Oscilloscopio Digitale: ADC utilizzati



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

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

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

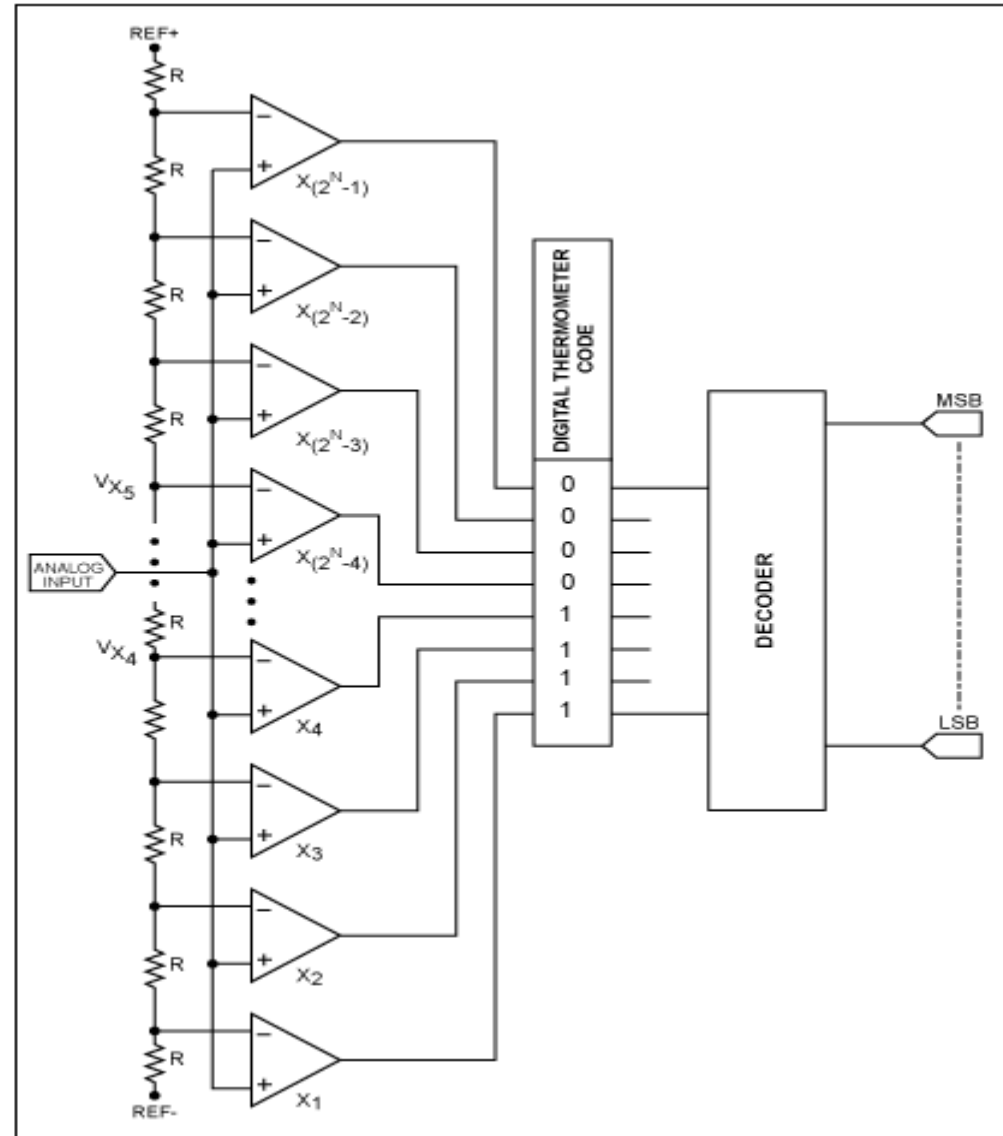


L' Oscilloscopio Digitale: ADC utilizzati



Schema di massima

- ❑ Rete di 2^N resistenze
- ❑ $2^N - 1$ Comparatori
- ❑ Uscita dei comp.: codice termometrico (gli "1" si comportano similmente alla colonnina di mercurio di un termometro)
- ❑ Decoder da codice termometrico a 2^N bit a codice a N bit



L' Oscilloscopio Digitale: ADC utilizzati

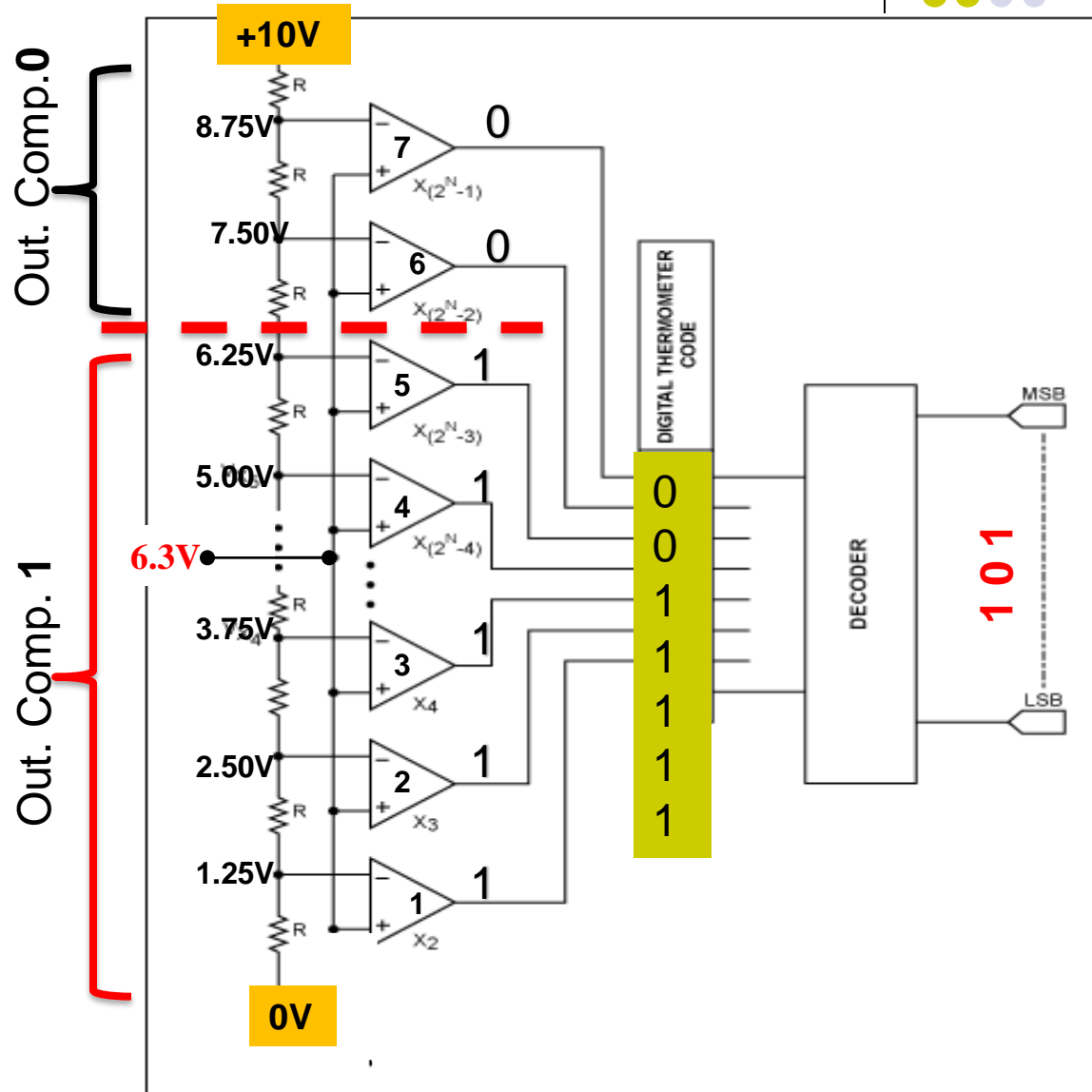


Esempio:

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

Legge di decodifica

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



L' Oscilloscopio Digitale: ADC utilizzati

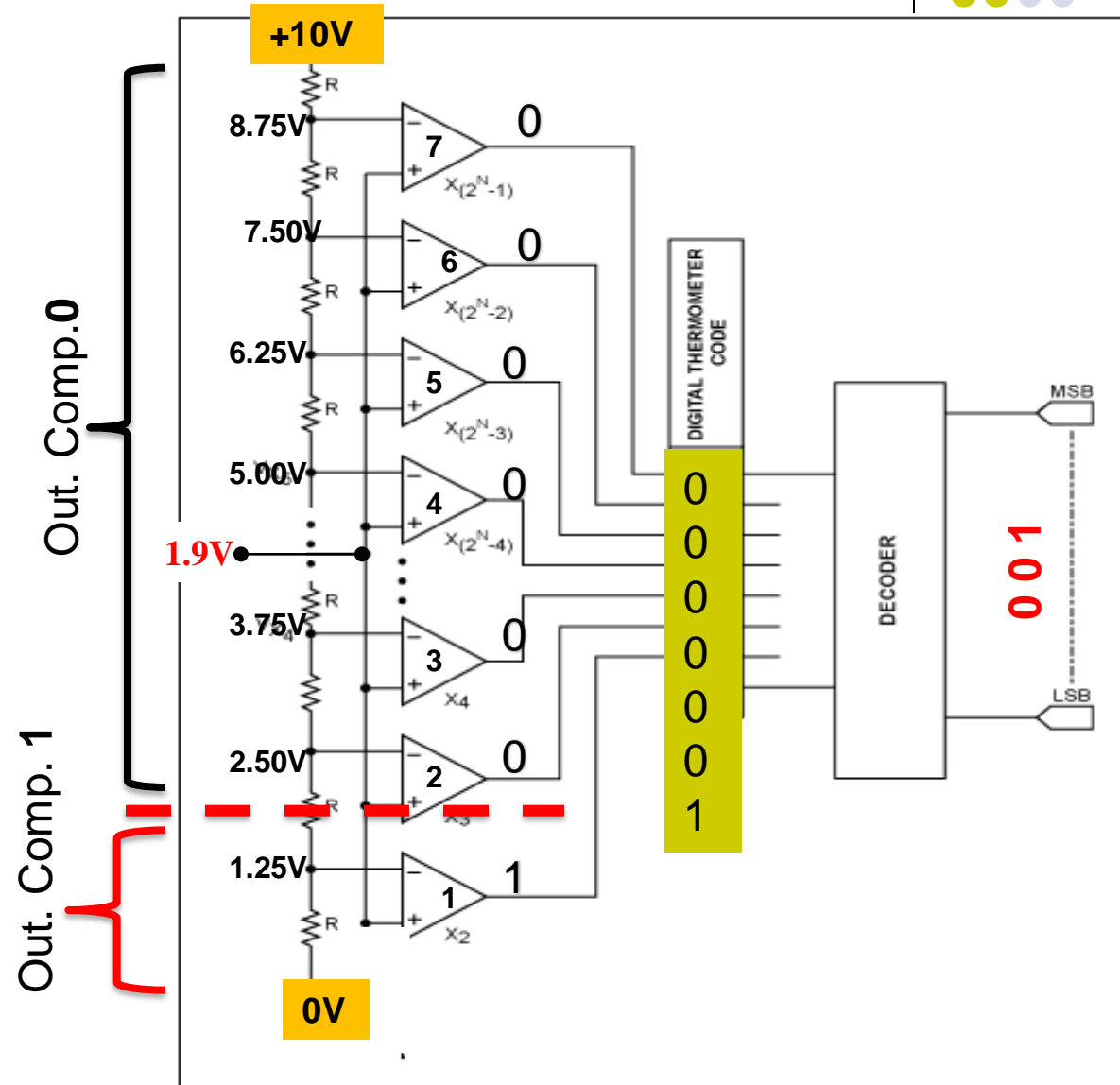


Esempio:

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

Legge di decodifica

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



L' Oscilloscopio Digitale: ADC utilizzati

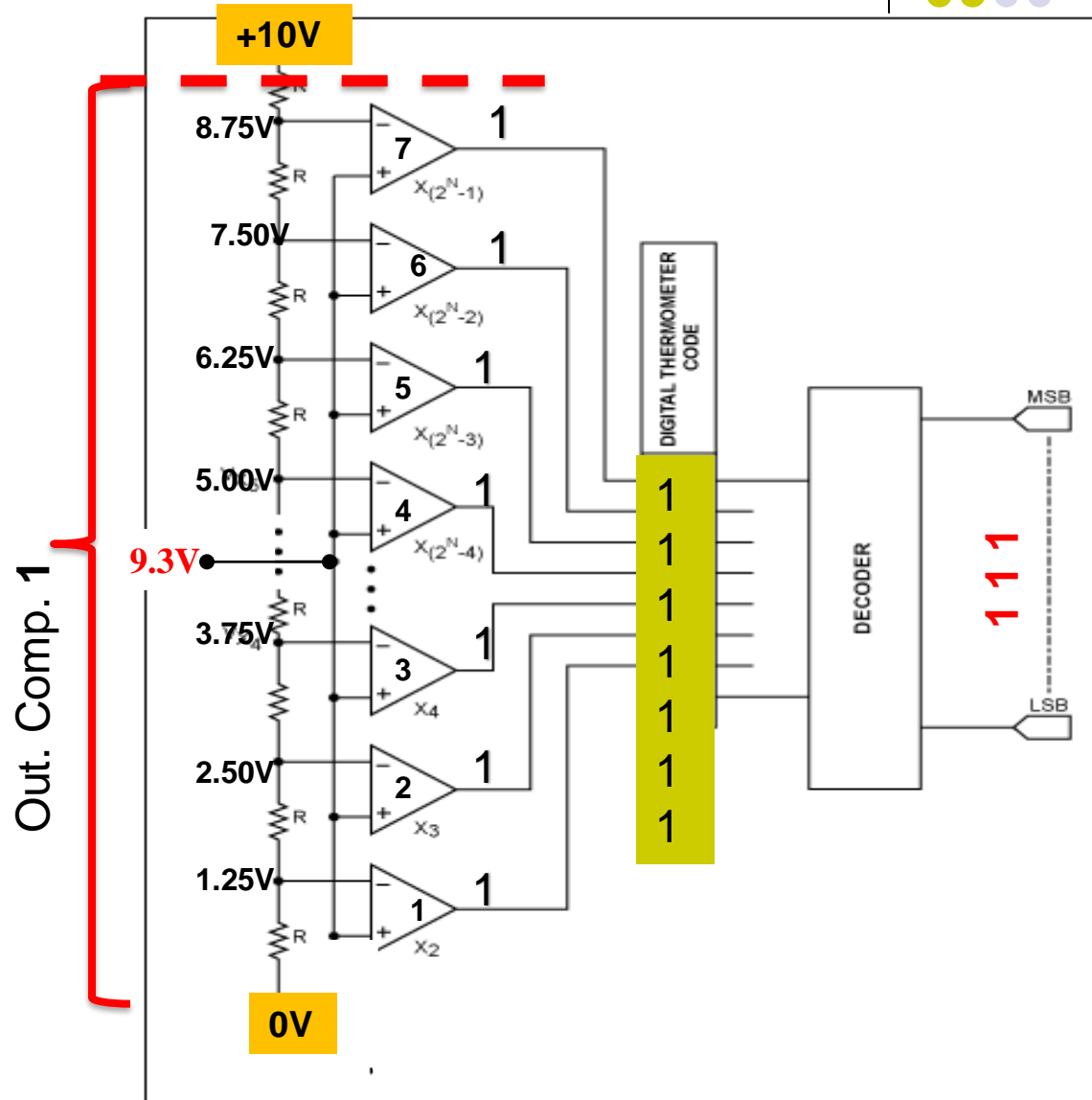


Esempio:

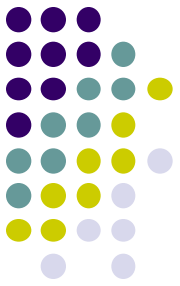
- ❑ $Ref^+ = 10V$
- ❑ $Ref^- = 0V$
- ❑ $N=3 \rightarrow 7$ comp
- ❑ 8 resistenze
- ❑ $V_{in}=9.3V$

Legge di decodifica

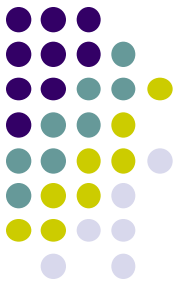
0000000	⇔	000
0000001	⇔	001
0000011	⇔	010
0000111	⇔	011
0001111	⇔	100
0011111	⇔	101
0111111	⇔	110
1111111	⇔	111



L' Oscilloscopio Digitale: ADC utilizzati

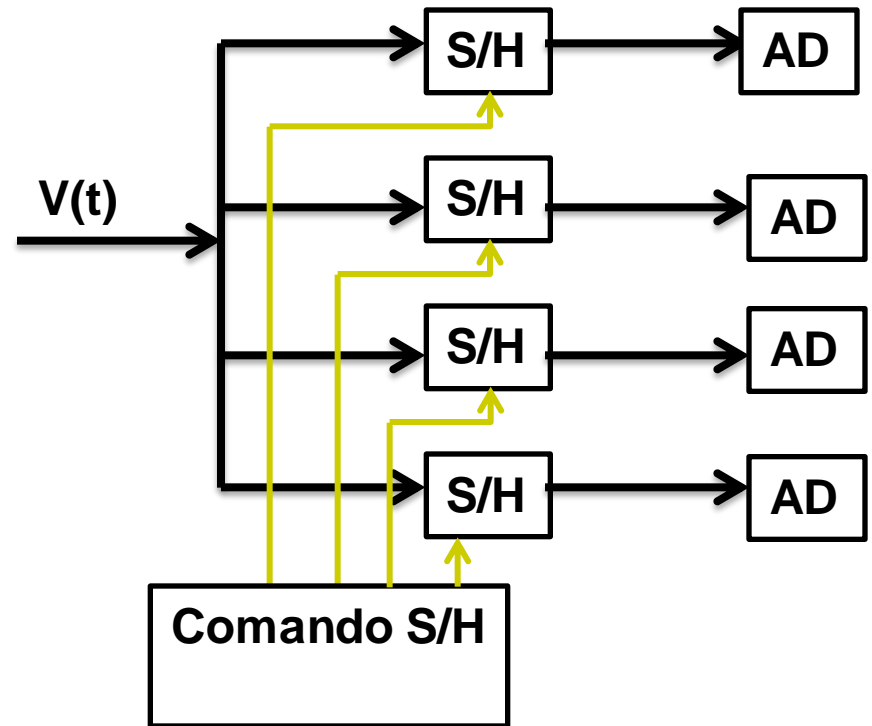


- ❑ L'elevata velocità di conversione è possibile grazie al confronto simultaneo dell'ingresso analogico con i livelli di tensione ai nodi del partitore resistivo
- ❑ La velocità di conversione è di $100 \div 1000$ Msample/s
- ❑ La risoluzione è limitata dal fatto che, per esempio, un convertitore a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



L' Oscilloscopio Digitale

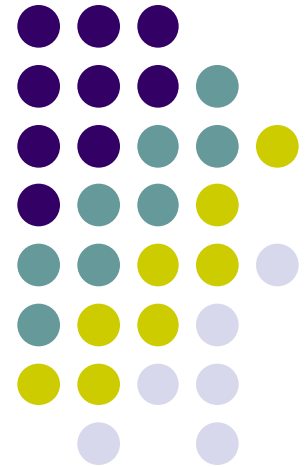
- ❑ La tendenza attuale è quella di avere più sistemi S/H + AD in parallelo comandati in sequenza
- ❑ Nella figura accanto la velocità complessiva è 4 volte quella della singola coppia S/H + AD ottenendo velocità di conversione superiori di 1GS/s



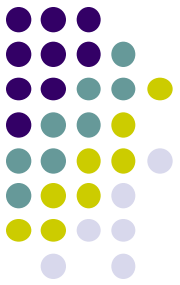
Sistemi Elettronici

Tecnologie e Misure

L'incertezza di lettura in sistemi analogici



Incertezza di lettura

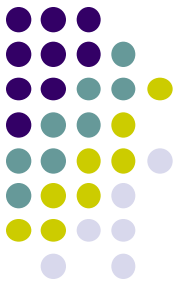


Le strumentazioni digitali risultano di più facile lettura ed utilizzo

Che ore sono?



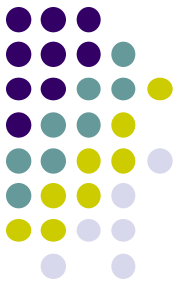
Incertezza di lettura



Negli strumenti ad indicazione analogica il risultato della misura è fornito dalla lettura della deviazione di un indice materiale o luminoso che si muove su una scala graduata, la deviazione dell'indice è una funzione continua della grandezza misurata.

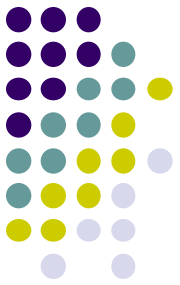
Che ore sono?





Incertezza di lettura

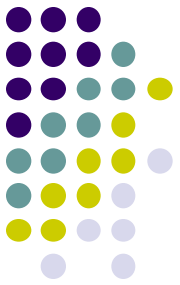
- ❑ Le scale analogiche offrono una informazione di misura relativa ad una variabile continua
- ❑ L'indicazione di lettura è discontinua a causa del limitato potere risolvante dell'occhio che è di circa 0.1mm a 25-30 cm di distanza (chiamata distanza di accomodamento alla quale si legge senza affaticarsi)



Incertezza di lettura

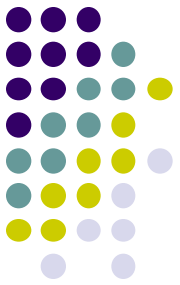
- ❑ Tra i fattori che possono influenzare il risultato di una misura abbiamo:
 - ❑ Errore di parallasse: erroneo allineamento dell'osservatore con l'indice mobile e la scala graduata
 - ❑ Spessore dell'indice mobile e dei tratti di graduazione dello strumento

Incertezza di lettura



Errore di parallasse: per ridurlo occorre ricercare un allineamento visivo ottimale utilizzando l'immagine riflessa dallo specchio presente sulla scala graduata. La lettura corretta si ottiene solo quando, guardando la scala, l'indice e l'immagine sullo specchio risultano allineati

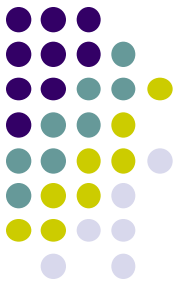




Incertezza di lettura

Spessore dell'indice mobile e dei tratti di graduazione dello strumento: per convenzione lo spessore dell'indice è di $1/2$, $1/5$, $1/10$ della unità di formato.

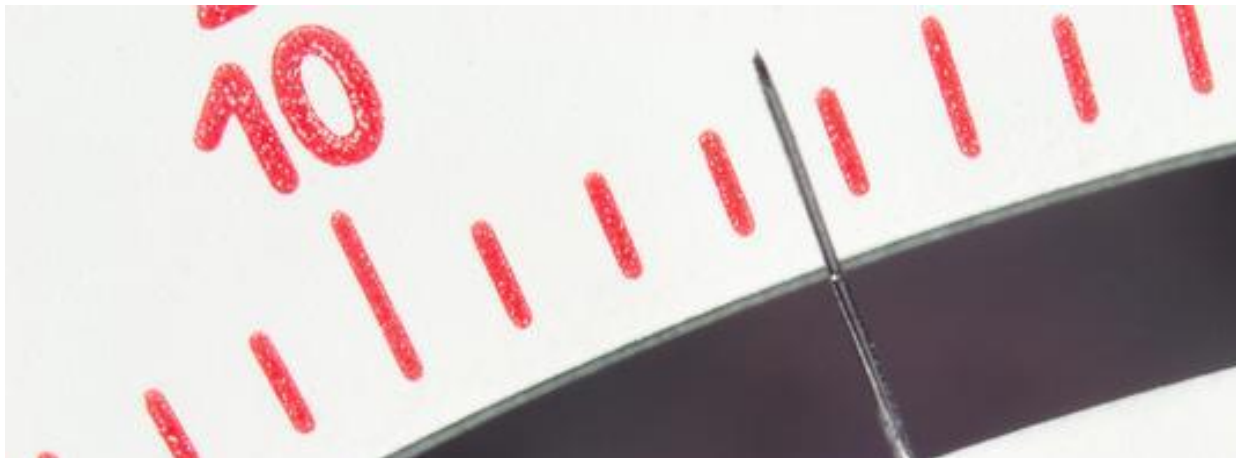
L'incertezza di lettura è una frazione dell'unità di formato e viene valutata dall'operatore in base alla propria esperienza e allo spessore dell'indice: per convenzione lo spessore dell'indice definisce anche il valore dell'incertezza di lettura

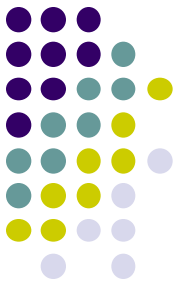


Incertezza di lettura

Nell'immagine lo spessore dell'indice è circa uguale a quello dei tratti che delimitano le divisioni

In questo caso lo spessore dell'indice è pari ad $1/10$

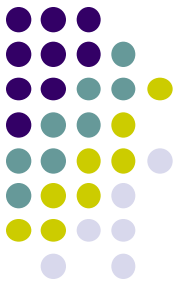




Incertezza di lettura

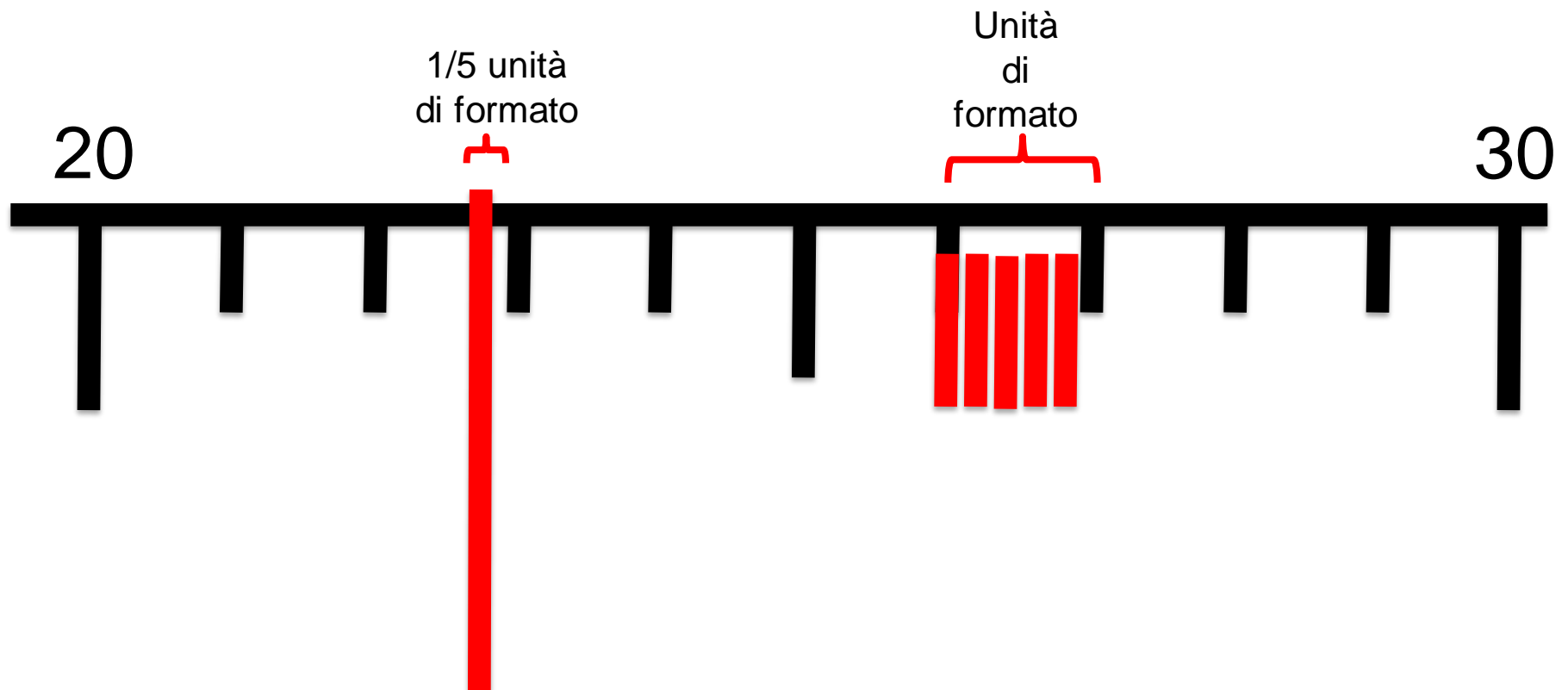
In questo caso lo spessore dell'indice è pari ad $1/5$

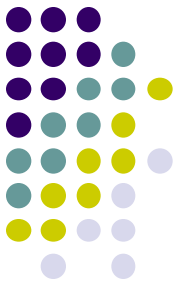




Incertezza di lettura

Esempio: unità di formato 1, indicatore spessore $1/5$ unità di formato

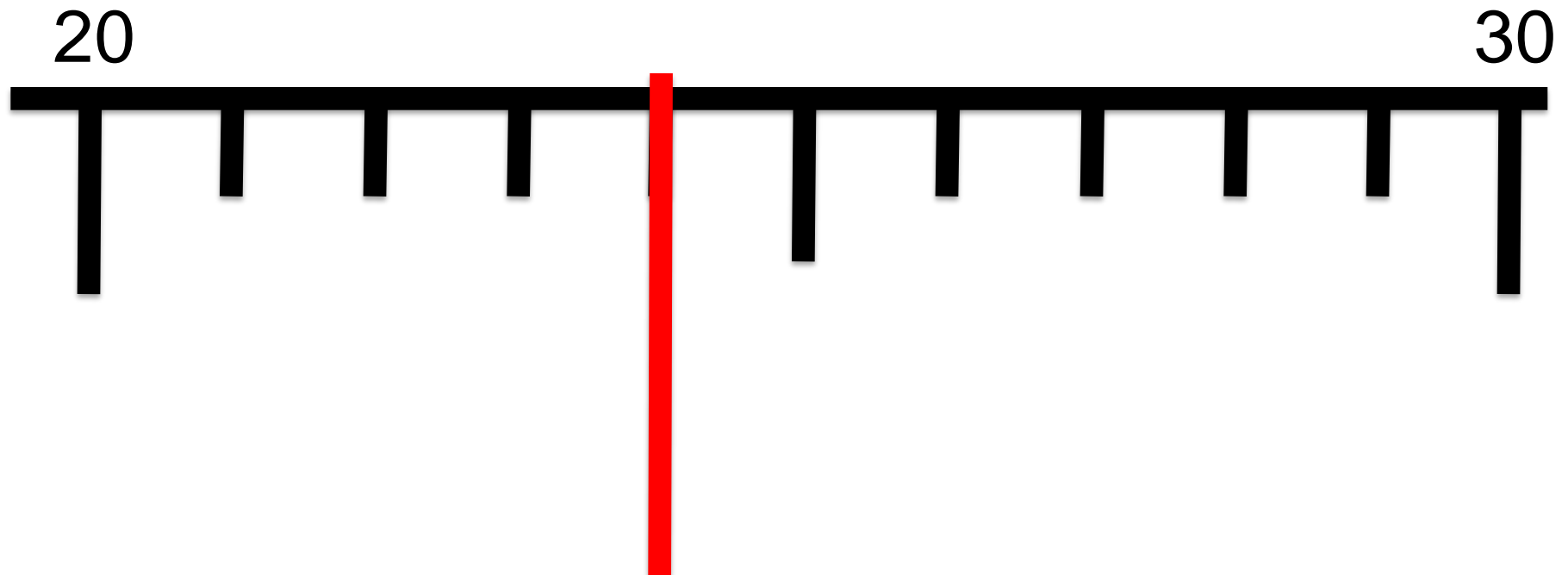


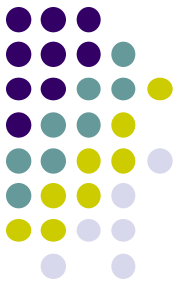


Incertezza di lettura

Esempio: unità di formato 1, indicatore spessore
1/10 unità di formato

LETTURA: 24.0

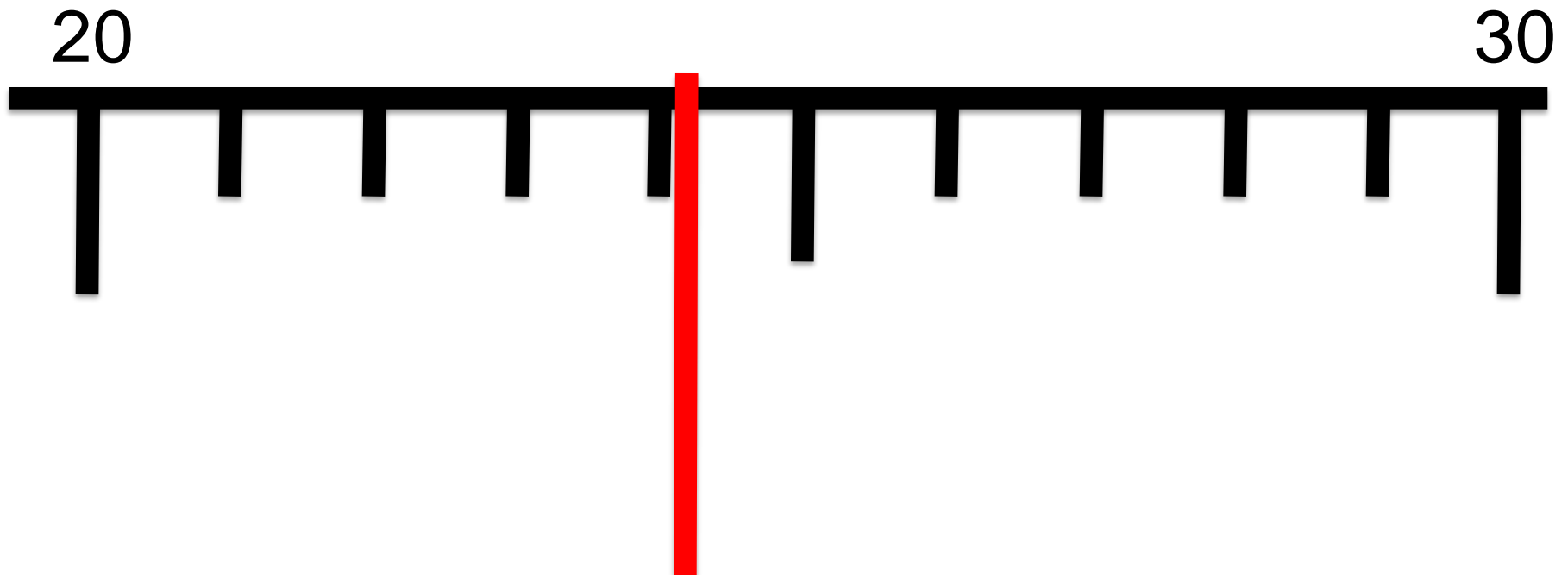


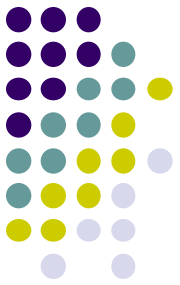


Incertezza di lettura

Esempio: unità di formato 1, indicatore spessore
1/10 unità di formato

LETTURA: 24.2

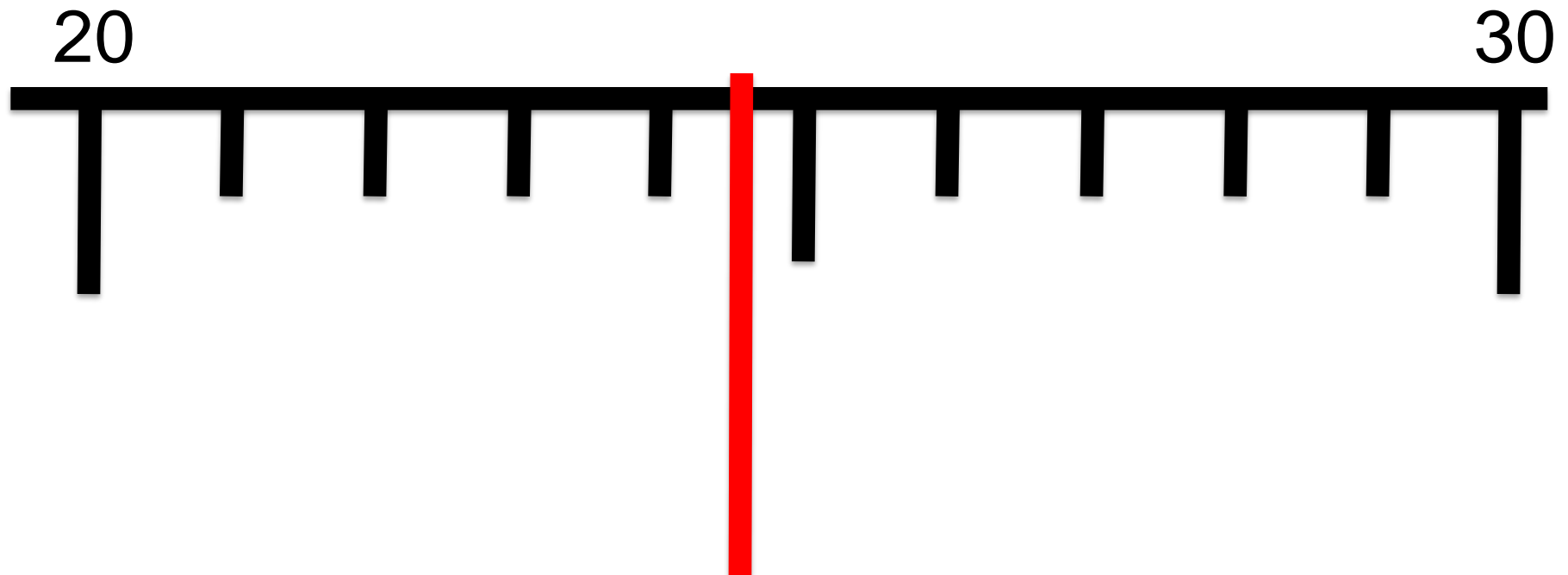


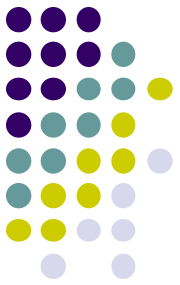


Incertezza di lettura

Esempio: unità di formato 1, indicatore spessore
1/10 unità di formato

LETTURA: 24.6

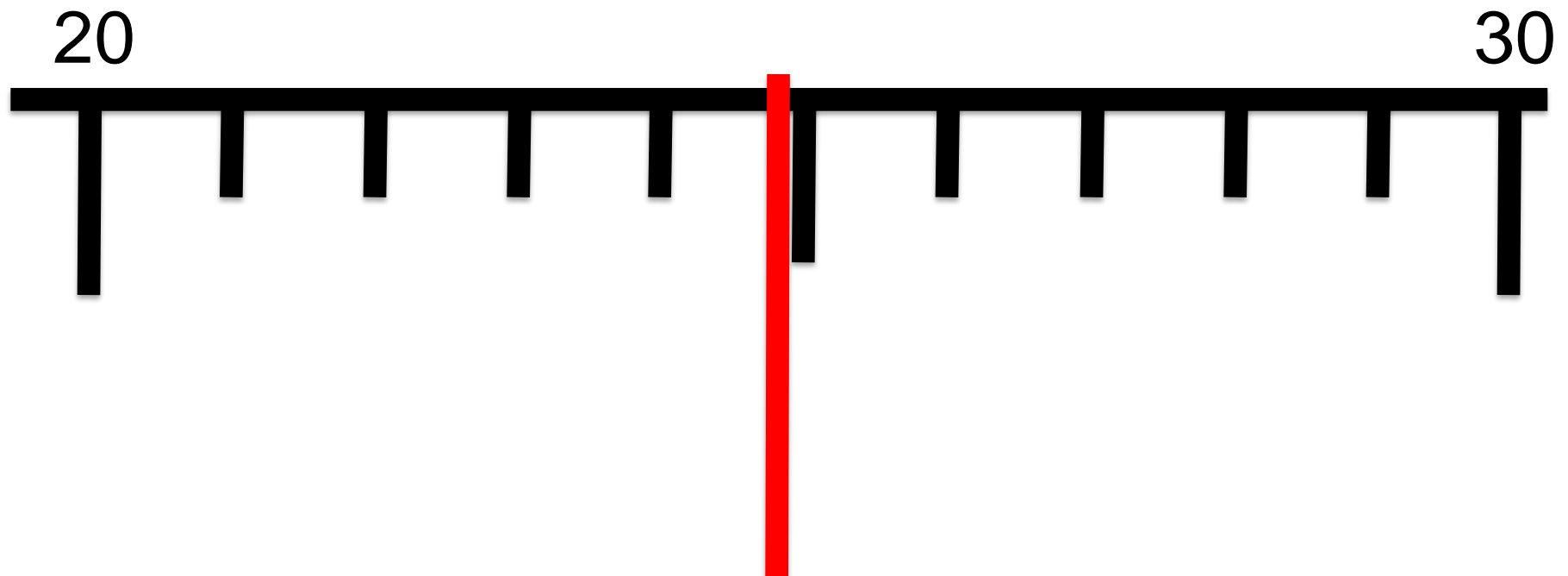


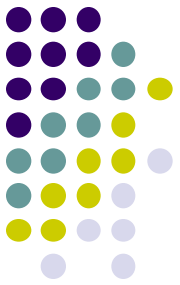


Incertezza di lettura

Esempio: unità di formato 1, indicatore spessore
1/10 unità di formato

LETTURA: 24.8

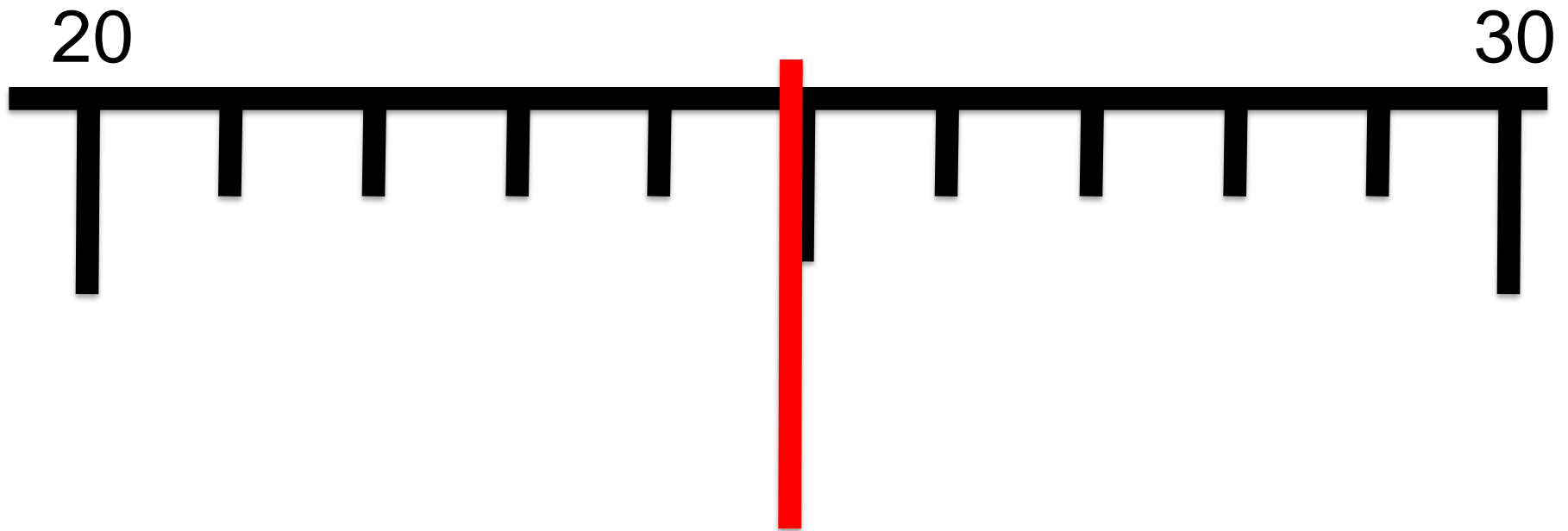


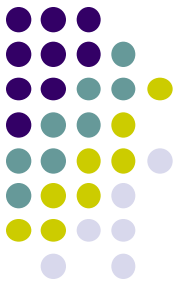


Incertezza di lettura

Esempio: unità di formato 1, indicatore spessore
1/10 unità di formato

LETTURA: 24.9





Incertezza di lettura

Esempio: unità di formato 1, indicatore spessore
1/5 unità di formato

LETTURA: 24.0

