

CARATTERISTICHE DEI CONVERTITORI A/D

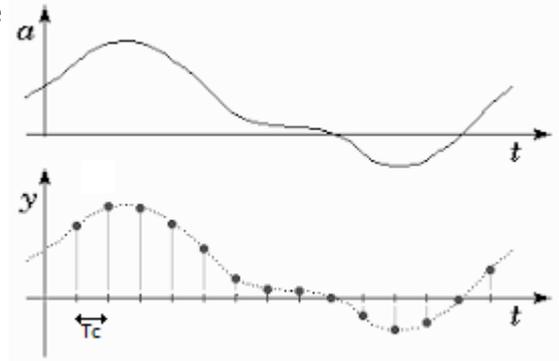
(1^aparte)

Vantaggi si utilizzano nell'elaborazione dei segnali informatica digitale e gestiti da un computer che consente rispetto a quella interamente analogica:

- maggiore flessibilità nel leggere i risultati delle misure
- maggiore semplicità di memorizzazione dei dati
- maggiore immunità ai disturbi

Prima, però rivediamo alcuni concetti fondamentali:

Campionamento: prelevare in determinati istanti una serie di valori (di solito a intervalli di tempo uguali) della grandezza analogica da acquisire.



La scelta del tempo di campionamento T_c , deve garantire una adeguata ricostruzione del segnale analogico, per cui è chiaro che più campioni vengono presi più accurata sarà la ricostruzione. Per contro una frequenza di campionamento troppo bassa può portare a una perdita del contenuto informativo o produrre il dannoso fenomeno dell'aliasing.

Ecco perché si stabilisce come frequenza di campionamento f_c di un segnale analogico una frequenza maggiore del doppio di quella della componente di frequenza più elevata per evitare di perdere informazioni fra due successivi istanti di campionamento (**ALIASING**)

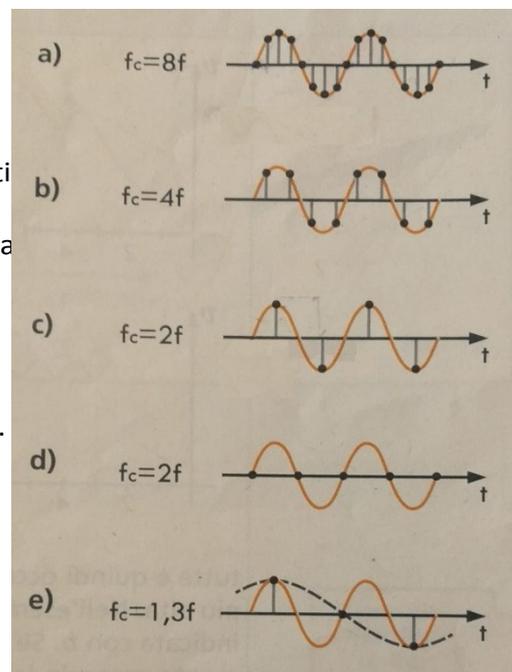
TEOREMA DI SHANNON $f_c > 2f_m$

Sia nel caso a) che b) è possibile ricostruire con una certa accuratezza.

Nel caso c) e d) la situazione risulta ambigua perché se i punti di campionamento fossero presi negli istanti in cui l'onda sinusoidale passa per lo zero piuttosto che in corrispondenza dei picchi, si avrebbe la perdita delle informazioni

Il caso e) mostra la situazione per la quale $f_c < 2f_m$ e il risultato nella ricostruzione è una sinusoide con una frequenza più bassa, cioè segnale falsificato (aliased).

Se poi alcune frequenze del segnale che vogliamo convertire non interessano basta mettere un filtro passa basso (detto anche di antialiasing) prima dell'ADC.



Per molte applicazioni audio digitali, ad esempio, per le quali la banda di frequenza si estende da 16 Hz a 20 kHz circa, si usano normalmente due frequenze di campionamento: 44,1 kHz per lo standard commerciale e 48 kHz per quello professionale.

In **figura 9** sono mostrate le frequenze di campionamento usate nelle più note applicazioni.

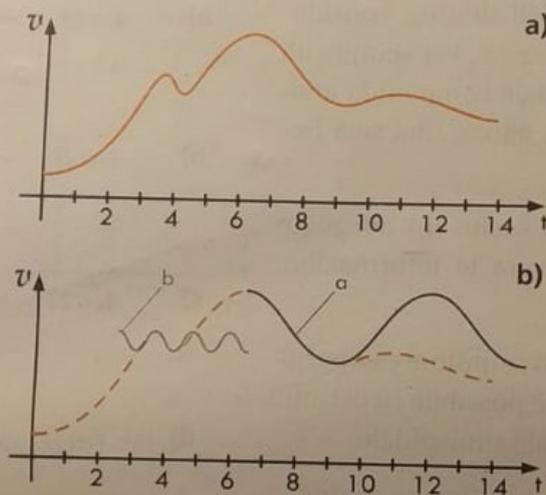
Fig. 9

Qualità audio	Frequenza	Risoluzione	Canali	Dimensione file (per 1 minuto)
qualità CD	44 100 Hz	16 bit	stereo	10 584 000 byte (10,094 MB)
qualità radio	22 050 Hz	8 bit	mono	1,323 Mb
qualità telefonica	11 025 Hz	8 bit	mono	661,5 kb

Applicazione

- Determina la frequenza di campionamento da applicare al segnale di **figura 10a** per non perdere le informazioni contenute anche nelle frequenze più elevate.

Fig. 10

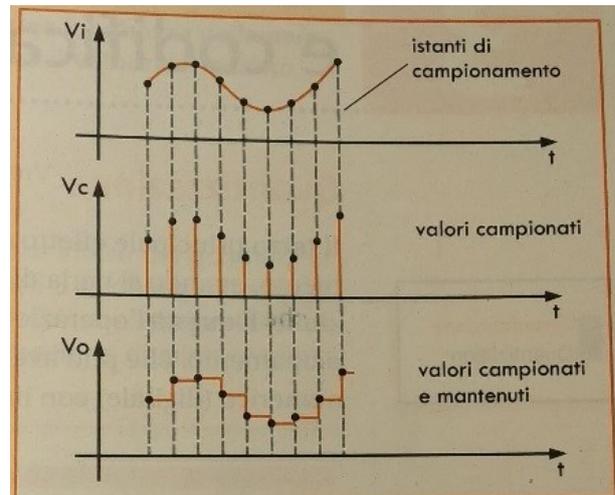


Occorre immaginare il segnale come composto dalla somma di più segnali sinusoidali di ampiezze e frequenze diverse, ciascuno dei quali costituisce una parte dell'informazione. Su questa base, qualsiasi ondulazione del segnale deve essere vista come una parte di uno di questi segnali sinusoidali. Ad esempio, nella **figura 10b** sono mostrate due possibili ricostruzioni di due parti del segnale originario. Nell'ipotesi che non si voglia perdere il contenuto informativo associato a ciascuna delle sinusoidi, occorre campionarle

tutte e quindi occorre operare ad una frequenza maggiore del doppio di quella più alta. Nell'esempio di **figura 10b** la sinusoida di frequenza maggiore è quella indicata con *b*. Se T_{min} è il suo periodo, allora si ricava la frequenza di campionamento secondo la nota relazione: $f_c > 2 \cdot f_M$, dove $f_M = 1/T_{min}$.

MANTENIMENTO (HOLDING)

Quando i segnali da convertire variano velocemente, non basta da sola una elevata frequenza di campionamento, occorre che il segnale analogico rimanga costante, o al più vari di poco, durante il tempo necessario alla sua digitalizzazione e occorre il Sample & Hold che mantiene costante il valore del segnale campionato fino ad aggiornarlo al campione successivo.

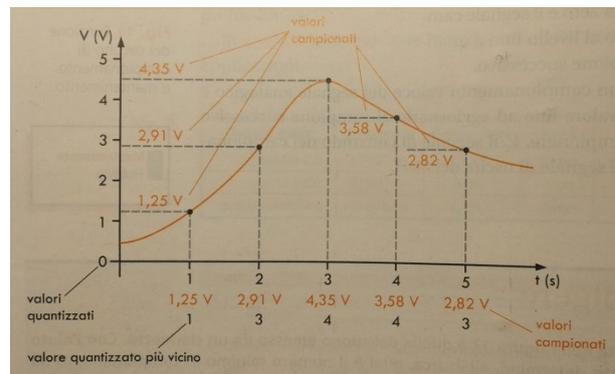


QUANTIZZAZIONE

Si intende quella operazione con la quale alla grandezza ottenuta dal campionamento, che può avere un valore qualsiasi, si associa un valore numerico digitale con limitato numero di cifre.

In figura i valori campionati vengono arrotondati all'intero più vicino. Questo è quello che succederebbe se avessimo un voltmetro digitale a una sola cifra per misurare i campioni.

Si definisce **quanto Q** la distanza tra un valore discreto di quantizzazione e quello contiguo. L'ampiezza del quanto è $Q = V_{fs}/2^n$ e a volte è indicato come una misura della risoluzione. Normalmente, però, la risoluzione è il numero n di bit del codice digitale di uscita.



- Un convertitore A/D ha una tensione $V_{RIF} = 5,120 \text{ V}$ e una lunghezza della parola, per la rappresentazione d'uscita, di 8 bit. Determina il valore del quanto.

Applicando la [2] otteniamo:

$$Q = \frac{V_{RIF}}{2^n} = \frac{5,120}{2^8} = \frac{5,120}{256} = 20 \text{ mV}$$

Come si vede, un riferimento di 5,120 V produce un valore intero del quanto. Per questo motivo viene spesso utilizzato al posto degli usuali 5 V, obbligando, qualche volta, ad alimentare anche i circuiti logici a 5,120 V. Ciò non comporta alcun problema né per i CMOS né per i TTL, dato che la loro tensione di alimentazione può oscillare di $\pm 5\%$ intorno ai 5 V.

Applicazione

- Determina quanti bit occorrono per dividere 10 V in intervalli di 0,01 V.
 - a) Se si dividono 10 V in intervalli di 0,01 V si ottengono 1000 valori.
 - b) Occorre pensare ad una potenza del 2 che sia maggiore di 1000.
 - c) La più piccola potenza del 2 che risulta maggiore di 1000 è 2^{10} (uguale a 1024).
 - d) Questo significa che per rappresentare 1000 valori diversi occorrono 10 bit.

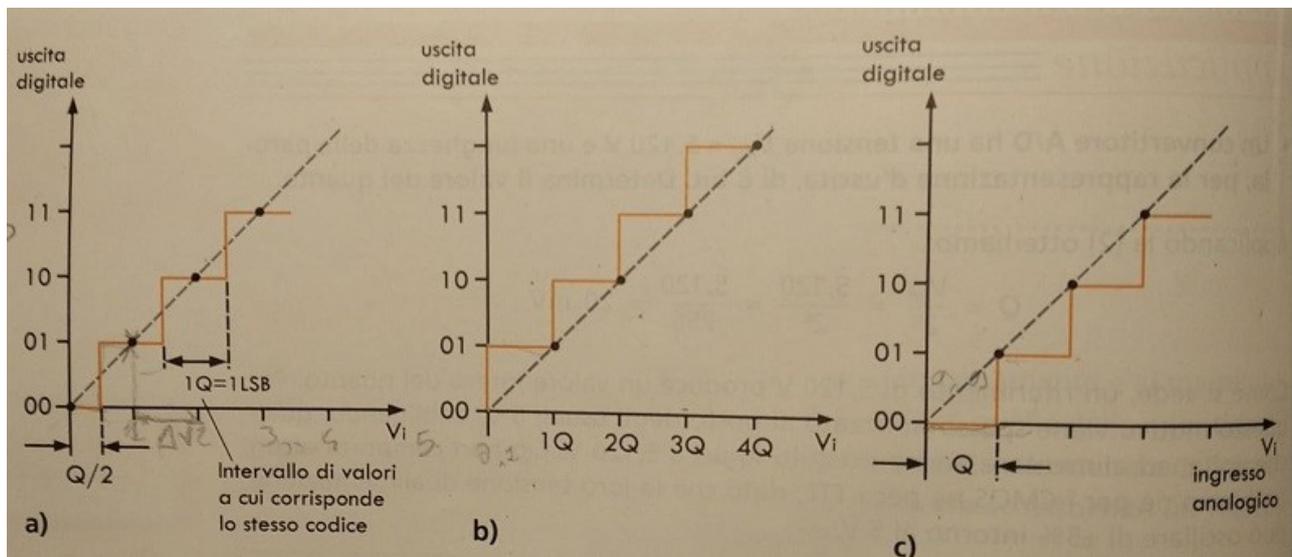
Il bit più significativo della combinazione binaria di uscita di un ADC viene indicato **MSB** (Most Significant Bit) e quello meno significativo con **LSB** (Least Significant Bit). E' ovvio dunque che per far cambiare il solo bit meno significativo della parola di uscita è necessario che la grandezza di ingresso cambi di un quanto.

Per **RISOLUZIONE** di un convertitore A/D si intende in genere la più piccola variazione della tensione di ingresso che può provocare la modifica del bit meno significativo LSB e si capisce quindi come ciò dipende dal numero di bit.

L' **errore di quantizzazione** è la differenza tra il valore nominale di un dato intervallo di quantizzazione e il valore effettivo di un livello analogico attribuito a tale intervallo.

L' errore di quantizzazione non può mai essere eliminato. Può essere ridotto aumentando il numero di bit della parola, ma non potrà mai superare la metà dell'ampiezza di un intervallo ($\pm 1/2$ LSB)

La seguente figura mette a confronto tre convertitori con tre diversi errori di quantizzazione



Nella figura a) il valore discreto cambia quando quello analogico supera la metà del quanto e pertanto viene arrotondato al livello/ intero più vicino. L'errore è pari a $\pm 1/2 Q = \pm 1/2$ LSB

Nella figura b) l'errore di quantizzazione massimo è pari a +Q mentre nel caso c) è pari a -Q

CORRISPONDENZA TRA IL NUMERO DI BIT ES ERRORE DI QUANTIZZAZIONE

Numero di bit n	Numero di livelli 2^n	Peso del LSB (%) $100/2^n$
8	256	0,4
10	1024	0,1
12	4096	0,025
14	16384	0,006
16	65536	0,0015
18	262144	0,0004
20	1048576	0,0001
22	4194304	0,000024
24	16777216	0,000006

$V_{FS} \cdot 100 = Q \cdot X \quad X = \frac{100 \cdot Q}{V_{FS}} = \frac{100}{V_{FS}} \left(Q = \frac{V_{FS}}{2^m} \right) = \frac{100}{2^m}$

Fig. 15
Corrispondenza tra numero di bit ed errore di quantizzazione.

CODIFICA

Consiste nell'assegnare a un dato valore analogico (campionato, mantenuto e quantizzato) un valore numerico espresso in un determinato codice. Quello più usato è quello binario naturale costituito dai coefficienti b_{n-1}, \dots, b_0 (i bit della parola di uscita del convertitore).

E l'espressione per calcolare la tensione di uscita corrispondente ai bit della parola di uscita del convertitore è:

$$V_O = V_{RIF} \left(\frac{b_{n-1}}{2} + \frac{b_{n-2}}{4} + \frac{b_{n-3}}{8} + \dots + \frac{b_0}{2^n} \right)$$

Applicazione

- Un convertitore A/D ha una tensione di fondo scala (di riferimento) pari a 5 V. Determina il valore della tensione d'ingresso se la parola di uscita è 1010.

Il valore frazionale della parola può essere calcolato con la [3] considerando che i quattro bit che la compongono valgono $b_3 = 1, b_2 = 0, b_1 = 1, b_0 = 0$:

$$\begin{aligned}
 b_3 \cdot 2^{-1} + b_2 \cdot 2^{-2} + b_1 \cdot 2^{-3} + b_0 \cdot 2^{-4} &= 1 \cdot \frac{1}{2} + 0 \cdot \frac{1}{4} + 1 \cdot \frac{1}{8} + 0 \cdot \frac{1}{16} = \\
 &= 0,5 + 0 + 0,125 + 0 = 0,625
 \end{aligned}$$

Moltiplicando il valore così ottenuto per quello di riferimento, otteniamo la corrispondente tensione analogica del segnale d'ingresso:

$$s = 0,625 \cdot 5 = 3,125 \text{ V}$$