

Conversione Analogico/Digitale dei Segnali

Perché sistemi digitali?

I segnali relativi alle grandezze che consideriamo normalmente sono tutti **segnali analogici**, ovvero segnali che, come le funzioni analitiche con cui operiamo nell'ambito della matematica, variano con continuità in un opportuno range delle uscite (continuità del codominio) e sono definite per ogni valore dell'ingresso (continuità del dominio).

Lo sviluppo della tecnologia digitale ha fatto sì che ci fosse una migrazione di moltissimi campi verso il mondo digitale:

- Musica
- Telefonia
- Fotografia
- Televisione

Anche il settore delle misure, in questo decennio, ha compiuto una migrazione verso il mondo digitale.

Vantaggi dei sistemi digitali

I segnali trattati in modo digitale offrono molti vantaggi rispetto ai corrispondenti segnali analogici. I principali vantaggi sono:

- facilità di manipolazione, trasmissione, registrazione, riproduzione;
- elevata insensibilità ai disturbi;
- bassa incertezza con costi relativamente contenuti
- compatibilità intrinseca coi sistemi di calcolo
- flessibilità (configurazione del sistema programmabile)

Passaggio dal mondo analogico a quello digitale

La conversione dei segnali da un **mondo analogico** (grandezze fisiche) che è per sua natura **continuo** ad un **mondo digitale** (numeri) che invece è **discreto**, per i segnali provenienti da catene di misura, prevede due diverse fasi con due differenti problematiche:

- quantizzazione
- campionamento

Immaginando un segnale analogico come una funzione tracciata in un piano cartesiano, l'operazione di quantizzazione consiste nella discretizzazione dell'asse delle ordinate (uscita/lettura del trasduttore), mentre il campionamento consiste nella discretizzazione dell'asse delle ascisse (tempo).

Quantizzazione - Discretizzazione

La quantizzazione (o discretizzazione del segnale) consiste nel suddividere e raggruppare il range di variabilità della grandezza in un numero finito di stati discreti.

Ad ogni stato diverso corrisponde poi una codifica che solitamente si basa su un sistema binario. Per questo motivo comunemente il numero di stati distinti sono una potenza di 2; se n è il numero di bit con cui viene codificata l'informazione relativa allo stato allora il numero di stati sarà:

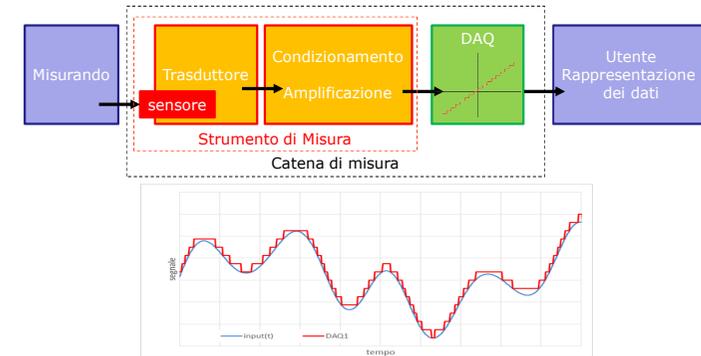
$$\text{numero livelli} = 2^{\text{numero di bit}}$$

Per esempio si potrebbe avere:

n. bit	n. livelli
8	256
10	1024
16	65536

Quantizzazione - Discretizzazione

L'effetto del convertitore Analogico/Digitale (DAQ) è quello di introdurre una *variazione a gradini* del segnale. Il numero di gradini è definito dal numero di bit del convertitore



Risoluzione

L'ampiezza dei gradini in cui viene suddiviso il range di variabilità della grandezza da convertire dipende da due parametri:

- il numero di livelli distinti (funzione del numero di bit)
- il valore del fondoscala

L'ampiezza dei gradini corrisponde alla risoluzione del convertitore A/D ed è corrispondente a:

$$\Delta V_{ris} = \frac{V_{max} - V_{min}}{2^n \text{ bit}}$$

Risoluzione

L'ampiezza dei gradini in cui viene suddiviso il range di variabilità della grandezza da convertire dipende da due parametri:

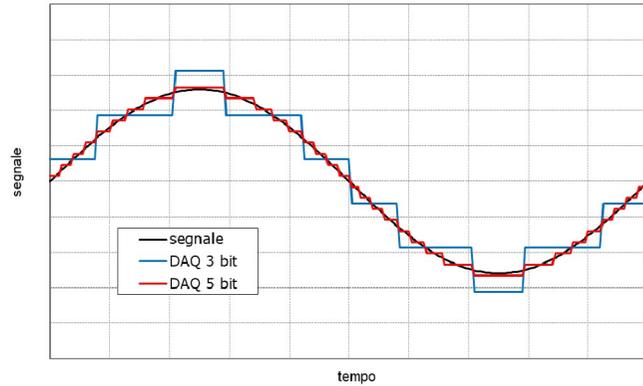
- il numero di livelli distinti (funzione del numero di bit)
- il valore del fondoscala

L'ampiezza dei gradini corrisponde alla risoluzione del convertitore A/D ed è corrispondente a:

$$\Delta V_{ris} = \frac{V_{max} - V_{min}}{2^n \text{ bit}}$$

Risoluzione

$$\Delta V_{ris} = \frac{V_{max} - V_{min}}{2^n \text{ bit}}$$



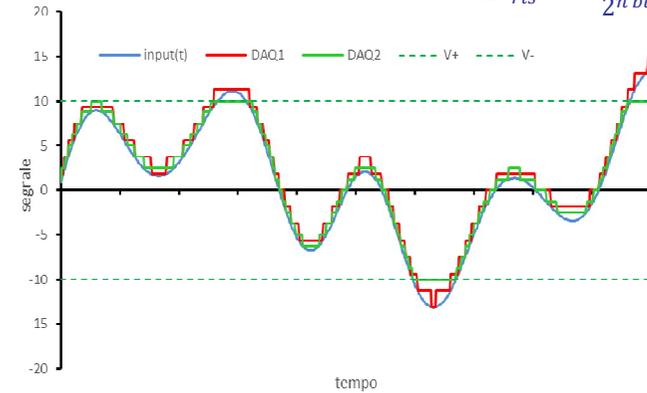
Laboratorio di Misura delle Vibrazioni

Conversione A/D dei segnali

pag. 9

Saturazione

$$\Delta V_{ris} = \frac{V_{max} - V_{min}}{2^n \text{ bit}}$$



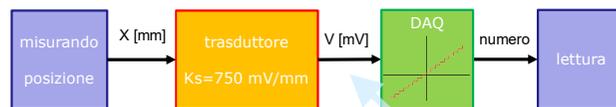
Laboratorio di Misura delle Vibrazioni

Conversione A/D dei segnali

pag. 10

Risoluzione - esempio

Si consideri un trasduttore di posizione con una sensibilità statica di $k_s = 750 \text{ mV/mm}$ ed una corsa totale di $\pm 12.5 \text{ mm}$.



In corrispondenza degli estremi della corsa la tensione di uscita del trasduttore sarà di $\pm 9375 \text{ mV}$.

Si colleghi all'uscita elettrica del trasduttore un DAQ a 12 bit di risoluzione con fondoscala $\pm 10 \text{ V}$.

Si avrà una **risoluzione in lettura** pari a $\Delta V_{ris} = \frac{V_{max} - V_{min}}{2^n \text{ bit}} = 4.88 \text{ mV}$

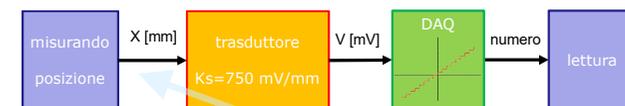
Laboratorio di Misura delle Vibrazioni

Conversione A/D dei segnali

pag. 11

Risoluzione - esempio

Tuttavia è di interesse conoscere il valore di **risoluzione in misura**, ovvero la minima variazione di posizione che la catena di misura proposta consente di apprezzare.



La relazione che esiste fra x e V è del tipo $V = k_s \cdot x$ e dunque si avrà:

$$\Delta x_{min} = \frac{\Delta V_{ris}}{k_s} = \frac{4.88 \text{ mV}}{750 \text{ mV/mm}} = 0.0065 \text{ mm} = 6.5 \mu\text{m}$$

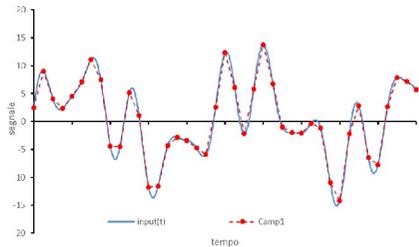
Laboratorio di Misura delle Vibrazioni

Conversione A/D dei segnali

pag. 12

Campionamento

Analogamente a quanto avviene per l'asse delle ordinate (grandezza da convertire) anche l'asse delle ascisse (tempo) deve essere discretizzato, cioè il segnale deve essere convertito in formato digitale in istanti distinti e discreti. Questa operazione prende il nome di **CAMPIONAMENTO**.



Se la conversione avviene ad un intervallo di tempo Δt allora si ha che la **frequenza di campionamento** è di:

$$f_{camp} = \frac{1}{\Delta t}$$

Campionamento

Evidentemente più sarà elevata la frequenza di campionamento tanto più saranno ravvicinati i punti e quindi la ricostruzione del segnale originario sarà molto fedele.

Tuttavia frequenza di campionamento elevata implica la necessità di memorizzare un numero elevato di valori relativi al segnale.

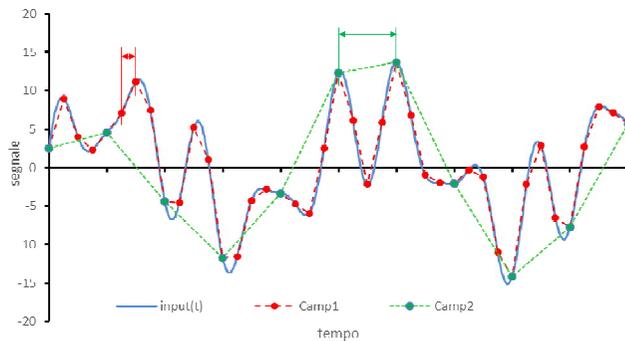
Per esempio se si campionasse ad una frequenza di 100Hz per un tempo pari a 5 minuti si avrebbero:

$$n. \text{ dati} = 100 \frac{\text{campioni}}{\text{s}} \cdot 5 \text{ min} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 30000 \text{ campioni}$$

A titolo di esempio un brano musicale normalmente viene campionato ad una frequenza di 44 kHz su due canali (stereo)

Campionamento

Fino a che punto si può ridurre la frequenza di campionamento?



E' evidente che la frequenza di campionamento non può essere ridotta a piacere.

Campionamento Teorema di Nyquist-Shannon

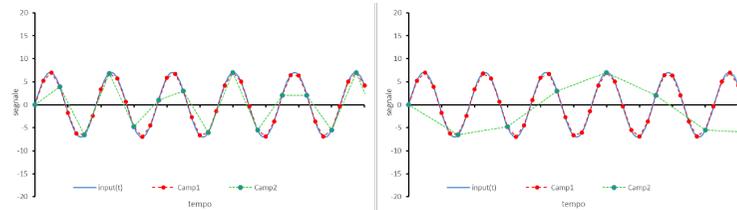
Il Teorema del Campionamento afferma che la frequenza di campionamento deve essere maggiore (o uguale) del doppio della frequenza massima del segnale:

$$f_{camp} \geq 2 \cdot f_{\max \text{ segnale}}$$

Si può pensare che un qualsiasi segnale sia composto dalla somma di numerose armoniche.

Aliasing

Se non si rispetta il teorema del campionamento allora il segnale non viene ricostruito correttamente una volta eseguita la conversione A/D.



Il problema che si manifesta è quello di riconoscere il segnale come un'armonica con una frequenza differente da quella che nella realtà possiede. Questo problema viene detto **ALIASING**.

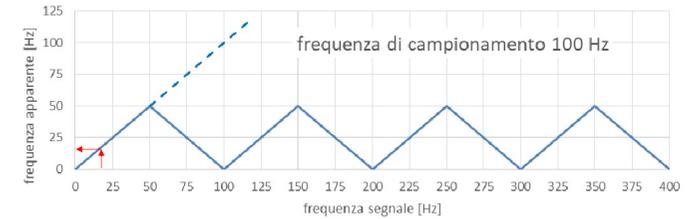
Laboratorio di Misura delle Vibrazioni

Conversione A/D dei segnali

pag. 17

Aliasing

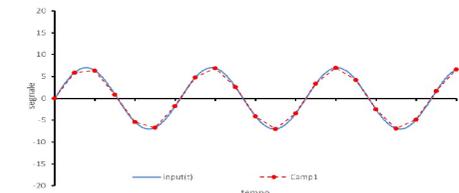
L'aliasing si presenta secondo questa modalità:



$$f_c = 100 \text{ Hz}$$

$$f_s = 16 \text{ Hz}$$

$$f_c \geq 2 f_s$$



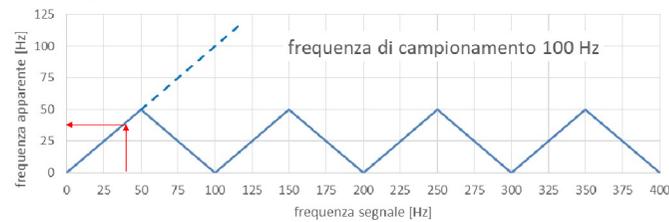
Laboratorio di Misura delle Vibrazioni

Conversione A/D dei segnali

pag. 18

Aliasing

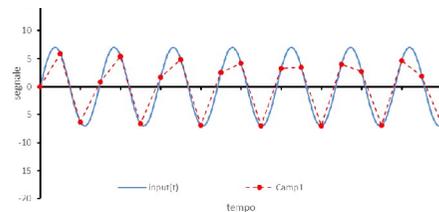
L'aliasing si presenta secondo questa modalità:



$$f_c = 100 \text{ Hz}$$

$$f_s = 34 \text{ Hz}$$

$$f_c \geq 2 f_s$$



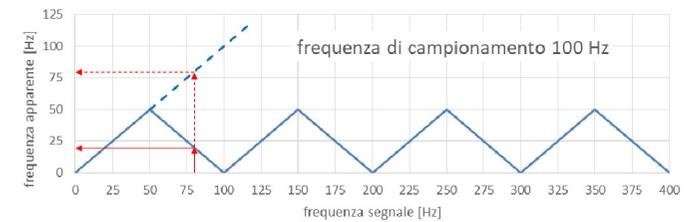
Laboratorio di Misura delle Vibrazioni

Conversione A/D dei segnali

pag. 19

Aliasing

L'aliasing si presenta secondo questa modalità:

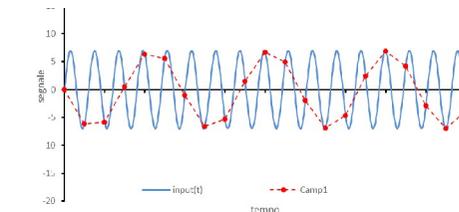


$$f_c = 100 \text{ Hz}$$

$$f_s = 83 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{apparente}} = 17 \text{ Hz}$$

~~$$f_c \geq 2 f_s$$~~



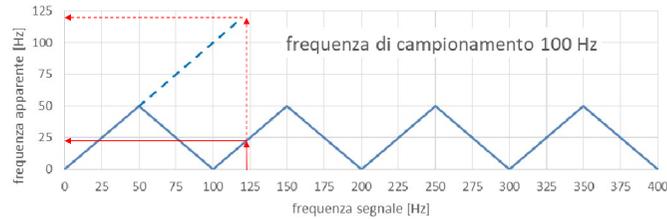
Laboratorio di Misura delle Vibrazioni

Conversione A/D dei segnali

pag. 20

Aliasing

L'aliasing si presenta secondo questa modalità:

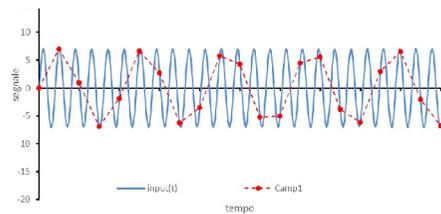


$$f_c = 100 \text{ Hz}$$

$$f_s = 124 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{apparente}} = 24 \text{ Hz}$$

~~$$f_c \geq 2 f_s$$~~



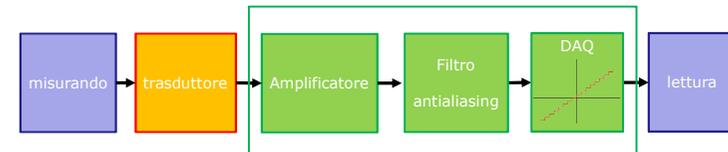
Laboratorio di Misura delle Vibrazioni

Conversione A/D dei segnali

pag. 21

Configurazione DAQ

Al fine di rendere il range dell'uscita del trasduttore compatibile con il range del DAQ solitamente si antepone alla conversione un amplificatore con questo compito.



In questo modo si supera il problema della **saturazione**.

Normalmente il guadagno dell'amplificatore è impostato via software nelle impostazioni del DAQ.

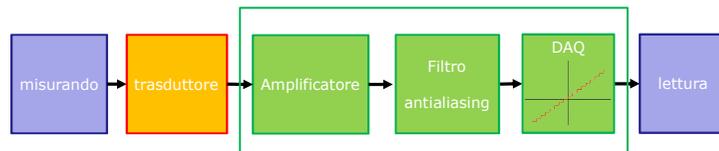
Laboratorio di Misura delle Vibrazioni

Conversione A/D dei segnali

pag. 22

Configurazione DAQ

Per non incorrere nel fenomeno dell'Aliasing è necessario eliminare dal segnale tutte le componenti con frequenza superiore alla metà della frequenza di campionamento che verrebbero acquisite come segnali errati.



Si antepone al modulo DAQ un **filtro analogico passa-basso** con frequenza di taglio pari a $f_c/2$.

La presenza del filtro antialiasing garantisce di non incorrere nel problema dell'aliasing, ma cancella parte del segnale.

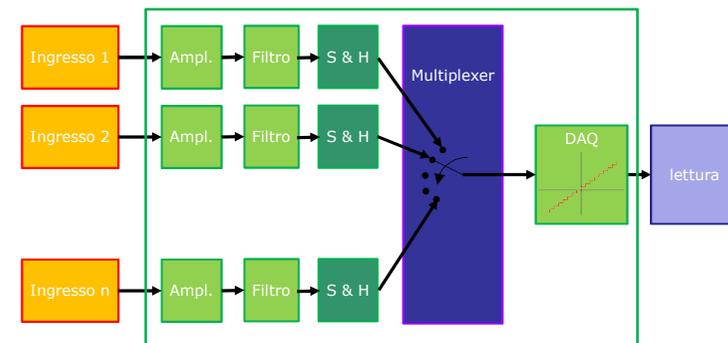
Laboratorio di Misura delle Vibrazioni

Conversione A/D dei segnali

pag. 23

Ingressi multipli

Comunemente un sistema di conversione analogico digitale dei segnali non agisce su un solo canale ma su n canali contemporaneamente.



Laboratorio di Misura delle Vibrazioni

Conversione A/D dei segnali

pag. 24

Sample & Hold

Il modulo di Sample & Hold consente di eseguire il campionamento sincrono su tutti i canali, anche ne caso di segnali multiplexati.

