UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Corso di misure meccaniche, termiche e collaudi

Prof. Rodolfo Taccani
Prof. Lucia Parussini
Prof. Marco Bogar

a.a.2022-2023

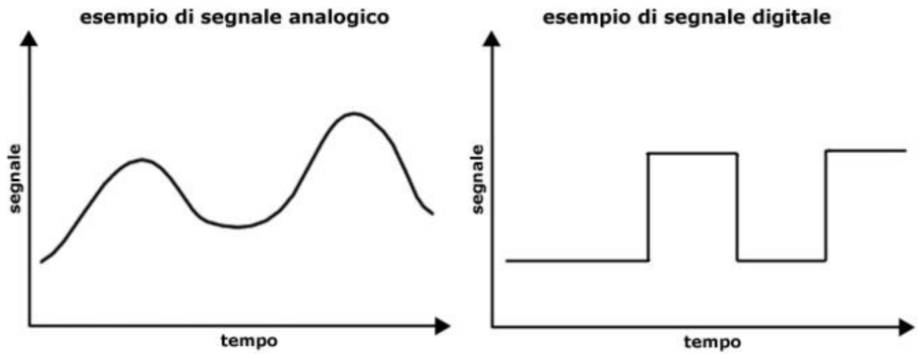
Outline

- Definizioni preliminari
- Campionamento
- Quantizzazione
- Codifica

Segnale

Un *segnale* è una **variazione nel tempo** di una **grandezza fisica** (un volume, una temperatura, una corrente elettrica etc.)

Un segnale contiene sempre dell'**informazione.**



Vantaggi dell'elaborazione digitale:

- Minore sensibilità ai disturbi
- Bassa incertezza con costi relativamente contenuti
- Ripetibilità e riproducibilità
- Compatibilità intrinseca con i sistemi di calcolo
- Facilità di manipolazione, trasmissione, registrazione, riproduzione
- Maggiore versatilità
- Maggiore velocità

Segnale analogico

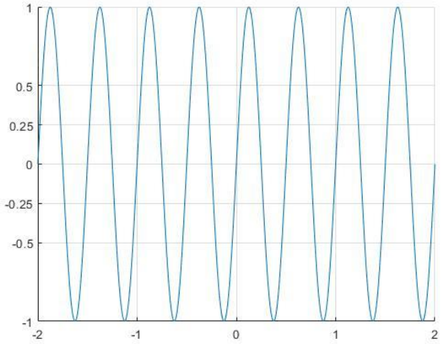
Una grandezza è detta *analogica* qualora sia in grado di assumere tutti i valori possibili interni ad un certo intervallo ed è definita in tutti gli istanti di tempo compresi tra un tempo iniziale ed un tempo finale. Una grandezza con tali caratteristiche è detta *continua* in ampiezza ed in tempo.

Esempi di segnali analogici:

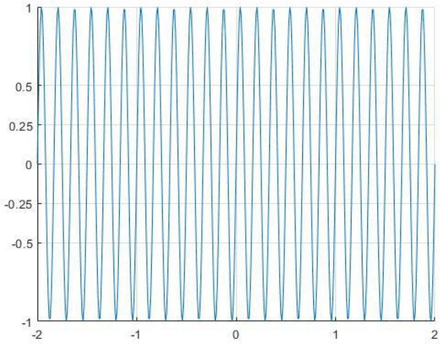
- la temperatura che varia nel tempo in una stanza
- la musica scritta in un solco del vinile
- la posizione delle lancette di un orologio che si spostano nel tempo
- la corrente elettrica che passa nei motori di una macchina telecomandata a seconda di come si accelera

Segnale analogico periodico

Un segnale analogico può essere **periodico** se si *ripete identico nel tempo.*
La **frequenza** (**f**) è il numero di oscillazioni (ripetizioni) in 1 secondo e si misura in Hertz [Hz].
Il **periodo** (**T**) è la durata di una oscillazione. $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ è la pulsazione.



f = 2 Hz T = 0.5 s



f = 6 Hz T = 0.16 s

Frequenza e periodo sono inversamente proporzionali: f = 1/T e T = 1/f.
Anche per un segnale non periodico si può definire una **frequenza massima**, che rappresenta la massima velocità di variazione del segnale.

Segnale analogico periodico

Un segnale **periodico** si può sempre rappresentare mediante una **serie di Fourier**:

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}\big(a_n cos(\omega_n t) + b_n sen(\omega_n t)\big) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_n e^{i\omega_n t} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_n e^{i2\pi f_n t}$$

dove

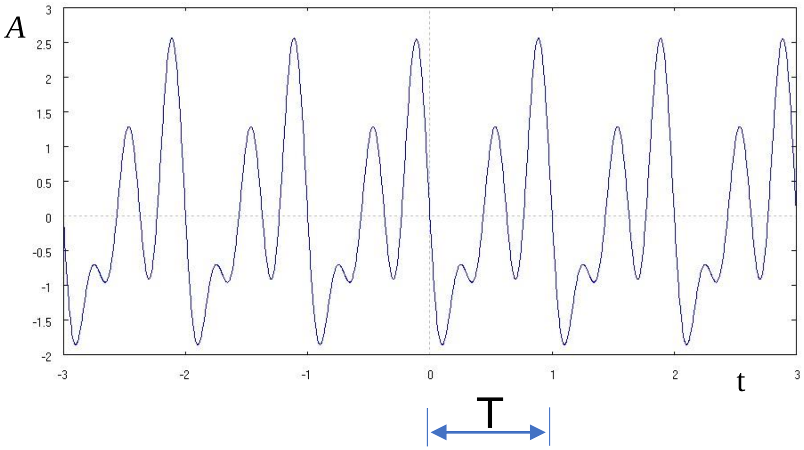
$$\omega_n = \frac{2\pi n}{T} = 2\pi f_n$$

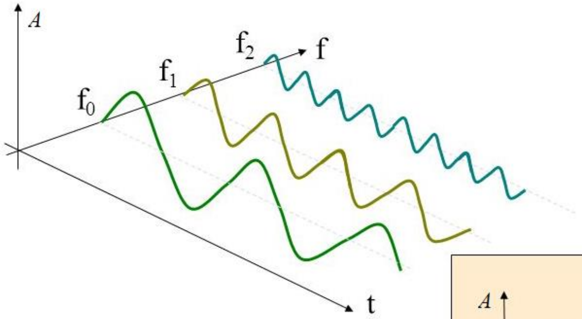
$$a_0 = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)dt \qquad a_n = \frac{2}{T}\int_0^T x(t)cos(\omega_n t)dt \qquad b_n = \frac{2}{T}\int_0^T x(t)sen(\omega_n t)dt$$

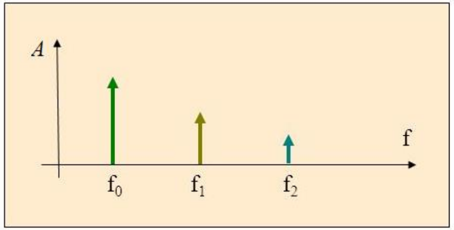
$$X_n = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)e^{-i\omega_n t}dt$$

NB. Per la Formula di Eulero $e^{ix} = cos(x) + isen(x)$, si ha $z = de^{ix} = d\big(cos(x) + isen(x)\big)$

Segnale analogico periodico

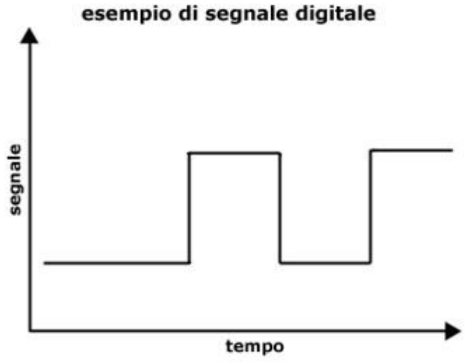






Segnale digitale

Una grandezza *digitale*, o *numerica*, è sostanzialmente una sequenza di numeri, espressi in una certa base, ed è discreta sia in ampiezza che in tempo.
In generale, quindi, una grandezza digitale può assumere un numero *discreto* di valori.
Qualora la base è pari a due, la grandezza digitale è anche detta *binaria.*

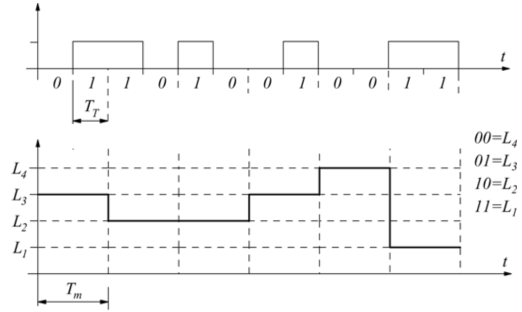


Esempi di segnali digitali (binari):

- la musica codificata in un cd o in un mp3
- una trasmissione di dati su un cavo ethernet che collega due computer
- i segnali che codificano l'ora in un orologio digitale

a)

b)



a) Segnale digitale-binario; b) Segnale multi-livello $2^n=4$

Conversione Analogico/Digitale

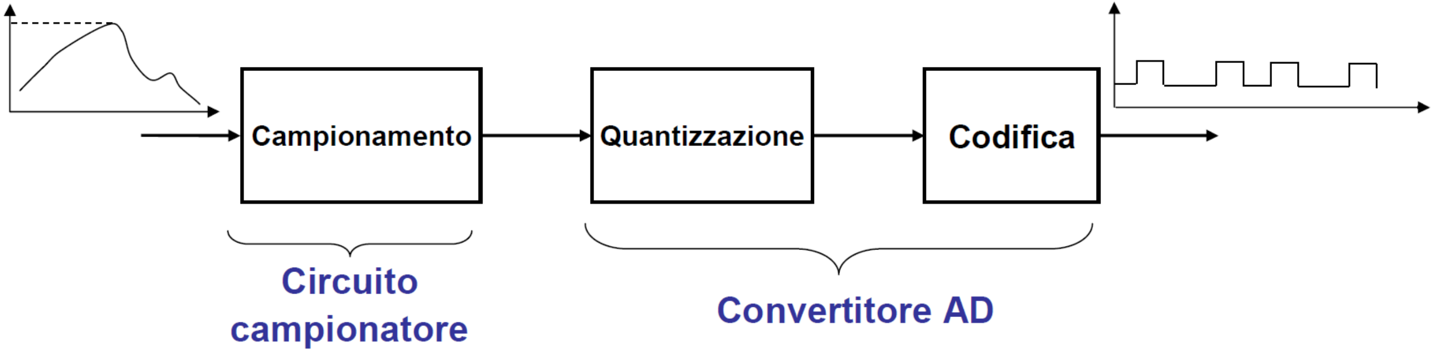
E' sempre possibile convertire un segnale analogico in un segnale digitale ma, ovviamente, si perderà un po' di informazione (in quanto sia i livelli che gli istanti in cui il segnale varia non sono infiniti).

La conversione da analogico a digitale richiede tre operazioni:

Campionamento discretizzazione in tempo

Quantizzazione discretizzazione in ampiezza

Codifica rappresentazione del campione quantizzato con un numero di *N* cifre



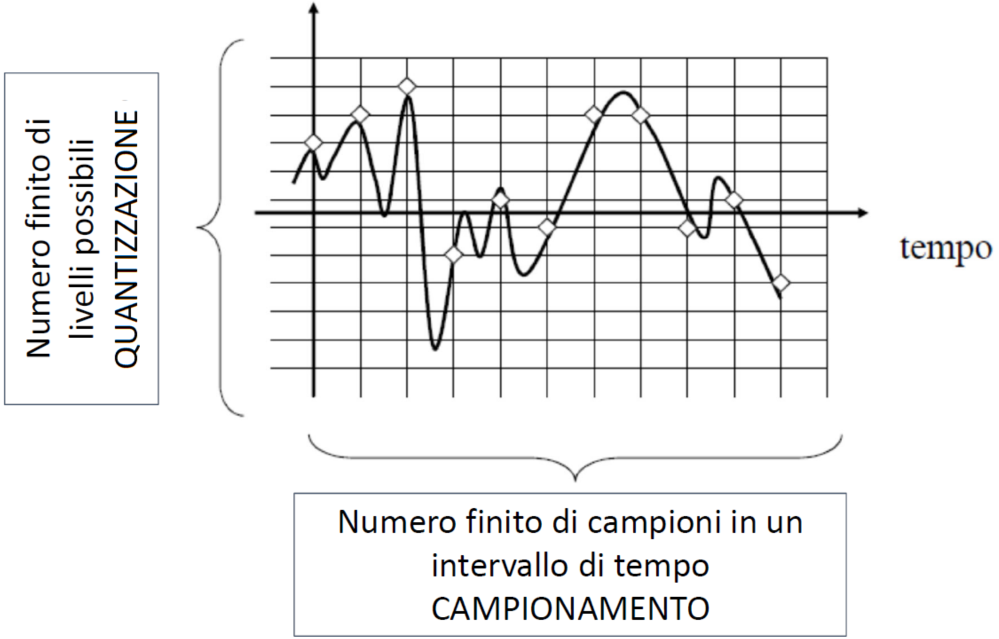
Conversione Analogico/Digitale

La **conversione A/D** si usa, ad esempio, per creare una traccia mp3 per un suono:

- Il microfono registra il suono in **analogico**: trasforma le onde sonore in un segnale elettrico che varia nel tempo.
- Il segnale viene convertito dalla scheda audio del computer in una serie di 1 e 0 (segnale digitale).
- Viene creato in file con formati diversi (wav, mp3, acc, flac) a seconda dell'utilizzo. Questi formati, rispetto all'originale digitale, possono essere ulteriormente compressi.

Conversione Analogico/Digitale

Doppia discretizzazione:

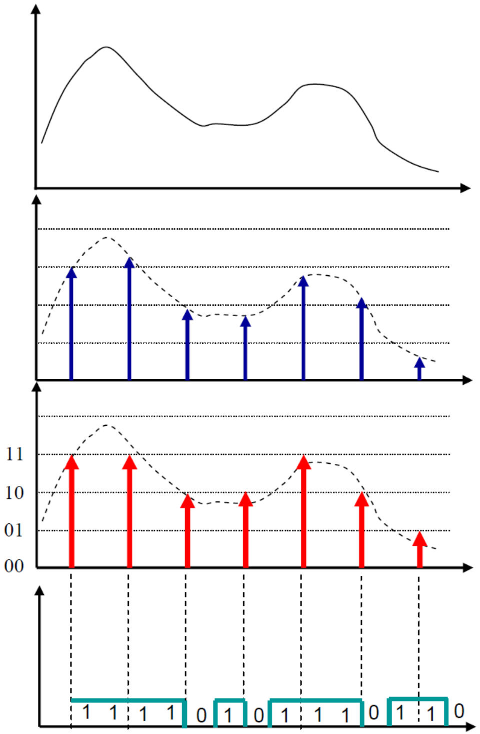


A differenza del segnale analogico quello digitale è costituito da una funzione "tempo discreta" e "quantizzata". Tale funzione risulta pertanto:

- definita solamente in un insieme numerabile di istanti equispaziati
- dotata di un codominio costituito da un insieme discreto di valori.

Conversione Analogico/Digitale

CONVERSIONE ANALOGICO-DIGITALE



Segnale analogico

Segnale campionato

(impulsi di ampiezza uguale al segnale nell'istante di campionamento)

Segnale quantizzato

(gli impulsi del segnale campionato vengono assimilati al livello codificato più vicino)

Segnale codificato

(Ogni campione viene rappresentato con un numero di *N* cifre.)

Campionamento

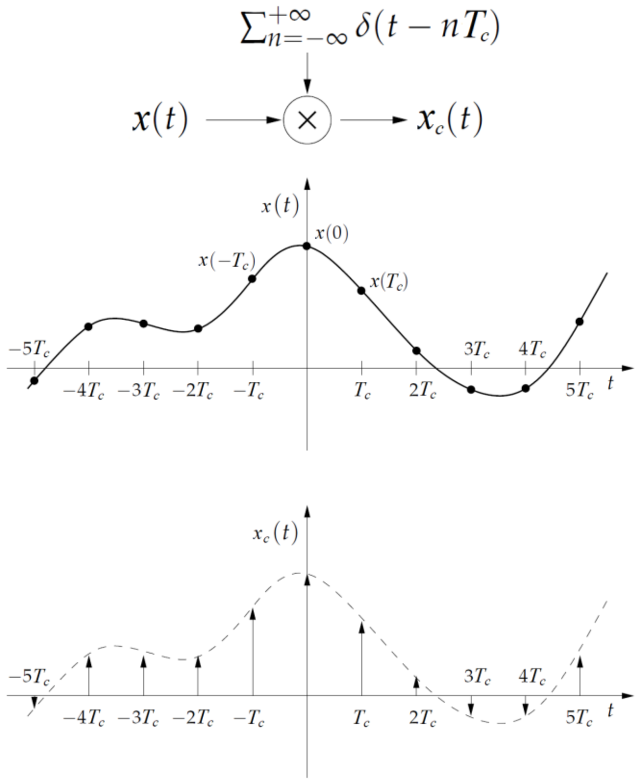
Con il campionamento vengono scelti gli istanti di tempo nei quali assegnare un valore al segnale.

La **frequenza di campionamento** rappresenta quanti valori (**campioni**) si prendono in un secondo di segnale. Si misura in Hertz. Esempio: 200 Hz = 200 campioni al secondo

Il **periodo di campionamento** è *l'inverso* della frequenza e identifica quanto tempo dura un campione.

L'operazione di campionamento trasforma un segnale analogico x(t) in una sequenza di segnali impulsivi, di ampiezza uguale al valore del segnale originario ad istanti di tempo determinati.

$$x_c(t) = x(t)\delta_{T_c}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(nT_c)\delta(t - nT_c)$$



Campionamento

Per comprendere gli effetti del campionamento è vantaggioso passare ad una rappresentazione del segnale campionato nel dominio della frequenza. Dato che il segnale campionato è dato dal prodotto di due segnali, il suo spettro è ottenibile dalla convoluzione delle loro trasformate.

La trasformata di Fourier permette di calcolare le diverse componenti (ampiezza, fase e frequenza) delle onde sinusoidali che, sommate tra loro, danno origine al segnale di partenza.

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\omega t} dt$$

con

$$\omega = 2\pi f$$

Dal dominio del tempo al dominio della frequenza

Un segnale $q(t)$ si può sempre rappresentare nel dominio della frequenza mediante una **trasformata di Fourier**:

$$Q(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} q(t) e^{-i\omega t} dt = \int_{-\infty}^{\infty} q(t) cos(\omega t) dt - i \int_{-\infty}^{\infty} q(t) sen(\omega t) dt$$

e viceversa mediante l'**antitrasformata di Fourier** :

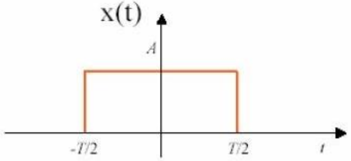
$$q(t) = \int_{-\infty}^{\infty} Q(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

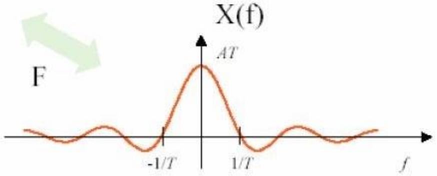
Onda quadra (rappresentata nel tempo)

Trasformata di Fourier (rappresentata nelle frequenze)

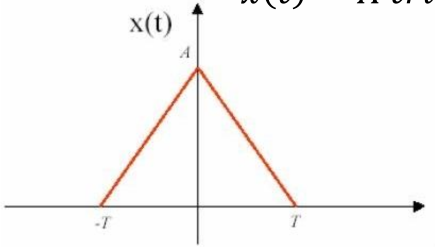
Dal dominio del tempo al dominio della frequenza

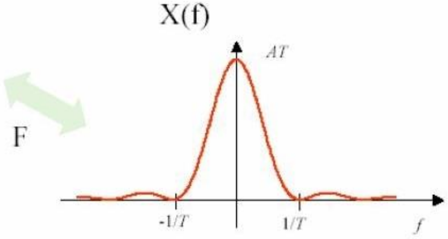
$$x(t) = A\, rect_T(t) = \begin{cases} A & |t| \leq T/2 \\ 0 & |t| > T/\pi f T2 \end{cases} \Leftrightarrow X(f) = AT\,\frac{sin(\pi f T)}{\pi f T}$$





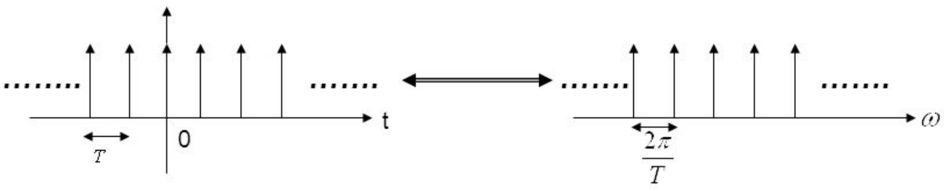
$$x(t) = A\, tri_{2T}(t) \Leftrightarrow X(f) = AT\left(\frac{sin(\pi f T)}{\pi f T}\right)^2$$





Dal dominio del tempo al dominio della frequenza

TRASFORMATA TRENO DI IMPULSI

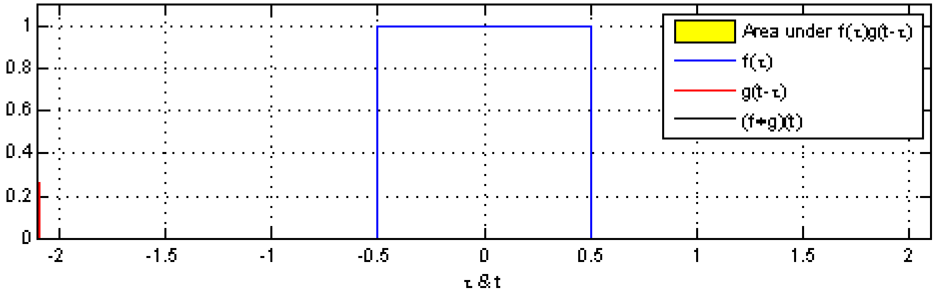


$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT) \Leftrightarrow \frac{2\pi}{T} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta\left(\omega - k\frac{2\pi}{T}\right)$$

Convoluzione

Definizione: la CONVOLUZIONE $y(t)$ tra due funzioni del tempo $x(t)$ e $h(t)$ è definita come

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t-\tau)d\tau = x(t)*h(t)$$

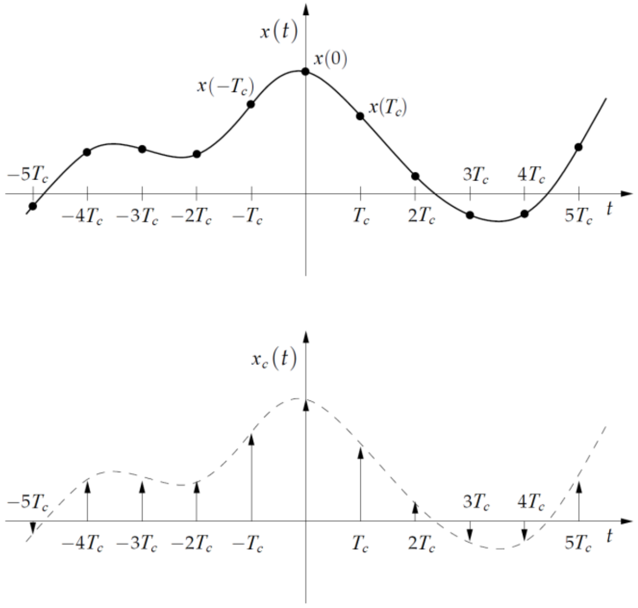


Teorema di convoluzione

$$\boxed{\begin{gathered} x(t) * h(t) \Leftrightarrow X(\omega)H(\omega) \\ x(t)h(t) \Leftrightarrow X(\omega) * H(\omega) \end{gathered}}$$

Campionamento

$$x_c(t) = x(t)\delta_{T_c}(t)$$



Campionamento

$$\delta_{T_c}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_c) \quad \leftrightarrow \quad \delta_{\omega_c}(\omega) = \omega_c \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(\omega - n\omega_c)$$

$$x_c(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_c) \quad \leftrightarrow \quad X_c(\omega) = \frac{1}{2\pi} X(\omega) * \omega_c \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(\omega - n\omega_c)$$

$$\frac{1}{2\pi} X(\omega) * \omega_c \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(\omega - n\omega_c) = \frac{1}{T_c} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X(\omega) * \delta(\omega - n\omega_c)$$

Dalla proprietà della convoluzione si ricava $X(\omega) * \delta(\omega - n\omega_c) = X(\omega - n\omega_c)$

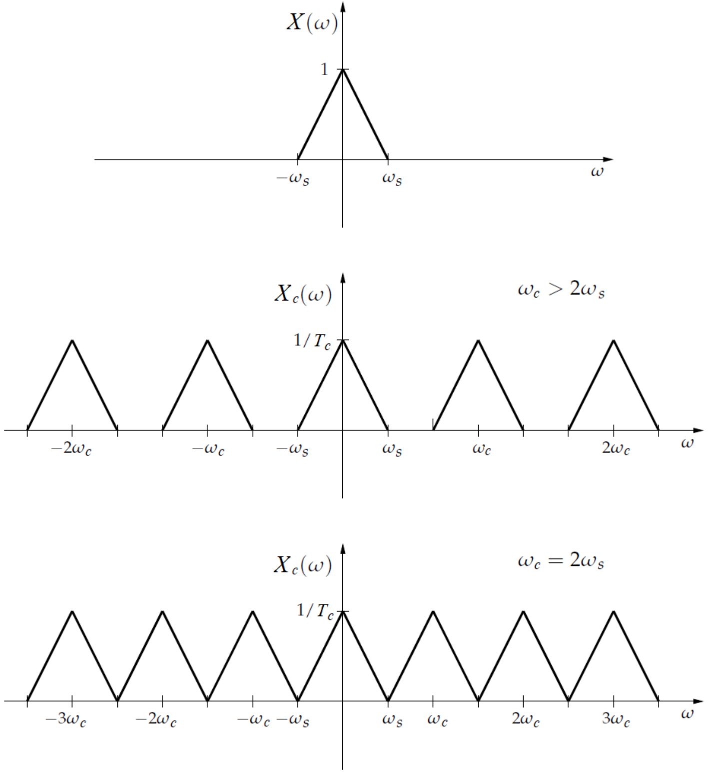
Quindi, la trasformata di Fourier del segnale modulato dalla funzione impulsiva è:

$$X_c(\omega) = \frac{1}{T_c} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X(\omega - n\omega_c)$$

Campionamento

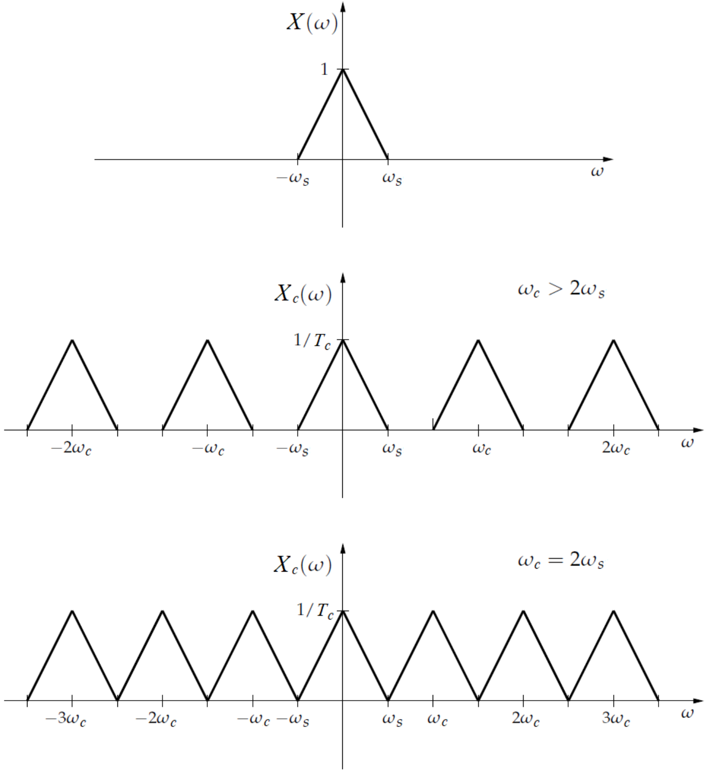
$$X_c(\omega) = \frac{1}{T_c} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X(\omega - n\omega_c)$$

Dunque lo spettro del segnale campionato idealmente è costituito da repliche dello spettro di $x(t)$ traslate in frequenza di $2n\pi/T_c$ Hz e scalate in ampiezza secondo il fattore $1/T_c$.



Campionamento

Teorema del campionamento o di Shannon
Un segnale $x(t)$ a banda limitata da $f_s = \omega_s/2\pi$ Hz, la cui trasformata di Fourier $X(\omega)$ è quindi nulla per $|\omega| > 2\pi f_s$ rad/s, può essere univocamente ricostruito dai suoi campioni $x(nT_c)$ ($-\infty < n < \infty$) presi a frequenza $f_c = 1/T_c$, se $f_c \geq 2f_s$. La frequenza $2f_s$ Hz è detta tasso o **frequenza di Nyquist**.



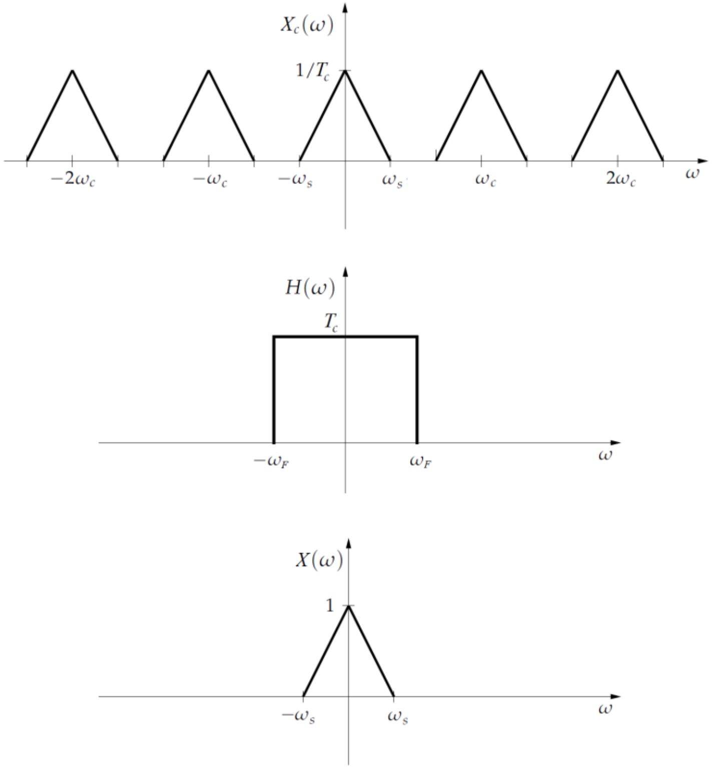
Esempio
Un segnale contiene componenti in frequenza inferiori a 4 kHz; determinare la minima frequenza di campionamento che ne permetta la ricostruzione priva di errore. Basta calcolare il tasso di Nyquist $2 \cdot 4 = 8$ kHz.

Campionamento

Il segnale $x(t)$ può essere ricostruito dalla sua versione campionata $x_c(t)$ mediante l'applicazione di un filtro passabasso ideale avente ampiezza T_c e frequenza di taglio ω_F tale che

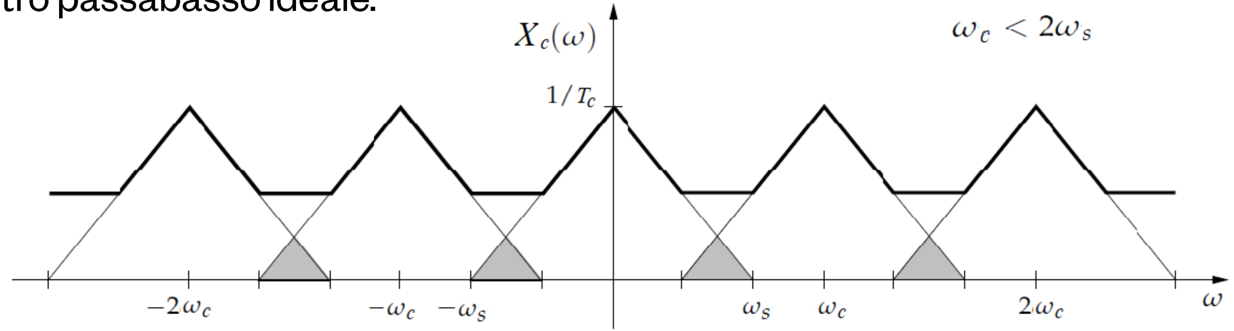
$$\omega_S \leq \omega_F \leq \omega_c - \omega_S$$

Rimane infine da chiarire che cosa accade quando non sono soddisfatte le condizione del teorema di Shannon, cioè quando la banda del segnale è illimita oppure il segnale è a banda limitata ma la frequenza di campionamento è inferiore al tasso di Nyquist: $f_c < 2f_s$ o equivalentemente $\omega_c < \omega f_s$.



Campionamento

Risulta evidente che il metodo di ricostruzione sopra descritto perde la sua efficacia a causa delle sovrapposizioni che si creano nella ripetizione periodica del segnale trasformato. La sovrapposizione di alcune componenti in frequenza crea distorsioni irreversibili perché introduce nuove componenti non presenti nello spettro originale, rendendo impossibile il compito di ricostruzione del segnale dato ad opera del filtro passabasso ideale.



A causa di questo effetto, chiamato equivocazione o aliasing, non è in generale possibile ricostruire il segnale di partenza sulla base del segnale campionato. Per evitare questo fenomeno, un sistema campionatore a frequenza ω_c viene normalmente fatto precedere da un filtro passabasso con frequenza di taglio ω_F al più $\omega_c/2$, detto filtro anti-aliasing.

Campionamento

Come scegliere quanti campioni prendere?

Maggiore è il numero di campioni maggiore sarà la qualità del segnale digitale ma occuperà più spazio (si dovranno salvare più campioni).

Il teorema di Shannon dice che la frequenza di campionamento minima (per essere in grado di ricostruire il segnale) deve essere il doppio della frequenza massima del segnale

$$f_c \geq 2f_s$$

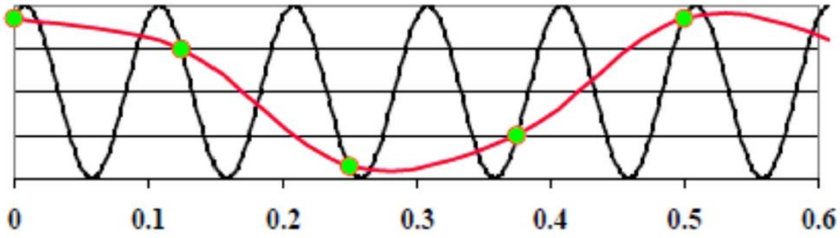
La frequenza di campionamento del segnale (ovvero il numero di campioni che si prendono al secondo) può essere paragonata alla risoluzione di una immagine (ovvero al numero totale di pixel).

Per avere una buona qualità di segnale campionato (digitalizzato) servono tanti campioni, proporzionali alla sua frequenza, così come per avere una buona qualità di imagine bisogna avere tanti pixel (risoluzione) proporzionali a quanto è grande (fisicamente) l'immagine.

Campionamento

Aliasing

Il problema e legato alla relazione tra frequenza del segnale f_s e frequenza di campionamento f_c.
Per esempio: $f_s = 10Hz$ e $f_c = 8Hz$.



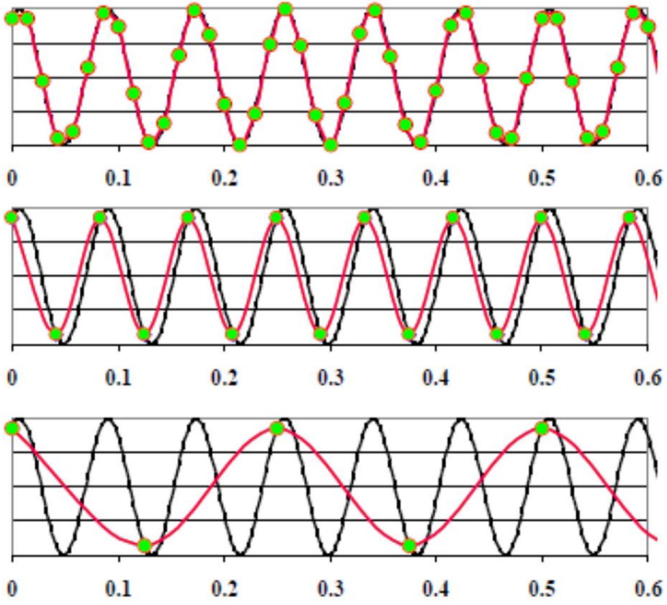
$$T_c = \frac{1}{f_c} = 0.125\ s$$

Periodo apparente 0.5 s → frequenza apparente 2 Hz

$\boxed{\text{se } f_c < 2f_s \text{ si manifesta l'aliasing}}$

Campionamento

Aliasing



$f_c = 70Hz > 2f_s$ ⟹ no aliasing

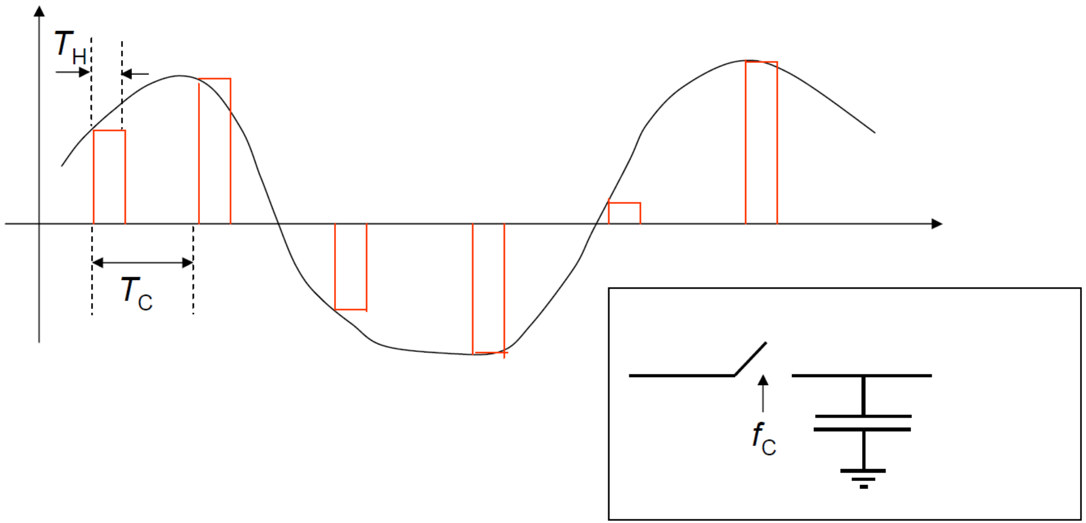
$f_c = 24Hz = 2f_s$ ⟹ no aliasing

$f_c = 8Hz < 2f_s$ ⟹ aliasing

$f_s = 12HZ$

Sample/Hold

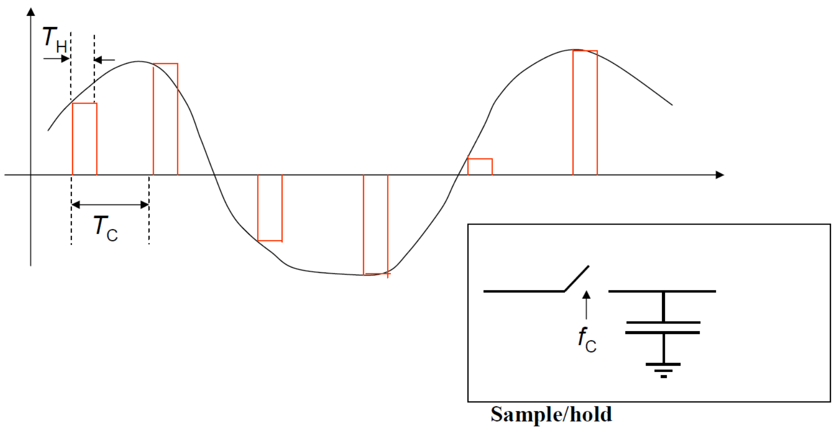
L'operazione di conversione A/D non è istantanea, occorre quindi mantenere il valore del campione per il tempo necessario ad eseguire la conversione. Questa operazione viene eseguita mediante un circuito di sample/hold (campionamento e mantenimento).



Sample/hold

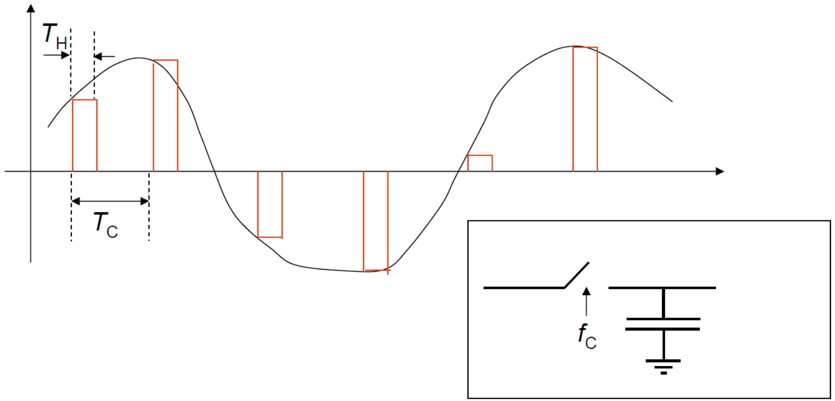
Sample/Hold

Nella maggior parte dei circuiti si utilizza un condensatore a bassa capacità per conservare la tensione analogica, più un interruttore, il quale connette e disconnette il condensatore all'ingresso analogico.



La procedura di utilizzo consiste nell'iniettare un segnale impulsivo, permettendo di raggiungere la tensione del generatore in ingresso. Nell'istante successivo all'immissione dell'impulso l'interruttore si apre perciò il condensatore non si scarica, "memorizzando" così il segnale di ingresso. Ripetendo tale procedura più volte, si ottiene in uscita una rappresentazione "a scalino" della tensione di ingresso. La frequenza con cui l'interruttore viene aperto o chiuso è la frequenza di campionamento del sistema.

Sample/Hold

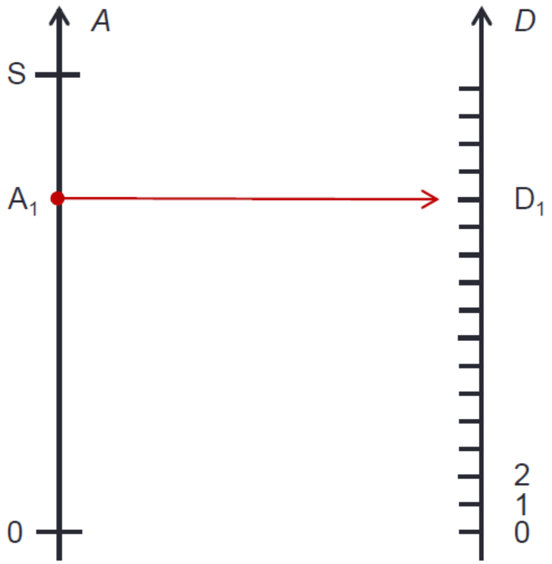


Sample/hold

Lo spettro del segnale campionato e mantenuto equivale allo spettro del segnale campionato moltiplicato per una funzione di tipo $sen\ x/x$.

Il segnale di partenza può essere ricostruito compensando con un apposito filtro di uscita la distorsione dello spettro prodotta dal circuito di mantenimento.

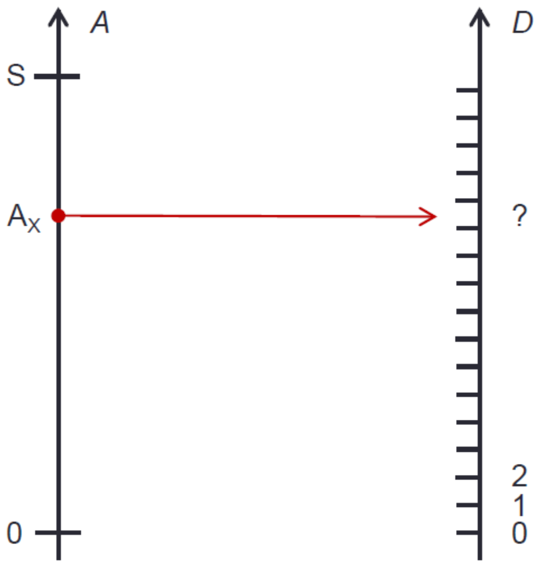
Quantizzazione



La conversione analogico-digitale richiede la definizione di una legge di corrispondenza tale da consentire l'associazione di valori numerici ai valori analogici propri della grandezza da convertire.

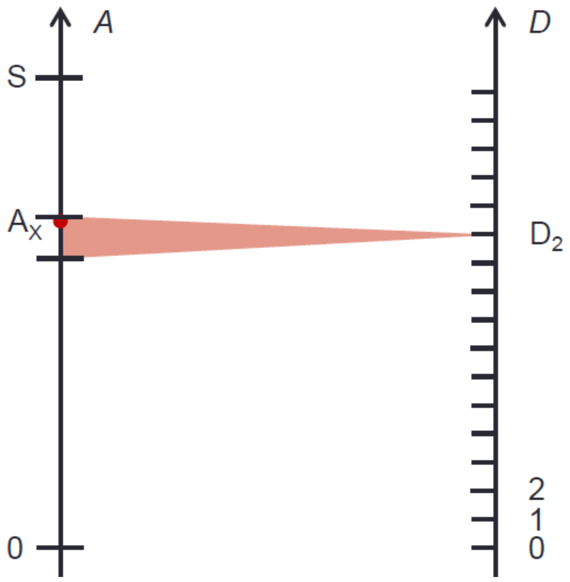
Assumendo che la grandezza *A* da convertire sia unipolare (ad esempio sia sempre positiva), tale operazione significa associare a ciascun valore di *A* compreso nel suo intervallo di definizione (0, S), un numero *D* espresso in un certo formato.

Quantizzazione



Siccome *A* è continua mentre *D* è una quantità discreta, non è possibile identificare una funzione biunivoca tale da associare a ciascun valore di *A* uno ed un solo valore di *D*.

Quantizzazione



Pertanto si sceglie di associare a ciascun valore di *D* un intervallo di valori di *A*.

Ciò consente di stabilire una corrispondenza tra tutti i valori di *A* situati in un certo intervallo con un unico valore di *D*.

Questa operazione comporta una ovvia perdita di informazione che è possibile quantificare.

Quantizzazione uniforme

Supponiamo che ciascun intervallo di A, da porre in corrispondenza con i valori di D, abbia uguale ampiezza; in questo caso si parlerà di *quantizzazione uniforme* della grandezza analogica.

Se il numero di intervalli in cui è suddiviso A è pari a m, uguale ai valori definiti della variabile D, l'ampiezza A_D di ciascun intervallo vale:

$$A_D = \frac{S}{m}$$

Quantizzazione uniforme

Per stimare l'entità della perdita di informazione derivante dall'associazione di un intervallo analogico ad un unico valore numerico, si definisce l'*errore di quantizzazione* ε come la differenza tra il valore reale A_r della grandezza A ed il valore A_i in corrispondenza del centro dell'intervallo:

$$\varepsilon \equiv A_r - A_i$$

Siccome l'intervallo considerato ha ampiezza $A_D = S/m$ risulterà:

$$|\varepsilon| \leq \frac{A_D}{2} = \frac{S}{2m}$$

Il numero degli intervalli disponibili è legato alla rappresentazione adoperata per la grandezza numerica; per n cifre in base b, il numero dei valori rappresentabili è:

$$m = b^n$$

Codifica binaria

Il caso più comune è rappresentato dalla codifica della grandezza A in binario:

$$b \leftarrow 2$$

Con una rappresentazione a n cifre sono possibili 2^n valori di D.

Se, ad esempio, $n = 8$ ci sono 256 valori

Binari(8bit)
00000000
00000001
00000010
00000011
00000100
………..
11111101
11111110
11111111

Codifica binaria

Una volta stabilito il numero m dei valori della grandezza D e specificata la base di rappresentazione b, dalla relazione precedente si ha:

$$|\varepsilon| \leq \frac{S}{2b^n}$$

Questo errore può esprimersi in termini assoluti (volt, ampere, ecc.) solo se la grandezza A ha una dimensione definita, altrimenti si utilizza l'errore relativo (percentuale).

In termini di errore relativo sussiste una precisa relazione fra il numero n delle cifre e l'errore nella rappresentazione.

Codifica binaria

Con riferimento all'esempio precedente in cui b=2 e n=8, risulta:

$$|\varepsilon| \leq \frac{S}{2 \cdot 2^n} = \frac{S}{2^{n+1}} = \frac{S}{2^9} = \frac{S}{512}$$

L'errore relativo (massimo) è quindi:

$$\varepsilon_r\% \leq \frac{\frac{S}{2^{n+1}}}{S} 100 = \frac{100}{2^9} \approx 0.195\%$$

Codifica binaria

Nel caso di codifica binaria il numero D si esprime come:

$$D = \boxed{b_{n-1}}2^{n-1} + b_{n-2}2^{n-2} + \cdots + b_1 2^1 + \boxed{b_0}2^0 \qquad \boxed{b_n}$$

MSB LSB SIGNUM

dove i coefficienti b_k, detti *bit*, possono assumere valore 0 o 1.

Il bit col peso più alto è detto *MSB Most Significant Bit.*

Il bit con il peso più basso è detto *LSB Least Significant Bit*.

Inoltre, per grandezze bipolari, è necessario un ulteriore bit, convenzionalmente di peso massimo, per la codifica del *segno*.

Codifica binaria

$$D = \boxed{b_{n-1}}2^{n-1} + b_{n-2}2^{n-2} + \cdots + b_1 2^1 + \boxed{b_0}2^0 \qquad \boxed{b_n}$$

MSB LSB SIGNUM

Il bit meno significativo corrisponde alla minima variazione che può avere la variabile numerica D; pertanto, a una variazione di una quantità A_D della grandezza analogica A corrisponde una variazione di 1 *LSB* della grandezza numerica.

Così, una volta stabilito il numero n dei bit adoperati nella rappresentazione digitale, gli errori posso essere espressi in termini di *LSB* (1 *LSB*, ½ *LSB*, ecc.) oppure in valore assoluto (volt, ampere, ecc.).

Codifica binaria

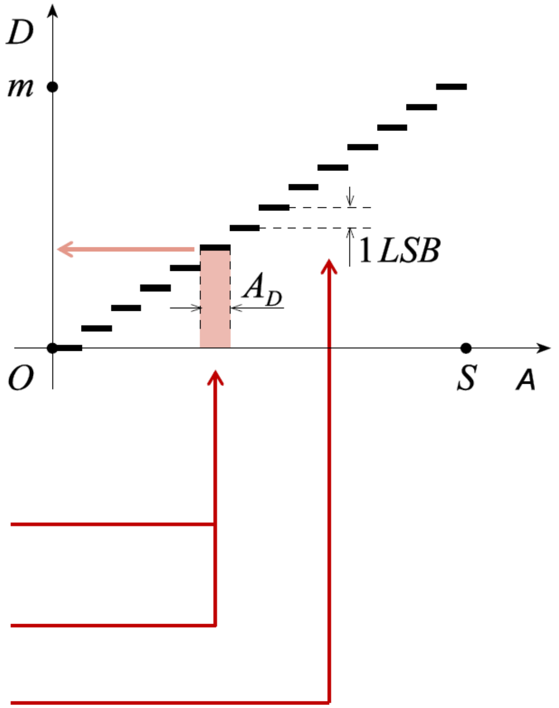
Caratteristica di trasferimento

Il processo di conversione può essere rappresentato tramite una *caratteristica di trasferimento* tra la variabile analogica A e quella digitale D. Adoperando questa caratteristica si può ricavare, per ogni valore di A la corrispondente rappresentazione numerica di D.

Tutti i punti all'interno di uno stesso intervallo di ampiezza A_D corrispondono ad uno stesso valore di D.

Ogni gradino ha larghezza A_D.

Il salto fra un gradino e il successivo corrisponde alla variazione di 1 *LSB*.



Codifica binaria

Caratteristica di trasferimento

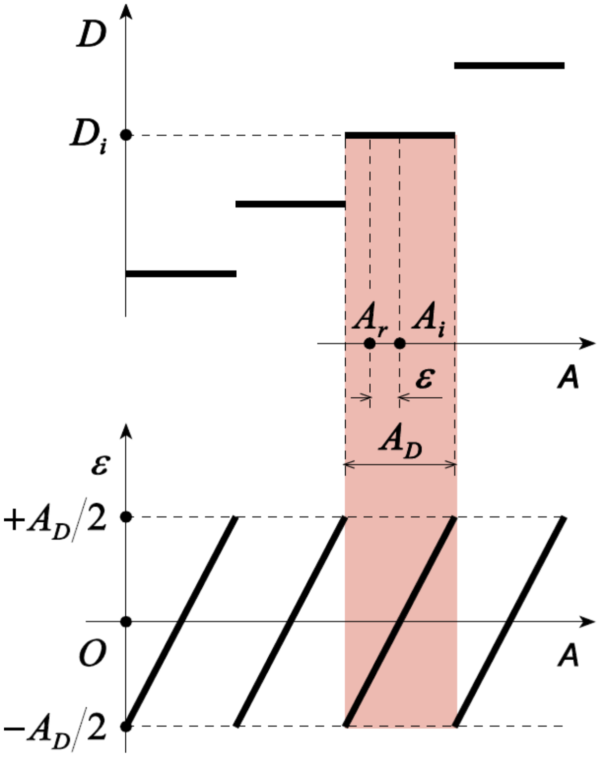
Dalla caratteristica di trasferimento si evince che:

I punti A_i e D_i corrispondono al centro dell'*i*-esimo gradino.

Al valore D_i è associato ogni valore A_r compreso nell'intervallo A_D.

L'errore di quantizzazione è compreso fra $-A_D/2$ e $+A_D/2$.

Al variare della grandezza A dal limite inferiore a quello superiore di un intervallo A_D, l'errore varia tra tali estremi a partire da $-A_D/2$ in modo lineare; questo andamento si ripete periodicamente per ogni intervallo A_D.

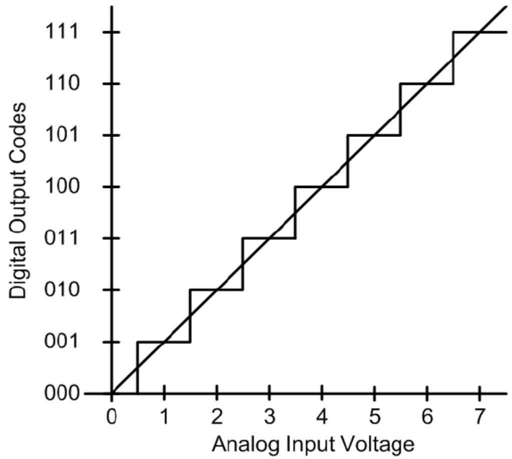


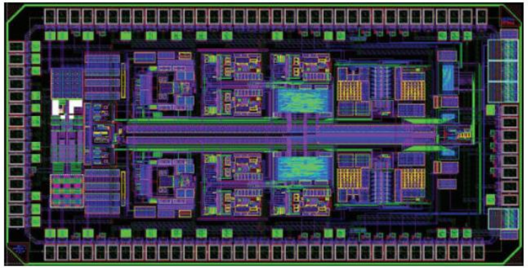
ADC

All'aumentare di m, cresce il numero di gradini corrispondenti alla variabile numerica e, contemporaneamente, diminuisce l'ampiezza degli intervalli A_D. Per m sufficientemente elevato, la caratteristica di conversione diventa assimilabile ad una retta continua.

Tuttavia, col crescere di m aumenta anche la complessità del circuito di conversione e, di conseguenza, il suo costo, così, ragioni di carattere economico inducono a scegliere m quanto più piccolo è possibile.

Occorre pertanto identificare un criterio che consenta di stabilire il valore di m sufficiente, in relazione alle caratteristiche del sistema di conversione che si intende sviluppare.





ADC

Quanti bit utilizzare per identificare il singolo campione dipende solo dal numero di livelli. Il numero di bit utilizzati si chiama **risoluzione.** Maggiore è il numero di bit utilizzati migliore è la qualità della conversione digitale, in quanto si riduce **l'errore di quantizzazione** derivante dall'approssimare il valore del segnale al livello consentito

Maggiore è la frequenza di campionamento migliore è la qualità di conversione, in quanto si riesce a ricostruire più fedelmente la forma del segnale iniziale (una frequenza bassa corrisponde a pochi campioni, con i quali è difficile ricostruire il segnale)

ADC

ESEMPIO:

Qual è la dimensione in byte di un file audio di 3 minuti campionato a 400Hz e con 70 livelli di suono?

400Hz corrispondono a 400 campioni al secondo.
In 3 minuti si hanno: $400 \cdot 180sec = 7200$ campioni

Per fare 70 livelli servono 7 bit ($2^6 = 64$ mentre $2^7 = 128$)

Il numero di bit totali saranno: $7200 \cdot 7 = 50400$ bit

Per trovare il numero di byte basta dividere per 8, dunque $50400/8 = 6300$ byte ovvero 6.3KB

ADC

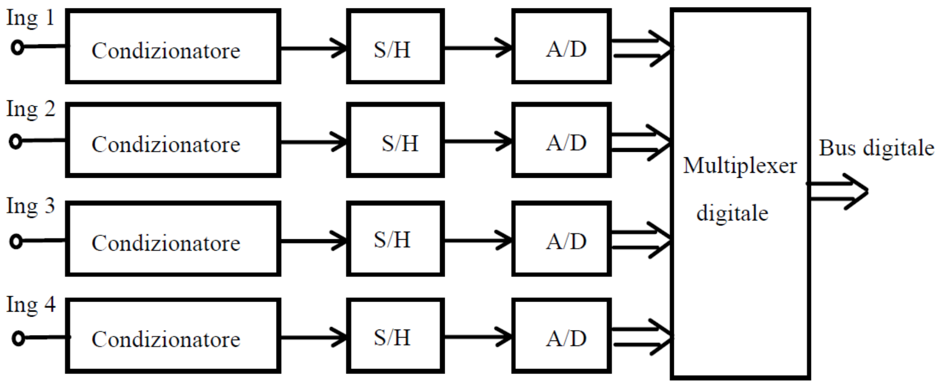
ESEMPIO:

Si vuole raccogliere i dati di temperatura su una scala -50 ÷ +50 gradi, prendendo un valore ogni mezzo secondo. La risoluzione deve essere di un decimo di grado. Quanto spazio occuperanno (in byte) i dati raccolti in un'intera giornata?

Calcoliamo il numero di campioni: 24 ore = $24 \cdot 60 \cdot 60$ = 86400 secondi. Ogni mezzo secondo vuol dire 2 campioni al secondo quindi 172800 campioni
Calcoliamo quanti bit per campione: il range varia da -50 a 50 gradi, quindi 100 gradi. Serve un livello ogni decimo di grado quindi $100 \cdot 10 = 1000$ livelli. Per avere 1000 livelli servono 10 bit ($2^9 = 512$ mentre $2^{10} = 1024$)
Lo spazio occupato sull'HDD sarà: 10bit $\cdot$ 172800 campioni = 1728000 bit
In byte: 1728000 / 8 = 216000 byte ovvero 216KB

Sistema di acquisizione multicanale

Prevede più canali d'acquisizione del segnale. Diverse sono le configurazioni possibili, a seconda del numero di ADC utilizzati. È possibile prevedere un convertitore per ogni canale, ottenendo un'architettura del tipo:



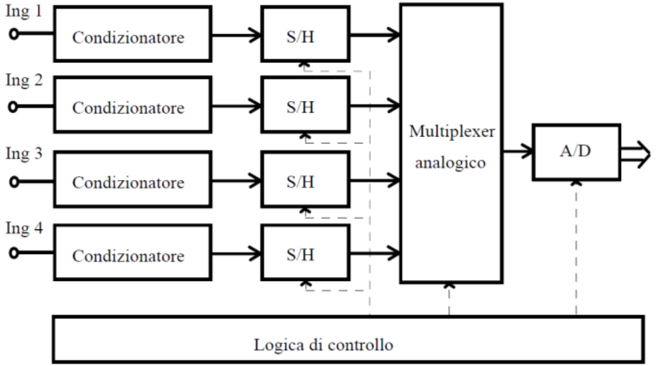
SAD multicanale a campionamento simultaneo (modulo di condizionamento: amplificatore + filtro anti-aliasing).

Ogni canale ha il circuito di condizionamento, il S/H e l'A/D. Le uscite digitali sono inviate su un bus mediante un circuito multiplexer digitale che consente di commutare uno per volta gli ingressi digitali sull'uscita. Il bus digitale consente il trasferimento dei dati verso una memoria o verso un microprocessore.

Sistemi di acquisizione multicanale

È possibile ridurre il numero di componenti, utilizzando ad esempio un solo A/D. In questo caso a valle dei S/H dovrà essere inserito un multiplexer analogico che consente di commutare le uscite analogiche dei S/H sull'ingresso dell'A/D. Alcuni circuiti di controllo gestiranno le varie fasi dell'acquisizione. Generalmente i S/H eseguono il campionamento nello stesso istante (acquisizione simultanea), ma essi vengono poi commutati sequenzialmente verso l'A/D che esegue le varie conversioni in istanti di tempo differenti.

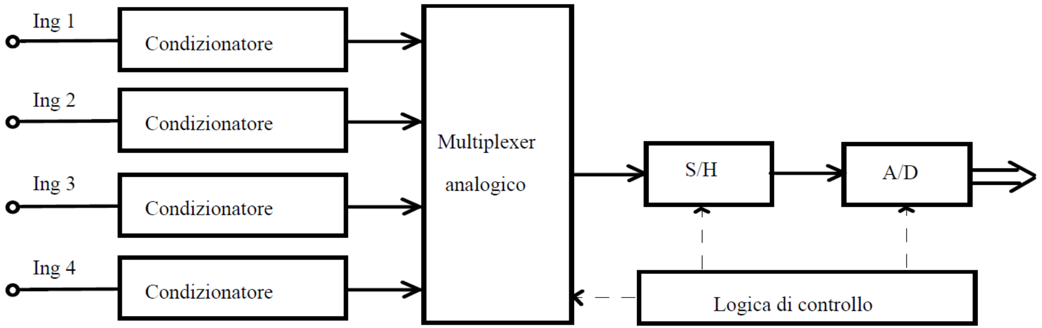
I vantaggi di questa architettura sono: riduzione dei costi (soprattutto per A/D ad alta risoluzione), riduzione delle dimensioni della scheda, necessità di effettuare la calibrazione di un solo A/D. Come svantaggi va citato l'aumento del periodo di conversione: un solo A/D deve convertire più canali, inoltre dopo la commutazione del multiplexer bisognerà aspettare che il segnale si stabilizzi prima di attivare la conversione.



SAD multicanale a campionamento simultaneo con singolo convertitore.

Sistemi di acquisizione multicanale

È possibile ridurre ulteriormente il numero di componenti, utilizzando un solo S/H, come in figura. In questo caso però il campionamento dei vari canali viene eseguito in istanti di tempo differenti, per cui quest'architettura si presta per l'acquisizione di segnali lentamente variabili.



SAD multicanale.

Trigger

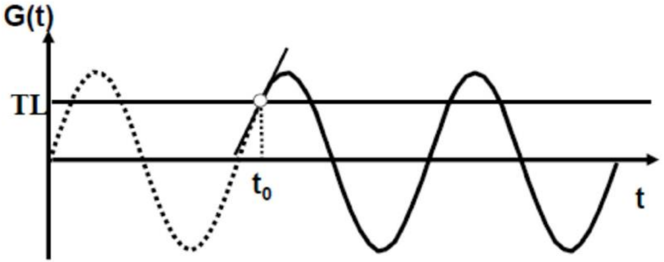
L'acquisizione inizia:

- Ad un istante t_0 scelto dall'operatore che comanda l'inizio dell'acquisizione
- Ad un istante t_0 sincronizzato con il fenomeno fisico che si sta analizzando (acquisizione da trigger)

Il trigger è un dispositivo che permette di iniziare ad acquisire i dati quando un segnale preso come riferimento supera un prefissato livello (TL: Trigger Level)

Il **riferimento del trigger** puo essere:

- Uno dei canali da acquisire (*internal trigger*)
- Un segnale esterno significativo per il fenomeno fisico che si sta analizzando (*external trigger*), ad esempio una martellata che mette in vibrazione la struttura in analisi



Campionamento sincrono/asincrono

Campionamento asincrono

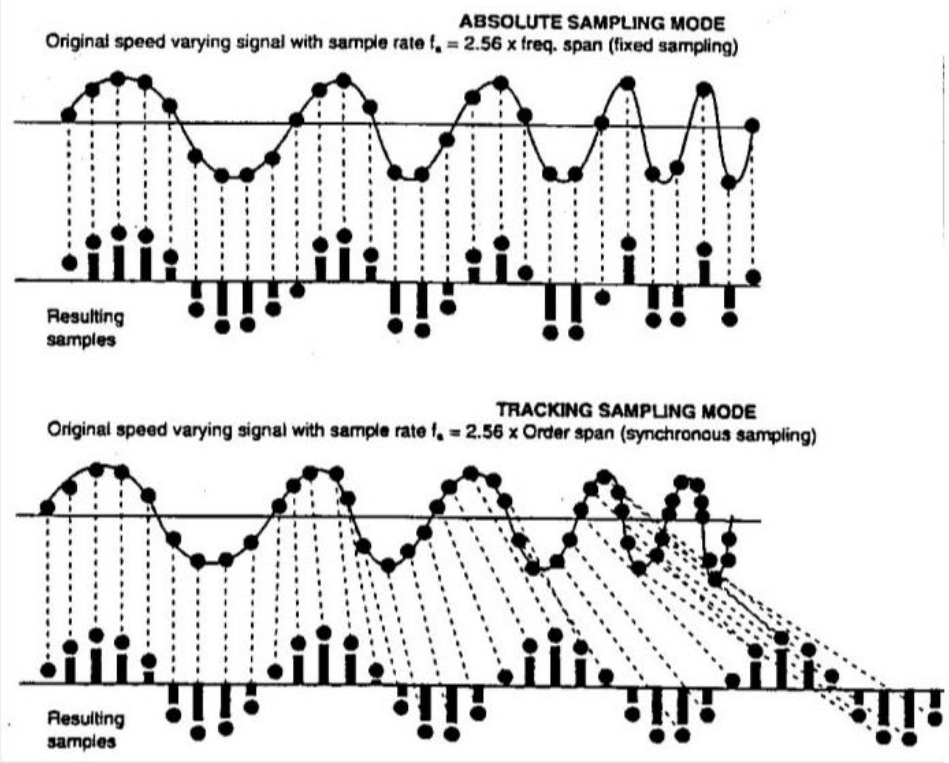
Si acquisiscono i campioni ad intervalli di tempo costanti. Detto Δt il tempo trascorso tra una acquisizione e la successive, si definisce la frequenza di campionamento:

$$f_c = \frac{1}{\Delta t}$$

Campionamento sincrono

I campioni vengono acquisiti in maniera sincrona con un evento (ad esempio un punto ogni 10° di rotazione dell'albero motore).

In generale il campionamento sincrono è utile qualora vi sia un fenomeno fisico periodico il cui periodo è significativo per la grandezza da acquisire.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Dipartimento di
Ingegneria
e Architettura