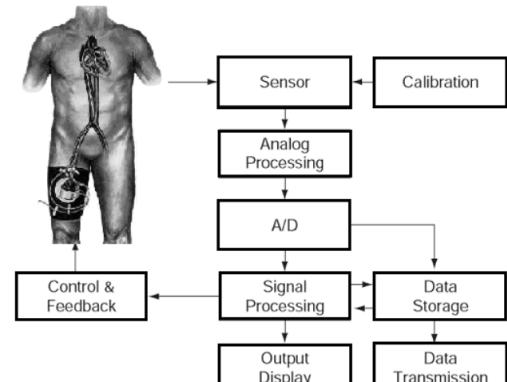


ARGOMENTO 1

1. Quali sono i **principali elementi comuni** che possono essere individuati nei sistemi di acquisizione per dati biomedici?

- Caratterizzazione del sensore.
- Condizionamento.
- Conversione e acquisizione.
- Memoria.
- Visualizzazione e trasmissione.

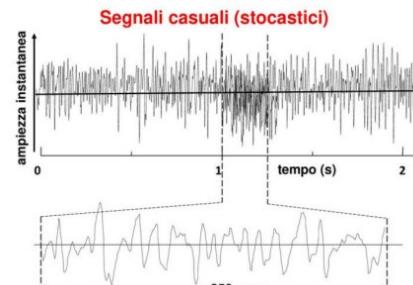
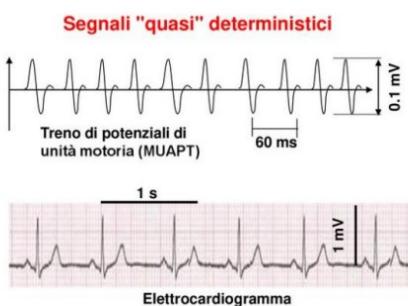
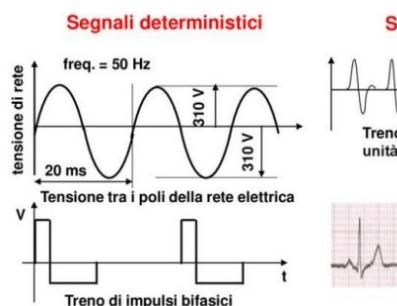


2. Come possono essere classificati i segnali? Sulla base di che criteri? Quali sono i parametri fondamentali in tempo e quali in frequenza?

a. forma

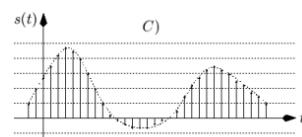
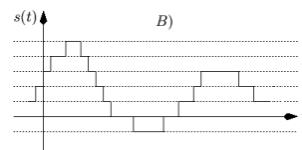
- costanti
- variabili (periodici/aperiodici)

b. informazione



c. ampiezza

- continui
- quantizzati



d. tempo

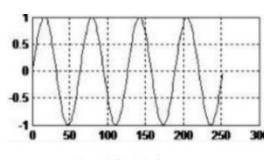
- continuo

- discreto

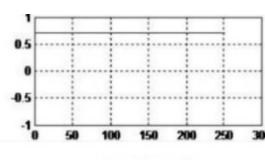
PARAMETRI NEL TEMPO

- periodo;
- fase (posizione relativa all'origine del segnale in un dato istante);
- ampiezza picco-picco (distanza tra picco massimo e minimo);
- valore efficace;

segnale periodico

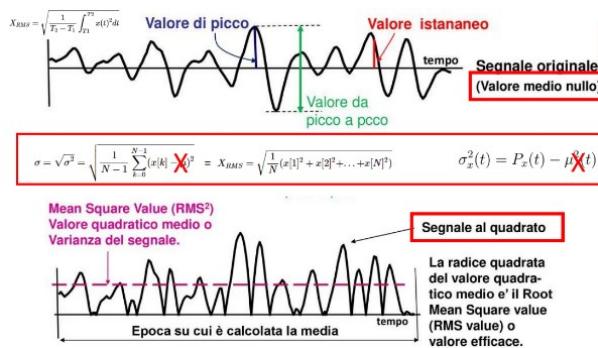


$$P = A_{picco}^2 / 2$$



$$P = A_{cont}^2$$

segnale non deterministico



- potenza (*);
- energia (*);
- intervallo di campionamento;

PARAMETRI IN FREQUENZA

- frequenze;
- ampiezze delle componenti;
- potenza (*);
- energia (*);
- granularità in frequenza (spettro discreto);

(*) TEOREMA DI PARCEVAL (potenza nei 2 domini)

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x^2(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |X(f)|^2 df.$$

3. Cosa intendiamo con il termine **misurazione**? Che differenza c'è tra **taratura** e **regolazione**? Quali sono le principali **caratteristiche metrologiche** che permettono di definire la **qualità** di una misura?
- Misurazione:** processo che permette di attribuire, per via sperimentale, uno o più valori ragionevolmente attribuibili ad una grandezza.
 - Taratura:** prima fase confronto tra i valori di una grandezza (con incertezza) forniti da campioni e indicazioni su strumento; seconda fase relazione che consente di ottenere un risultato di misura.
 - Regolazione:** operazioni svolte su un sistema di misura, affinché esso fornisca indicazioni prescritte in corrispondenza di determinati valori di grandezze da sottoporre a misurazione.

Caratteristiche metrologiche:

- Accuratezza (concordanza valore misurato e un valore vero).
- Incertezza (non negativo, dispersione dei valori A e B).
- Ripetibilità (precisione di misura con medesima procedura, operatori, sistema di misura, condizioni operative e luogo, misurazioni ripetute dello stesso oggetto, o simili, in intervallo di tempo breve).
- Riproducibilità (precisione di misura con differenti luoghi, operatori e sistemi di misura, misurazioni ripetute dello stesso oggetto, o di oggetti simili).

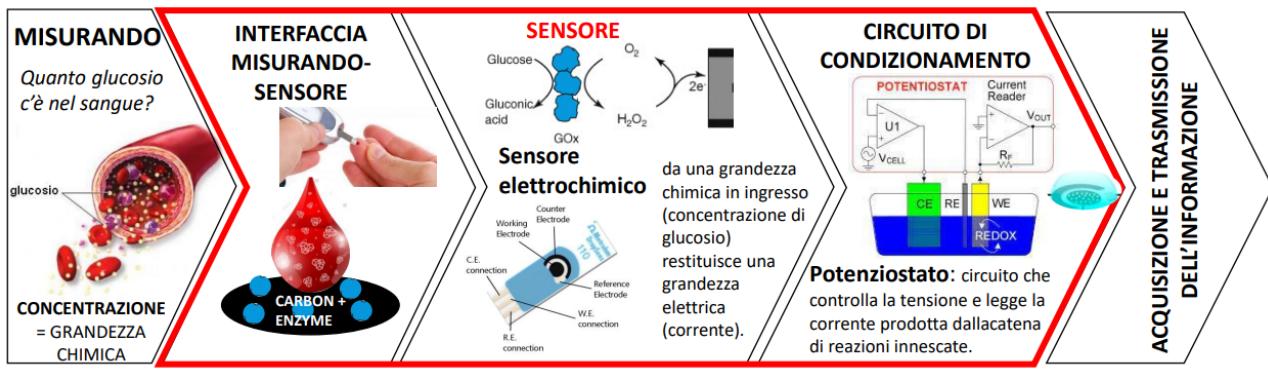
ARGOMENTO 2

1. Quali sono le definizioni di sensore e di trasduttore? Si forniscano un paio di esempi.

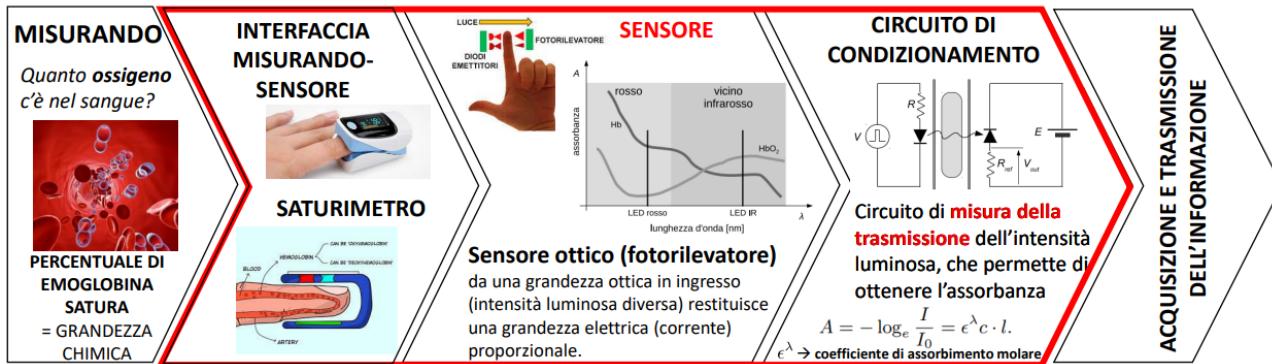
- a. Sensore: elemento sensibile alla grandezza che si vuole misurare.
- b. Trasduttore: dispositivo che interfaccia il mondo fisico con un sistema di misura.



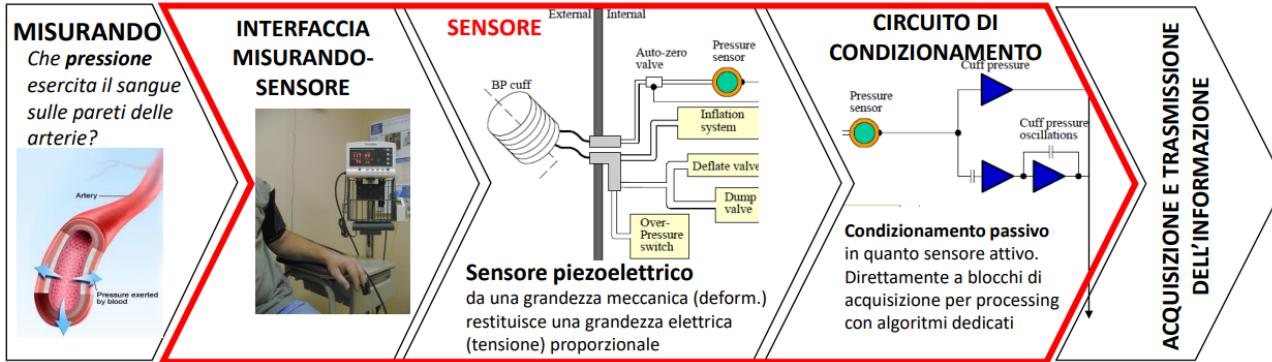
Esempio 1 – livello di glucosio nel sangue



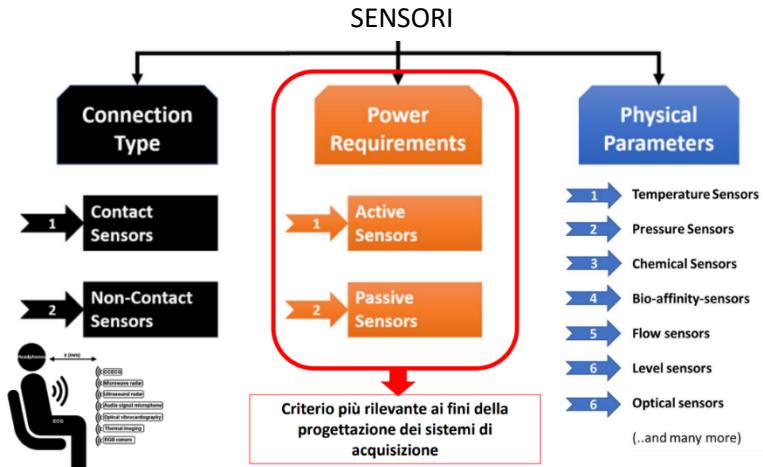
Esempio 2 – saturazione emoglobina nel sangue



Esempio 3 – pressione sanguigna con metodo oscillometrico

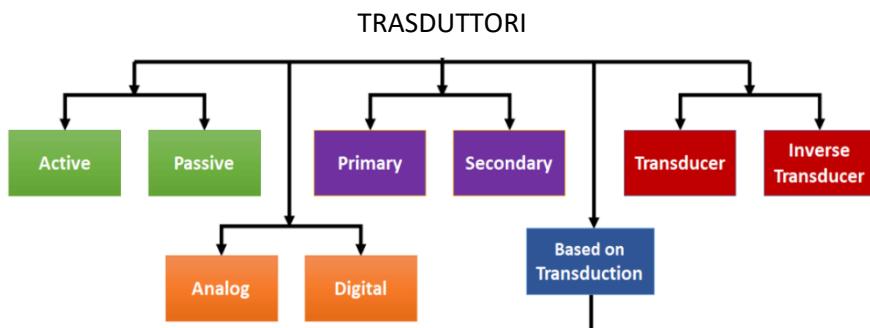


2. Quali sono i principali criteri per classificare i sensori? E i trasduttori?



- **Sensori attivi:** effettuano una conversione di energia di natura diversa. È un generatore di tensione/corrente, necessario condizionamento (piezoelettrico, fotodiodo).
- **Sensori passivi:** modificano una proprietà fisica con l'energia ricevuta. È un parallelo tra generatore di tensione ausiliario e impedenza del sensore (fotoresistore, estensimetro, termistore).

RESISTIVI	CAPACITIVI	INDUTTIVI
$R = \rho \frac{l}{S}$ <p style="color: red; font-weight: bold;">VARIANZA RELATIVA</p> $\frac{dR}{R} = \frac{dp}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S}$ $\frac{dS}{S} = \frac{2k \cdot a \cdot da}{ka^2} = 2 \frac{da}{a}$	$C = \frac{Q}{V} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$	$L = \mu_0 \mu_r \frac{A}{l} \cdot n^2$



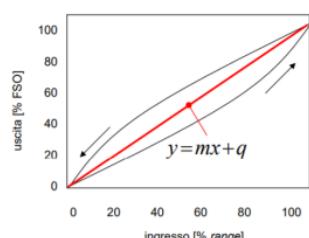
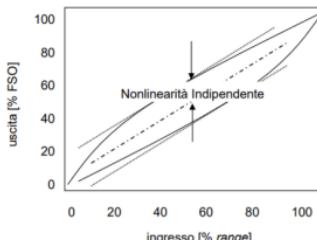
- **Trasduttori analogici:** ingresso analogico in uscita analogica (segnale continuo sia nei tempi che nelle ampiezze).
- **Trasduttori digitali:** ingresso analogico in uscita digitale (segnale con campioni discreti in tempo e ampiezze, no errore di quantizzazione in acquisizione).
- **Trasduttori primari:** dispositivo meccanico.
- **Trasduttori secondari:** dispositivo elettronico.
- **Trasduttori diretti:** grandezza fisica non elettrica convertita in una quantità elettrica.
- **Trasduttori inversi:** grandezza elettrica convertita in grandezza fisica.

3. Cosa si intende per **caratterizzazione statica** di un sensore? E per **caratterizzazione dinamica**? Si elenchino le principali caratteristiche che vengono valutate nell'una e nell'altra

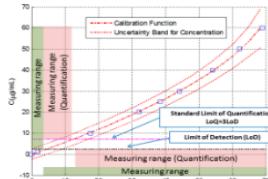
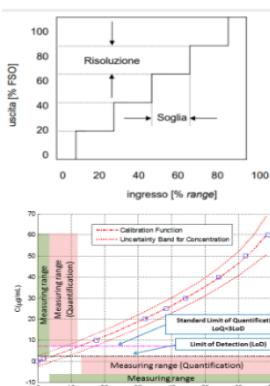
Caratteristica del sensore: legame tra variabile di ingresso e di uscita, in condizioni normali di funzionamento (ideale: retta con pendenza unitaria, errore: scostamento dalla retta).

- a. **Statica**: condizioni normali (variazioni lente ingresso, no sollecitazioni esterne)

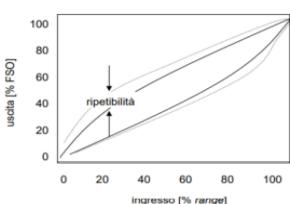
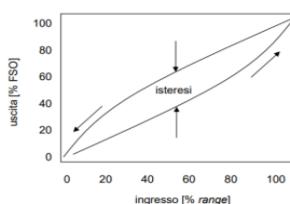
- linearità (scostamento curva di taratura retta ideale);
- sensibilità/guadagno (rapporto tra variazione dell'uscita e variazione dell'ingresso);
- offset (segnale in uscita anche in assenza del segnale in ingresso);



- risoluzione (uscita: ampiezza del passo delle uscite; ingresso: ampiezza del passo in ingresso);
- Limite of detection (LOD) (più bassa concentrazione che può essere distinta dal fondo di rumore);



- isteresi (massima differenza tra i valori di uscita corrispondente ad uno stesso ingresso, ottenuto prima per valori crescenti e poi decrescenti);
- ripetibilità (capacità di riprodurre la stessa uscita quando è applicato lo stesso ingresso, consecutivamente, nelle stesse condizioni operative e nella stessa direzione);



- b. **Dinamica:** variazioni rapide dell'ingresso nel tempo
 - i. risposta in frequenza (guadagno e banda passante);
 - ii. risposta nel tempo (tempo di risposta, tempo di salita, costante di tempo).
 - c. **Ambientali e di affidabilità:** condizioni non normali, variazioni per sollecitazioni esterne.
4. Quale è la strategia più utilizzata per progettare un **circuito di trasduzione di un sensore resistivo?** Perché? Che attenzioni bisogna avere invece nella progettazione di un **circuito di trasduzione di sensori capacitivi?**
- Sensori resistivi di temperatura (sensori passivi):
- I trasduttori per sensori resistivi si basano sull'utilizzo di ponti resistivi combinati con amplificatori da strumentazione (partitore resistivo, ponte resistivo a deflessione e lineare).
-
-
- Sensori capacitivi di livello e di pressione (sensori passivi):
- I condensatori hanno una caratteristica che dipende dalla frequenza, necessitano di essere sollecitati da segnali periodici affinché la loro variazione possa essere apprezzata (se attraversati da DC equivalgono a circuiti aperti). Elemento necessario: generatore di segnali in frequenza o oscillatori che convertono DC in AC + circuiti che convertano le variazioni di capacità in una variazione di frequenza, non standardizzati rispetto ai trasduttori per sensori resistivi.

ARGOMENTO 3

1. Cosa si intende per **multimetro**? Quali sono le sue **specifiche principali**? Come può essere schematizzata in modo semplificato la sua **architettura**?

Il multimetro è uno strumento che può misurare tensioni, correnti (continue e alternate) e resistenze. Le specifiche principali sono:

- **risoluzione**: è la minima variazione del misurando rilevabile, quantifica le prestazioni. Ha la stessa dimensione della grandezza misurata. La risoluzione relativa (al fondo scala) si calcola come rapporto tra la risoluzione dello strumento e la grandezza misurata (Δ_X / X_M);
- **accuratezza**: incertezza composta da 2 termini caratterizzati da parametri specifici.

$$\pm U_X = \pm(k_1 \cdot |X_M| + k_2)$$

con k_1 e k_2 valori tabulati
nel manuale d'uso

k_1 è un fattore **adimensionale**, di norma espresso in "% del valore misurato"

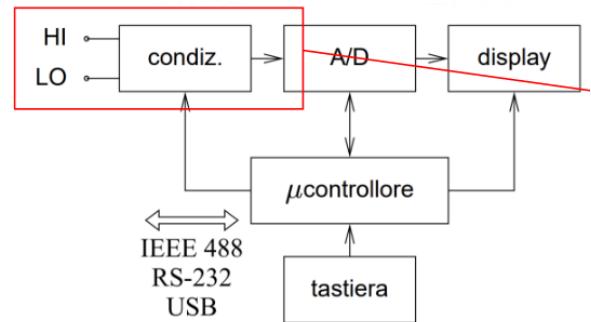
k_2 , invece, **ha la stessa dimensione di X_M** e può essere espresso in due forme, del tutto equivalenti:

- come **multiplo intero del peso della cifra meno significativa**, ossia della risoluzione: $k_2 = k \cdot \Delta X$;
- come **frazione del valore di fondo scala utilizzato**: $k_2 = \gamma \cdot X_{FS}$

N.B. Specifici valori di k_1 e k_2 per diversi intervalli di frequenza

Architettura:

- L'elemento principale è l'ADC:
- Possiede 3/5 terminali di ingresso.
- 4 conduttori di collegamento, ma solitamente sono necessari soltanto 2 terminali.



2. Quali sono le **principali tipologie di misura** che possono essere svolte con un multimetro? Elencale e scegline una da descrivere nel dettaglio.

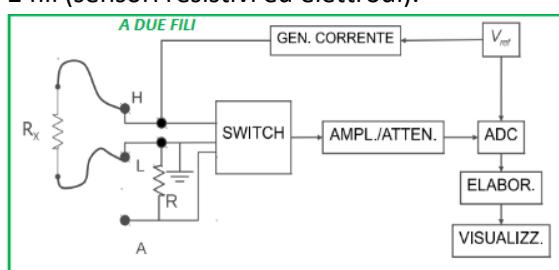
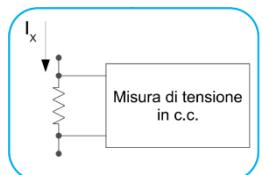
a. Misura di tensione continua

- Segnale in ingresso in tensione attraversa attenuatori e amplificatori impostati in base al valore di fondo scala scelto dall'utilizzatore. Ingresso differenziale, con resistenza di ingresso di $10 \text{ M}\Omega$. Si ha isolamento rispetto a tensioni di modo comune fino a 1 kV .
- Principale fonte di errore: offset (valore di tensione restituito dallo strumento con ingresso cortocircuitato)
- Soluzione: predisporre lo strumento in modo che ad ogni misura di una tensione incognita sia associata una misura con ingresso cortocircuitato, sottratta in modo automatico. Migliorata l'accuratezza a spese della velocità.

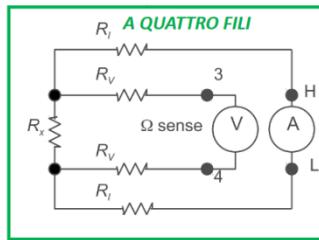
b. Misura di corrente continua: la misura avviene misurando la caduta di tensione della resistenza di shunt;

- utilizzi: misure crono-amperometriche, correnti di leakage.

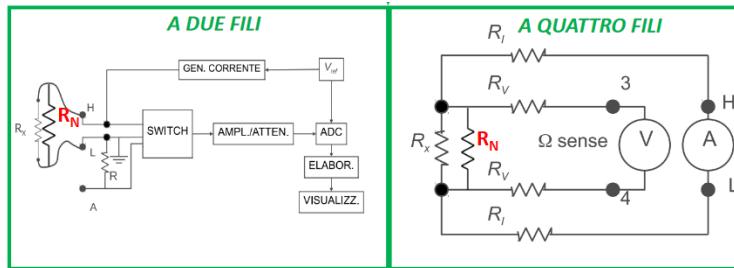
c. Misura di resistenza a 2 fili (sensori resistivi ed elettrodi).



d. Misura di resistenza a 4 fili.



e. Misura resistenze grandi



f. Misura grandezze alternate (sensori capacitivi e induttivi), fornisce un'indicazione dei parametri significativi:

- valore efficace X_{RMS} ;
- valor medio convenzionale X_m ;
- valore di picco X_{pk} ;
- fattore di forma (X_{RMS}/X_m);
- fattore di cresta ($X_{\text{pk}}/X_{\text{RMS}}$)

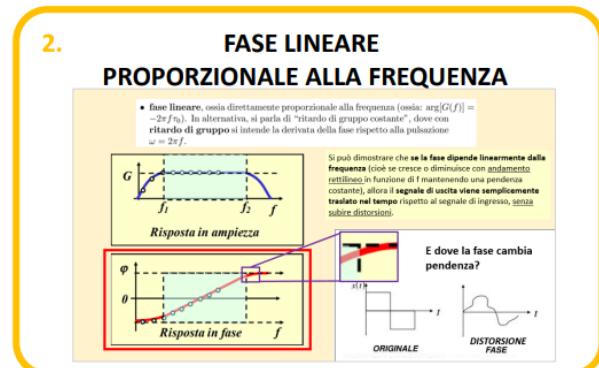
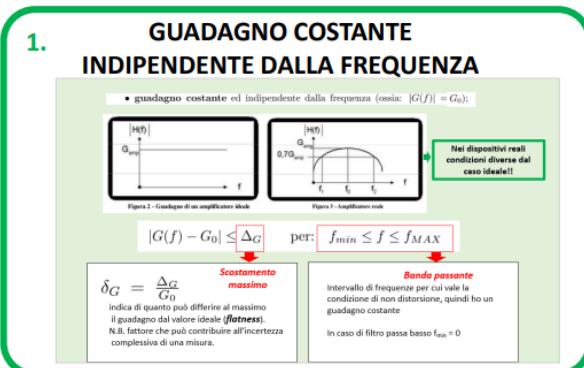
g. Convertitori a valore efficace (per correnti continue): derivatore di corrente, convertendo prima la corrente in una tensione alternata, poi usare un convertitore RMS-DC che converte il segnale alternato in una corrente continua proporzionale al valore efficace; attenzione allo sfasamento tensione-corrente provocato dallo shunt.

ARGOMENTO 4

1. Cosa si intende per **condizionamento** del segnale? Che **condizioni** vanno rispettate?

Elaborazione preliminare del segnale per renderlo adatto al sistema di acquisizione e misura.

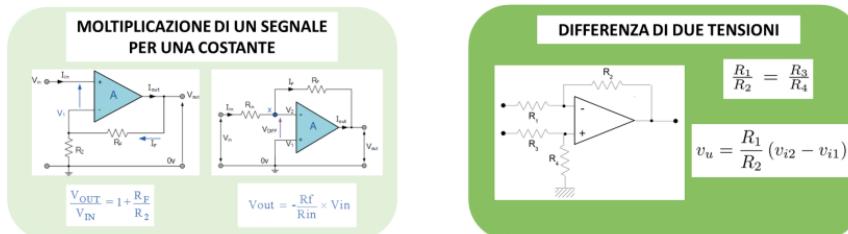
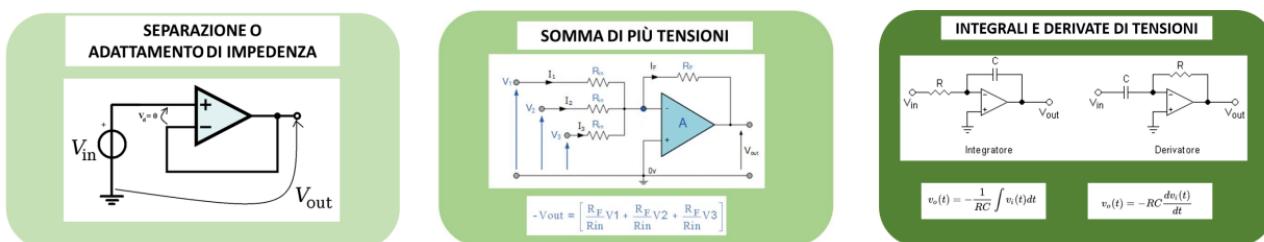
- Funzioni minime da garantire:
 - adattamento del segnale ai limiti posti in uscita;
 - minimizzazione effetto di carico;
 - realizzazione impedenza di uscita adeguata;
 - ottimizzazione rapporto segnale/rumore;
- Condizioni di non distorsione: non alterare le caratteristiche base del segnale.



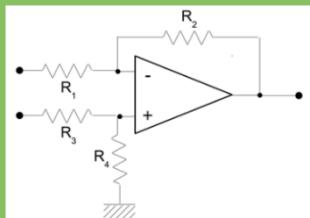
2. Cosa si intende per **amplificatore differenziale**? Come si arriva dalla configurazione base differenziale a quella più comune utilizzata negli INA (amplificatori strumentali)? Perché è così diffuso negli strumenti di misura biomedici? Disegna il suo schema a blocchi e commenta i vari elementi.

Uno dei principali componenti attivi, introduce guadagno, utilizzato in configurazioni ad anello chiuso per compiere operazioni su segnali di ingresso:

- amplificazione infinita;
- R_i (impedenza di ingresso) infinita;
- R_o (impedenza di uscita) nulla;
- corrente assorbita dai due ingressi nulla;
- tensione all'ingresso invertente = tensione all'ingresso non invertente;
- (tensione di uscita ha valore infinito e amplificazione supposta infinita).



DIFFERENZA DI DUE TENSIONI



$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

$$v_u = \frac{R_1}{R_2} (v_{i2} - v_{i1})$$

Uscita proporzionale alla differenza delle tensioni entranti ai due ingressi differenziali.

Configurazione con un singolo amplificatore operazionale: [sovraposizione degli effetti].

$$V_1 = 0 \quad V'_{out} = -V2 \cdot \frac{R3}{R2}$$

$$V_2 = 0 \quad V''_{out} = VI \cdot \frac{R4}{RI+R4} \cdot (1 + \frac{R3}{R2}) = VI \cdot \frac{R4}{RI+R4} \cdot \frac{R2+R3}{R2}$$

$$V_{out} = V_1 + V_2 \quad V_{out} = VI \cdot \frac{R4}{RI+R4} \cdot \frac{R2+R3}{R2} - V2 \cdot \frac{R3}{R2}$$

Se $R_1 = R_2$ e $R_3 = R_4$ oppure se si bilanciano i rapporti,

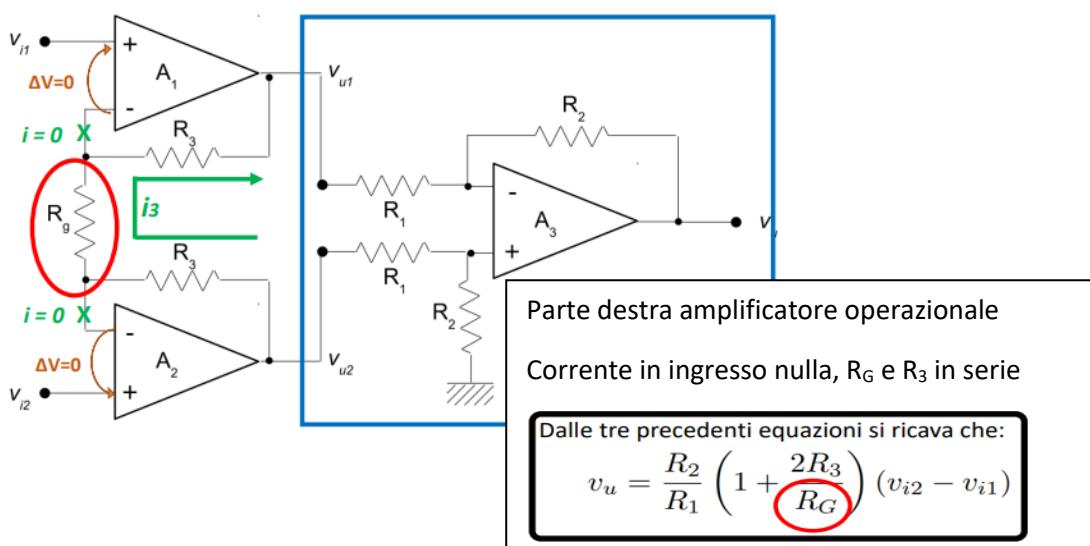
$$V_{out} = VI \cdot \frac{R3}{R2+R3} \cdot \frac{R2+R3}{R2} - V2 \cdot \frac{R3}{R2} = (V_1 - V_2) \frac{R3}{R2}$$

G differenziale

Struttura INA deriva da quella dell'amplificatore differenziale:

- Resistenza di ingresso molto elevata.
- Resistenza di uscita molto piccola.
- Guadagno indipendente dalle sorgenti di segnale.

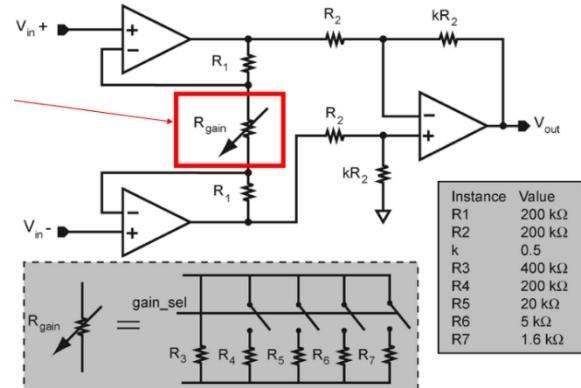
Utilità: i sensori ed elettrodi biomedicali presentano un'elevata impedenza di contatto e devono registrare segnali di ampiezza molto piccola. Per queste motivazioni, l'elevata impedenza di ingresso dell'INA evita l'effetto di carico (ossia parte della corrente legata al segnale utile venga persa perché assorbita dalla strumentazione) con effetti di distorsione.



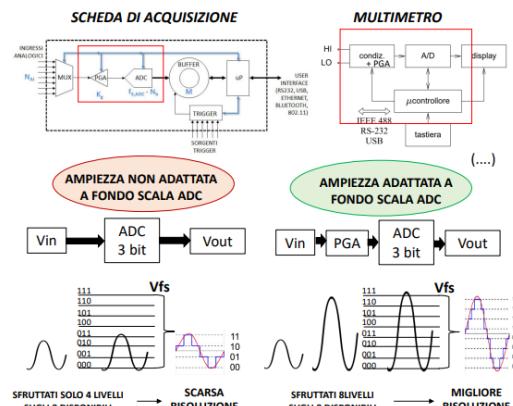
3. Cosa si intende per **amplificatore a guadagno programmabile**? Disegna il suo schema a blocchi e commenta i vari elementi. In che contesti risulta particolarmente utile?

PGA: INA con R_g non fisso ma stabilito con interruttori (controllati mediante segnali digitali), rendendo controllabile il guadagno del dispositivo.

Minimizza l'incertezza introdotta dagli elementi successivi, può regolare l'ampiezza prima della quantizzazione (ampiezza massima prossima al valore di fondo scala del campo di uscita ammesso, massimizzando l'utilizzo dei livelli di quantizzazione disponibili).



Negli strumenti dotati di autoscaling, l'operazione è eseguita in modo automatico, selezionando il guadagno più adeguato del PGA mediante un segnale digitale di comando proveniente da un elemento di controllo, quale un microprocessore.



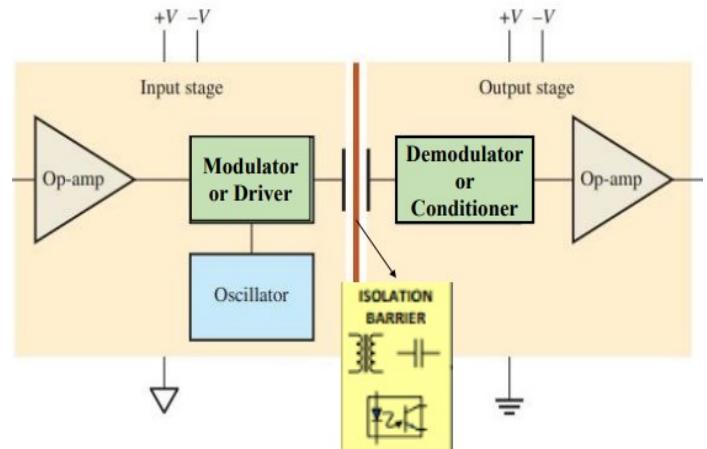
4. Cosa si intende per **amplificatore di isolamento**? Perché è utile nelle misure mediche?

Sono amplificatori differenziali progettati per misurare piccoli segnali di corrente e tensione in presenza di alta tensione di modo comune, proteggendo i componenti di acquisizione da tali tensioni. Aggiunge alla riduzione delle correnti di modo comune garantita dalla configurazione con floating input e floating ground anche la sicurezza elettrica per il paziente, isolando il lato del circuito che riceve la sorgente e quello che fornisce il valore di uscita.

Utilità in ambito biomedico:

- Interesse per piccole variazioni di segnale in presenza di ampie tensioni di modo comune.
- Nessun riferimento predefinito all'interno dell'organismo (massa).
- Percorso da un punto qualsiasi del corpo verso il potenziale di terra non è descrivibile con impedenza costante, varia in base al percorso.
- Correnti troppo elevate da strumentazione a paziente possono mettere a rischio la sua sicurezza.

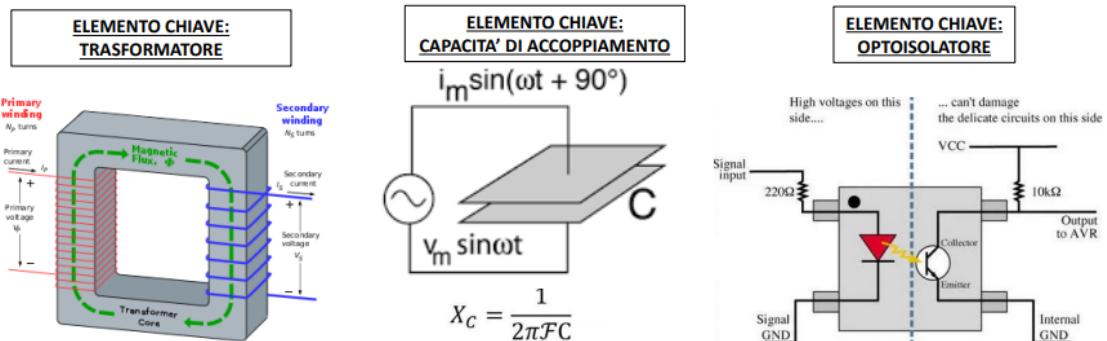
5. Quale principale parametro caratterizza l'**amplificatore di isolamento**? Spiegalo e illustrane il significato in relazione a un generico schema a blocchi di un amplificatore di isolamento.

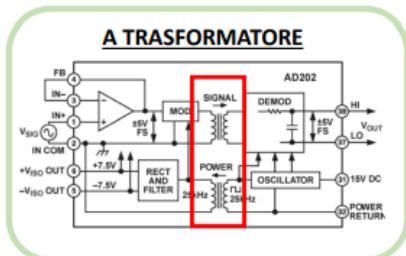


Isolation Mode Rejection Ratio (IMRR): rapporto tra la tensione di isolamento (V_{ISO}) e tensione di uscita indotta (V_{ERR}).

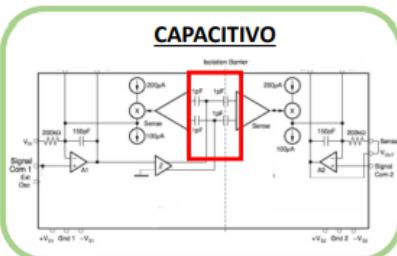
$$IMRR = V_{ISO}/V_{ERR}$$

6. Elenca i principali principi di accoppiamento tramite cui può essere realizzato un **amplificatore di isolamento** e descrivi in modo generale il funzionamento di uno a scelta.

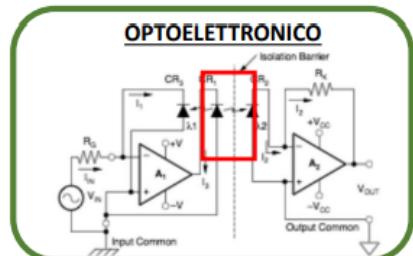




- Valori di tensione di isolamento limite > 1 kV e IMRR > 100 dB
- L'accoppiamento ha luogo totalmente in forma analogica.
- Banda passante massima legata a performance di oscillatore/modulatore.
- **Basso consumo energetico**
- Poca immunità a rumori
- **Degradazione meno rapida con il tempo**



- Valori di tensione di isolamento limite > 1 kV e IMRR > 100 dB
- L'accoppiamento ha luogo totalmente in forma analogica.
- Banda passante massima legata a performance di oscillatore/modulatore.
- Medio consumo energetico
- **Elevata immunità a rumori**
- **Degradazione meno rapida con il tempo**

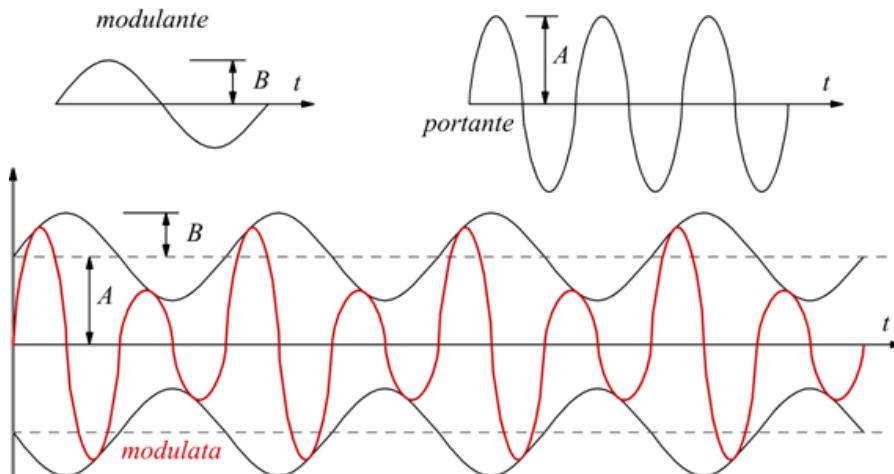


- Valori di tensione di isolamento limite > 1 kV e IMRR > 100 dB
- Alcuni analogici, ma spesso il segnale viene prima convertito in forma digitale, riducendo i costi.
- Minori limitazioni di banda passante
- Elevato consumo energetico
- **Elevata immunità a rumori**
- Degradazione più rapida con il tempo
- **Ben consolidati sul mercato, convenienti per applicazioni lente**

Amplificatore di isolamento a trasformatore:

Il segnale di interesse viene utilizzato per modulare un segnale portante ad alta frequenza ed il segnale risultante viene trasferito attraverso un trasformatore per essere poi ricostruito, all'altro lato del dispositivo, attraverso una demodulazione.

1. **Modulatore:** segnale moltiplica una portante ad alta frequenza che lo modula in ampiezza.
2. **Circuito magnetico trasformatore:** segnale viene trasferito inalterato al demodulatore.
3. **Filtro passa-basso:** segnale modulato, moltiplicato per la portante passa attraverso il filtro per estrarre la componente in banda base.

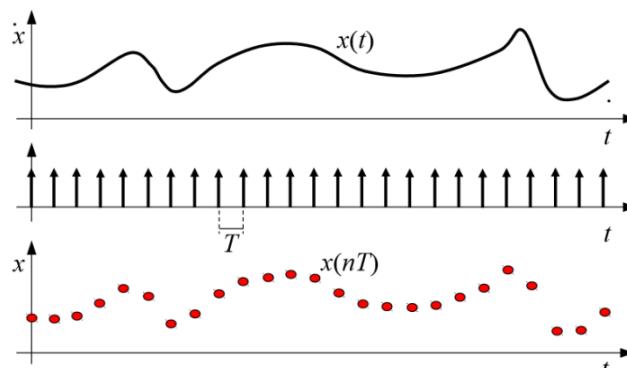


ARGOMENTO 5

1. Cosa si intende per **campionamento** di un segnale? Che condizioni sono poste dalla teoria? Come si riflettono sulla **pratica**? Cosa si intende per **aliasing**? Come può essere evitato?

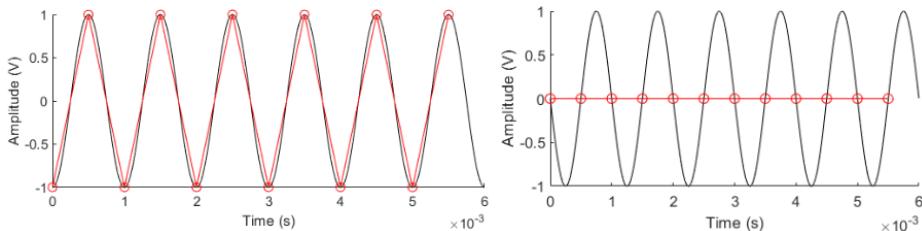


Il campionamento permette di **discretizzare** la variabile **tempo** moltiplicando il segnale per un treno di impulsi periodico T :

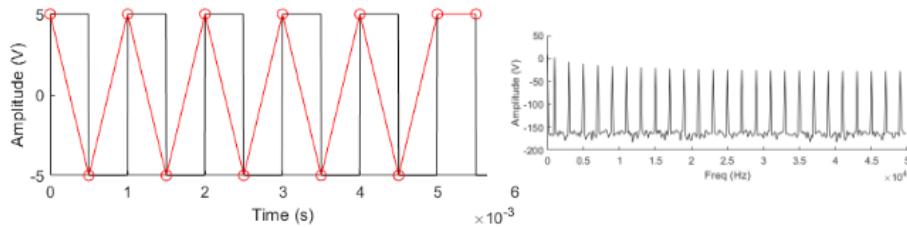


In pratica:

- Campionamento deve essere sincronizzato con massimi e minimi del segnale sinusoidale.

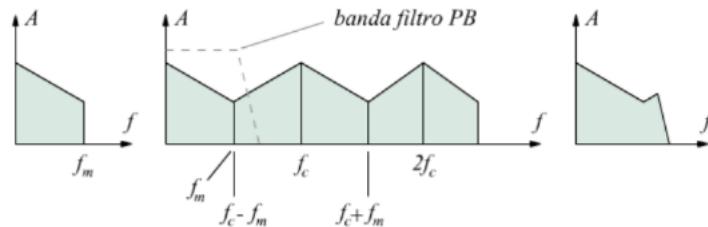


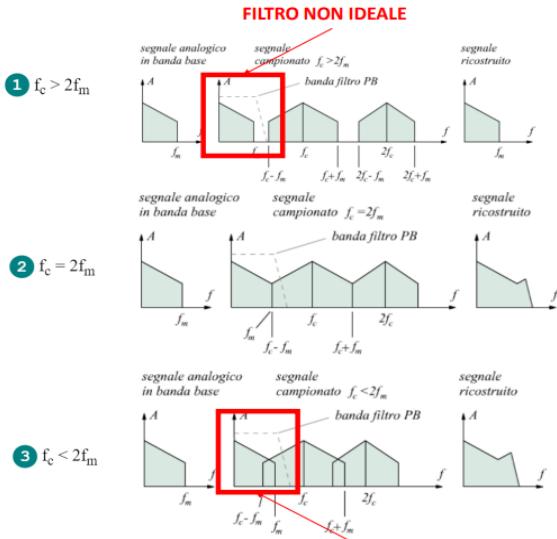
- Il segnale deve essere a banda limitata (individuabile una frequenza massima).



- Per ricostruire il segnale sinusoidale occorre un filtro passa-basso che elimina tutte le armoniche superiori alla frequenza massima e non attenua le altre nel segnale campionato (impossibile).

segnale analogico
in banda base segnale
campionato $f_c = 2f_m$ segnale
ricostruito





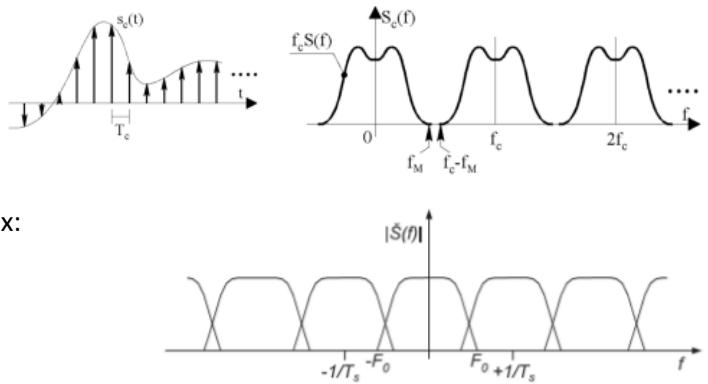
Il segnale può essere agevolmente ricostruito con un filtro passabasso con frequenza di taglio $f_m < f_t < f_c - f_m$

Il teorema di Shannon è formalmente rispettato ma l'impossibilità di usufruire di un filtro passa-basso ideale con pendenza infinita per la ricostruzione provoca effetti di distorsione (minori distorsioni maggiore è la pendenza del filtro)

Il teorema di Shannon non è formalmente rispettato, non è possibile ricostruire il segnale perché vengono perse informazioni utili, indipendentemente dal filtro usato. **Nei segnali reali un minimo d'aliasing sempre presente a causa della banda non limitata**

PERDITA DI INFORMAZIONI CAUSA ALIASING

Lo spettro del segnale campionato è la ripetizione periodica ($1/T_s$) di quello del segnale continuo originale.

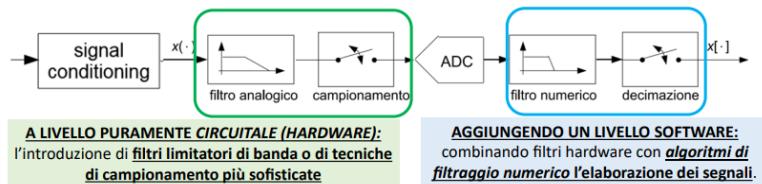


Nel caso di sotto-campionamento $f_s < 2F_{\max}$:
le ripetizioni di $S(f)$ si sovrappongono

Buona regola pratica:
 $f_c > 3 * f_{\max}$
 Per la maggior parte dei segnali consigliato
 $f_c > 5 * f_{\max}$

2. Cosa si intende per filtro anti-aliasing? Come può essere implementato? Che caratteristiche ha?

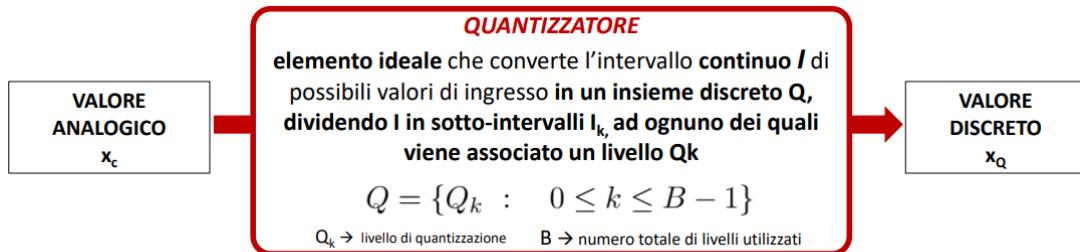
Una volta scelta la frequenza di campionamento, qualsiasi componente con $f > 1/2 F_c$ potrebbe dare aliasing.



Il filtro anti-aliasing attenua l'ampiezza delle componenti della banda di transizione per ridurre il sovra-campionamento, evitando distorsioni del segnale.

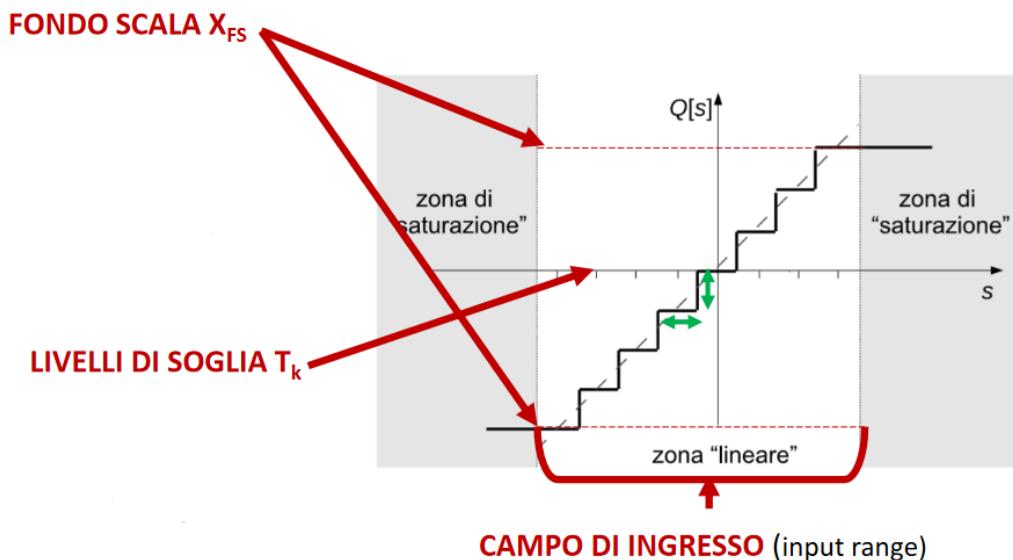
$$\frac{B_0}{B} \rightarrow \text{Fattore di sovraccampionamento}$$

3. Cosa si intende per **quantizzazione**? Che **parametri di progetto** vanno definiti per realizzare un quantizzatore? Come vengono **codificate** le ampiezze quantizzate? Come viene definito l'**errore di quantizzazione**? Che caratteristiche ha?



$$x_q = Q(x_c), \quad x_c \in \mathcal{I}, \quad x_q \in Q$$

- Parametri di progetto:
 - X_{FS} (valore estremo dell'uscita quantizzata, noto e costante).
 - T_k (estremi dei sotto-intervalli).
 - Campo di ingresso (range in cui è compreso il segnale da quantizzare).
 - Passo di quantizzazione Δ (distanza costante tra due livelli di soglia adiacenti è uguale alla distanza costante tra due livelli di quantizzazione adiacenti - quantizzatore uniforme a pendenza media unitaria). Il passo è definito dal rapporto tra il campo di ingresso e il numero di livelli a disposizione.



- **Codifica binaria:** al livello viene fatto corrispondere il numero k in forma binaria tramite n bit (progressiva o complemento a 2).

n bit $\rightarrow 2^n$ livelli \rightarrow risoluzione

ERRORE DI QUANTIZZAZIONE o di granularità

$$e_q(x_c) = x_q - x_c = Q(x_c) - x_c$$

Per un quantizzatore uniforme per arrotondamento con un numero di livelli sufficientemente elevato valgono le seguenti proprietà:

1. $-\frac{1}{2}\Delta < e_R(x_s) \leq \frac{1}{2}\Delta$
2. Errore considerabile come sequenza di **variabili aleatorie**, indipendenti tra loro e dal segnale campionato $x_c(nT_S)$ (**sequenze correlate**)
3. Quantizzazione descrivibile con un semplice modello additivo: $x_q = x_c + e_q(x_c)$
4. Errore **rumore bianco uniforme** in quanto **uniformemente distribuito nell'intervallo** $(-\Delta/2, +\Delta/2)$

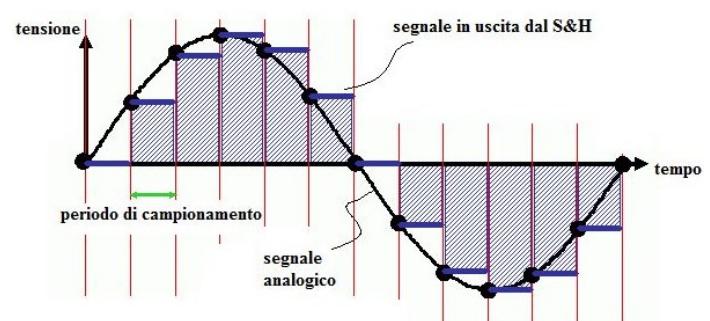
valore medio:	$E[e_q(nT_S)] = 0$
varianza:	$E[e_q^2(nT_S)] = \frac{\Delta^2}{12}$
correlazione: se: $m \neq n$	$E[e_q(nT_S)e_q(mT_S)] = 0$

Bit più significativo (MSB) \rightarrow con valore maggiore o di segno
 Bit meno significativo (LSB) \rightarrow con valore minore, indica la **risoluzione**

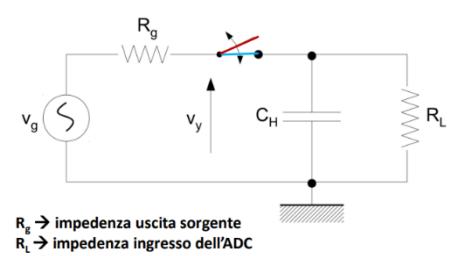
4. Cosa è il Sample and Hold? Perché serve? Da che componenti è composto? Perché?

Elemento fondamentale per consentire le operazioni di campionamento quando il segnale ha un contenuto in frequenza troppo alto rispetto a quello dell'ADC.

S&H “congela” il valore del segnale negli istanti di campionamento (sample) e lo mantiene costante (hold) per un tempo sufficiente a far lavorare l'ADC che esegue la quantizzazione (tutto T_{ADC}).

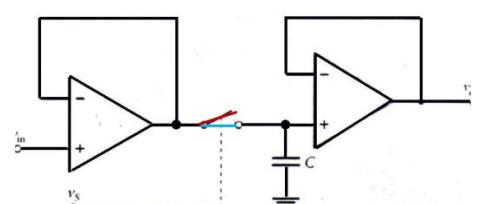


A livello circuitale per garantire il rispetto dei requisiti di carica rapida e scarica lenta richiesti vengono utilizzati degli inseguitori di tensione (sample richiede C_H molto piccola, hold richiede C_H grande): diminuire la resistenza vista dal condensatore in fase di carica e di aumentarla in fase di scarica.



Sample: carica/scarica rapida condensatore (CHIUSO)

Hold: scarica molto lenta condensatore (APERTO)



I parametri che descrivono le performances dei SHA si riferiscono alle tempistiche di apertura dell'interruttore sia in termini assoluti (tempo di apertura nominale) che in termini di incertezza (tempo di jitter).

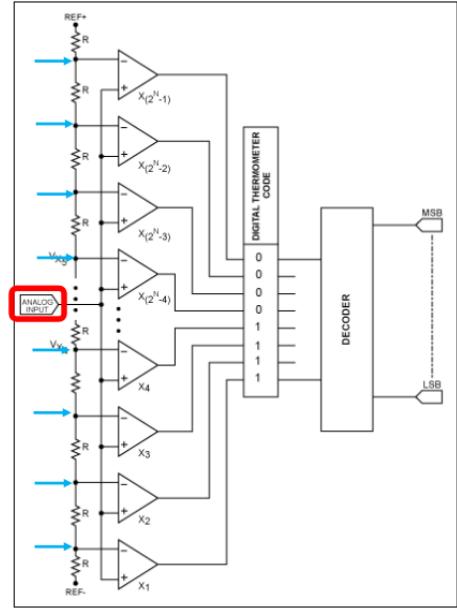
$$T_{APeff} = T_{APnom} + \Delta T_{AP}$$

(tiene conto sia delle caratteristiche nominali dello specifico componente, che della sua accuratezza)

5. -Cosa è un ADC? Quali sono le principali categorie? Che differenze ci sono?

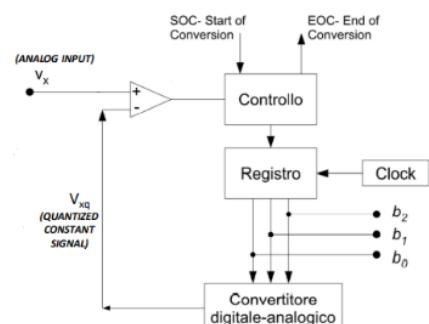
Elemento che trasforma il segnale analogico in uscita dal S&H in un segnale digitale in cui ogni campione è rappresentato da una parola binaria di n bit.

- Paralleli/flash converter:
 - elevata cadenza di campionamento a svantaggio del numero di bit, oscilloscopi digitali e strumenti con bande ampie di frequenza.
- Ad approssimazioni successive:
 - compromesso tra semplicità circuitale e velocità di conversione, sistemi di acquisizione fino alle medie frequenze.
- Ad integrazione:
 - gli unici a conversione non istantanea, possibilità di effettuare reiezione del rumore, assicurando risoluzione e accuratezza. Richiedono un tempo di conversione dell'ordine dei ms (multimetri digitali o in strumenti con basse frequenze).



Elementi comuni:

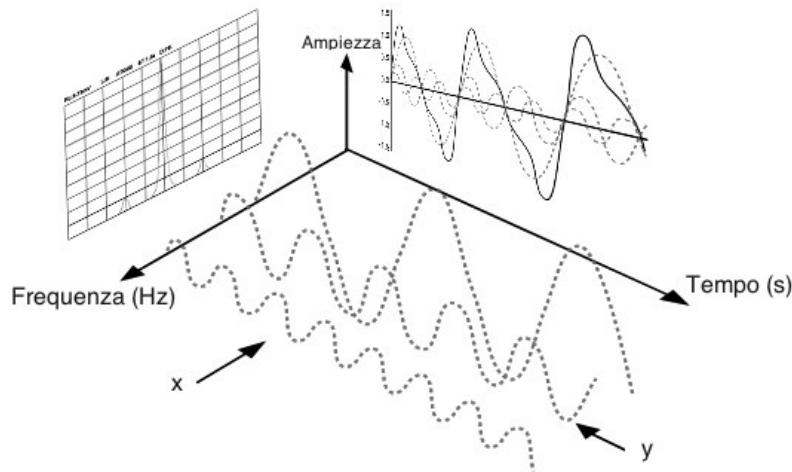
1. eseguire un confronto tra la grandezza di ingresso ed una grandezza di riferimento omogenea e nota, restituendo in uscita un valore quantizzato in termini di parola binaria:
 - a. riferimento di tensione;
 - b. circuiti comparatori.
2. incorporare elementi circuituali essenziali per la corretta temporizzazione di tutte le operazioni:
 - a. segnali di controllo;
 - b. SHA.



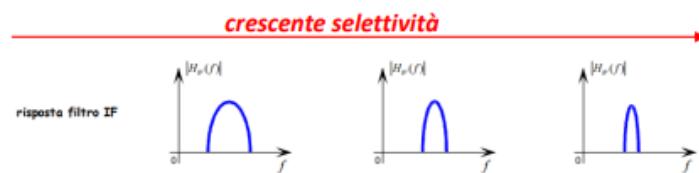
ARGOMENTO 6

1. Cosa si intende per **analisi spettrale**? Per che ambiti è utile? Che **strumento** dedicato può essere utilizzato?

Rappresentazione delle componenti in frequenza di un segnale.

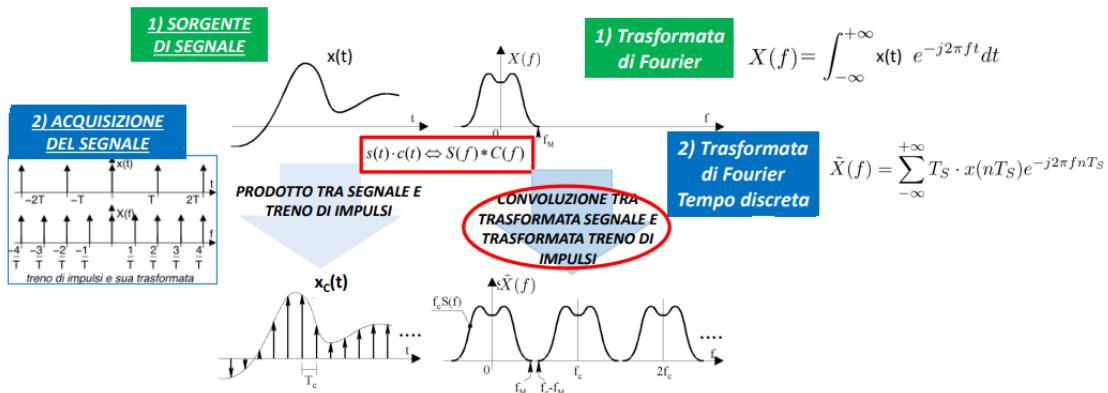


Analizzatori di spettro analogici: strumenti dedicati che eseguono l'analisi direttamente sul segnale in forma analogica (insostituibili per segnali dell'ordine dei GHz); utilizzo di filtri selettivi come filtro passa banda simmetrico.



Analizzatori di spettro digitali: si utilizzano oscilloscopi digitali fino a frequenze dell'ordine dei MHz; utilizzo algoritmo numerico.

2. Che cosa si intende per **finestra di osservazione**? Da che parametri è caratterizzata?



Partendo dalla definizione di convoluzione:

$$\tilde{X}(f) = X(f) * f_c \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(f - kf_c)$$

Otengo la relazione tra

$$X(f) \text{ e } \tilde{X}(f)$$

$$\tilde{X}(f) = \frac{1}{T_S} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} X\left(f - k \frac{1}{T_S}\right)$$

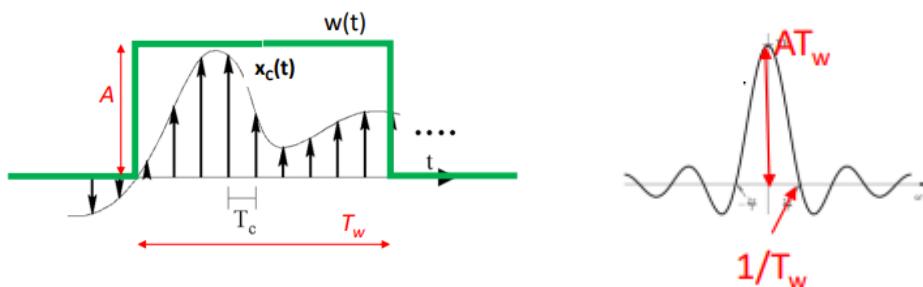
Con $1/T_S = f_c$

(*)

Lo spettro del segnale campionato è la ripetizione periodica, con periodo $1/T_S$, di quello del segnale continuo.

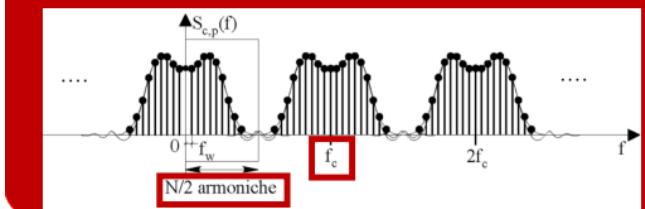
$$T_S \cdot \tilde{X}(f) = X(f) \text{ per } -\frac{1}{2T_S} < f < +\frac{1}{2T_S}$$

(*) numero infinito di componenti MA memoria limitata → DTFT non implementabile con algoritmo → **finestra di osservazione temporale** → DFT



La porzione del segnale viene prelevata attraverso una **finestra temporale/di osservazione**. Lo spettro del segnale campionato e troncato (N numeri) si ottiene dalla convoluzione tra DTFT e trasformata della finestra.

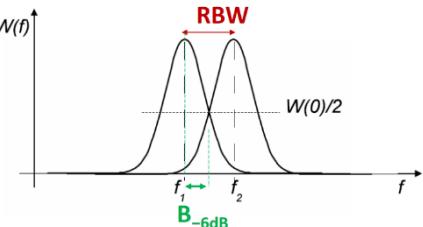
Otteniamo così la trasformata discreta di Fourier (Discrete Fourier Transform, DFT), periodica di periodo f_c , strumento che consente di valutare il contenuto armonico in tale intervallo mediante un numero $N/2$ di componenti discrete.



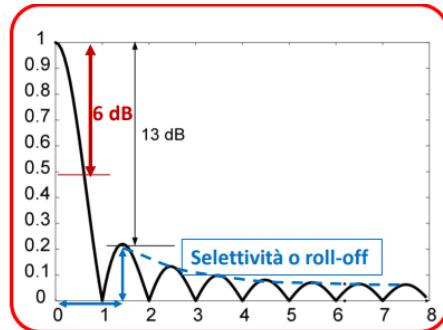
La scelta del tempo T_w influenza la densità dello spettro e la granularità in frequenza: un intervallo troppo breve distanza troppo le varie armoniche rendendo meno significativi i singoli valori.

Parametri caratteristici in frequenza (finestra rettangolare):

- lobo centrale: inversamente proporzionale alla durata della finestra nel tempo;
- lobi laterali: ampiezza decrescente, larghezza pari a metà di quella del lobo centrale;
- banda di risoluzione di frequenza (RBW): parametro che esprime un'indicazione quantitativa della risoluzione, è data dall'intervallo di frequenze pari alla minima separazione rilevabile; indicata con la banda a -6dB (valore di frequenza alla quale l'attenuazione prodotta è di 6dB), normalizzata rispetto al passo di quantizzazione in frequenza;



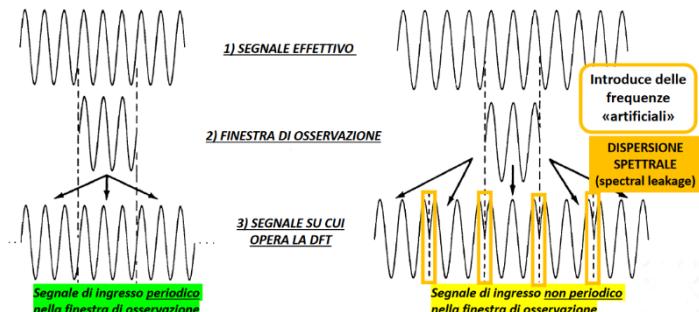
- selettività o roll off: relazione che lega l'ampiezza dei lobi laterali alla loro distanza dal lobo centrale, -20dB/decade.



3. Cosa si intende per dispersione spettrale? Da cosa dipende? Come può essere limitata?

L'osservazione di un numero non intero di periodi all'interno della finestra di osservazione produce delle discontinuità nel segnale che viene analizzato dalla DFT e questo introduce frequenze "artificiali".

(algoritmo DFT opera su una porzione limitata del segnale di ingresso ed è basato sull'assunto che tale porzione sia ripetuta nel tempo, cioè non opera sul segnale originario).



Lo scostamento della stima dell'ampiezza delle componenti presenti nel segnale viene definito scalloping loss e può essere ridotto o considerando un numero esatto di periodi nella finestra di osservazione, oppure attraverso la scelta di opportune finestre di osservazione diverse dalla rettangolare.

4. Cosa si intende per granularità in frequenza? Da cosa dipende?

<i>Da progetto:</i> fc : frequenza di campionamento (SHA, ADC) Parametro variabile (compatibilmente con memoria): \rightarrow Tw : finestra di osservazione	$T_w = N/f_c$ N =numero di campioni
---	---

1. **fc** determina la **distanza dei campioni nel tempo e il passo di ripetizione dello spettro**, con pericoli di sovrapposizione (cioè di aliasing) dello spettro base con quelli replicati. \rightarrow 'densità' nel tempo.
2. La scelta di **Tw** (dato un **fc** fisso) influenza il numero di armoniche in banda base e essendo appunto **fc** fisso a numero maggiore di armoniche corrisponderà una **minore distanza tra le stesse ($F=1/Tw$, granularità)**. \rightarrow 'densità' in frequenza

L'asse delle frequenze è quantizzato con passo di quantizzazione (o granularità in frequenza) pari a $F = 1/(NT_s) = 1/T_w$. La granularità è la risoluzione con cui è possibile analizzare o rappresentare le frequenze all'interno di un determinato intervallo; è inversamente proporzionale alla finestra di osservazione.

5. Quali sono le **finestre più comuni** utilizzate? Che differenze ci sono? **Come si sceglie** la finestra migliore sulla base del segnale che dobbiamo analizzare?

- Finestra **rettangolare** (uniforme)

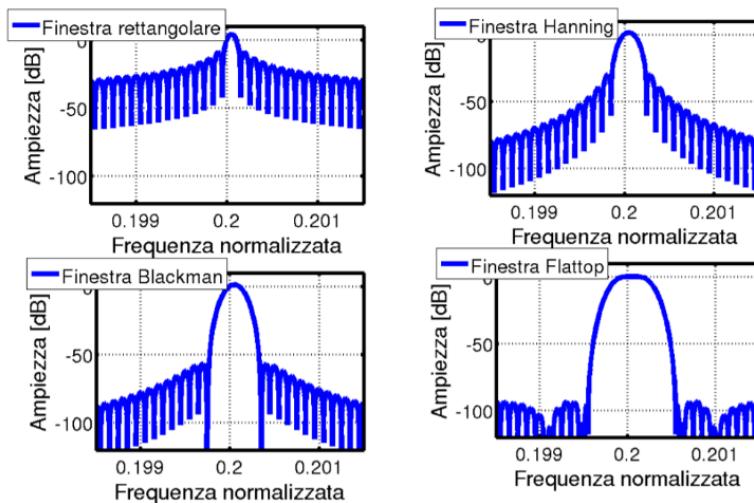
- Contro: lobi laterali con ampiezze che rimangono elevate → interferenza spettrale.
- Contro: contributi di più componenti non distinte si combinano e si sovrappongono in modo imprevedibile.

Utilizzare una finestra diversa da quella uniforme comporta un ulteriore passo di elaborazione: L'impiego di una finestra diversa comporta che **ciascun campione del segnale venga effettivamente moltiplicato ("pesato") per il corrispondente campione della finestra.**



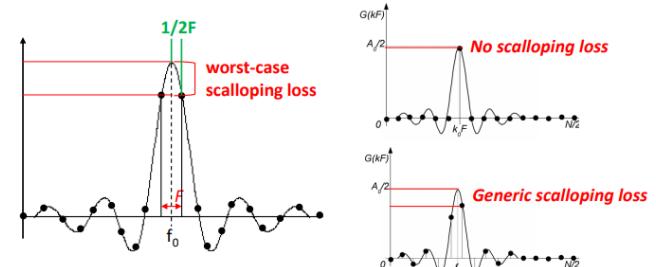
- Finestra **non rettangolare**:

- Lobo principale più largo e più piatto, lobi secondari più bassi: riduzione scalloping loss e interferenza spettrale, peggiore discriminazione delle componenti vicine perché il lobo più largo allarga la banda di risoluzione.



Criteri di scelta:

- WCSL (Worst Case Scalloping Loss): caso in cui frequenza effettiva della componente cade esattamente a metà del passo di quantizzazione, scostamento tra frequenza effettiva e frequenze più vicine pari a $1/2F$
- Se si aumenta il fattore di decadimento dei lobi laterali, aumenta la larghezza del lobo centrale (e di conseguenza anche la banda a -6dB).
- Finestre con lobi laterali più alti provocano maggiore interferenza spettrale e possono rendere più difficile la stima della componente di rumore.



- ENBW (Equivalent Noise Bandwidth): parametro che indica quanto rumore provoca la finestratura, ossia l'ampiezza di banda in bin di frequenza (singola componente dello spettro) che avrebbe un ideale brick-wall-filter con uguale potenza rispetto a quella accumulata dalla risposta in frequenza della finestra scelta.

Finestra	WCSL [dB]	attenuazione minima lobi laterali [dB]	larghezza lobo princ. [bin]	banda a -6dB [bin]	ENBW [bin]
uniforme	3.92	13	2	1.21	1
Hann (<i>Hanning</i>)	1.42	32	4	2	1.5
Blackman-Harris	1.13	71	6	2.27	1.71
flat-top	< 0.01	93	10	4.58	3.77

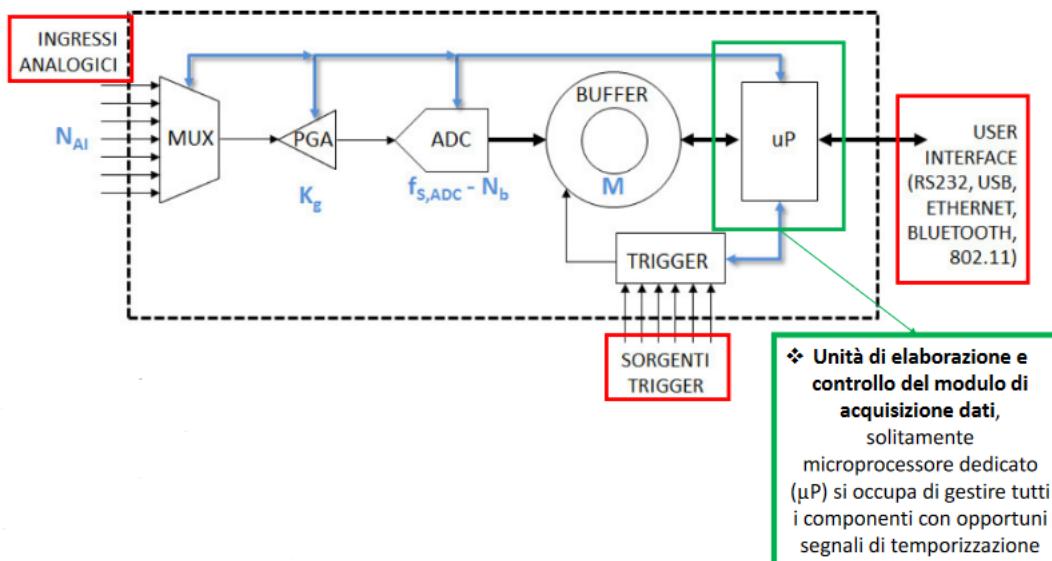
ARGOMENTO 7

- Quali sono gli elementi di un **sistema di acquisizione**? A cosa serve in un sistema di acquisizione il **modulo programmabile di acquisizione dati**? Che vantaggi dà?

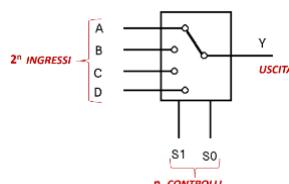
Il modulo programmabile serve a salvare, trasmettere e consentire l'elaborazione di segnali acquisiti; è caratterizzato da:

- flessibilità;
- adattabilità;
- facilità di reimpegno;
- riduzione del tempo di progettazione e realizzazione di un sistema di misura.

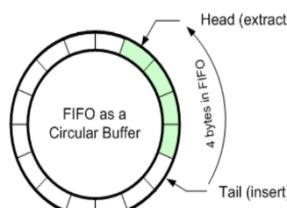
- Quale è la **struttura interna** di un modulo di acquisizione programmabile DAQ? A cosa servono i vari elementi?



- MUX, multiplexer**: selettore di ingressi tramite segnali di temporizzazione ricevuti dal microcontrollore, il segnale non deve andare incontro a distorsione e attenuazione.



- PGA**: adatta il segnale analogico in uscita dal MUX al range di valori dell'ADC.
- ADC**: campiona il segnale condizionato e lo converte in forma numerica + **SHA** che mantiene costante il segnale durante la conversione T_{ADC} .
- Buffer di memoria**: memoria di transito che compensa differenze di velocità trasferimento e trasmissione; di tipo FIFO o buffer circolare.



- μP**: invia segnali di start al buffer e ne riceve i campioni da elaborare.

6. **Blocco di trigger:** riceve i segnali di sincronizzazione esterni e li trasmette al buffer per sincronizzare la memorizzazione e gestire la memoria.
7. **Interfaccia comunicazione:** serve per programmare il modulo DAQ, trasmettere e ricevere il risultato.

3. Cosa si intende per acquisizione simultanea e non simultanea?

La posizione e il numero dei SHA possono variare → gestione conversione e tempistiche acquisizione dati.

Non simultanea	Simultanea
1 SHA	multipli SHA (canali d'ingresso)
I campioni usati nella conversione si riferiscono a istanti di tempo successivi distanti $T_{S,ADC}$	Tutti ricevono un segnale di controllo nello stesso istante dal μP con cadenza f_s . I campioni sono riferiti tutti allo stesso istante.
μP gestisce la temporizzazione segnali: ogni $T_{S,ADC}$ invia un nuovo indirizzo al MUX per iniziare una nuova conversione. Quando il MUX è stabilizzato dal segnale di sample all'amplificatore, inizia la conversione.	Fase di hold tale da consentire una completa scansione di tutti gli ingressi, almeno pari a T_S e proporzionale al numero di ingressi. → aumenta numero componenti → aumenta l'hold

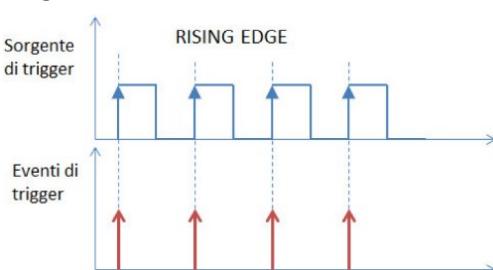


4. Con che modalità può avvenire l'acquisizione? Cosa si intende per segnale trigger? Che segnali possono esser utilizzati?

PREDEFINITA	CONTINUA
Termina dopo l'acquisizione di un numero di campioni prestabilito (se è superiore alle dimensioni del buffer, vengono acquisiti solo gli ultimi tot)	Termina con disattivazione del sistema/reset

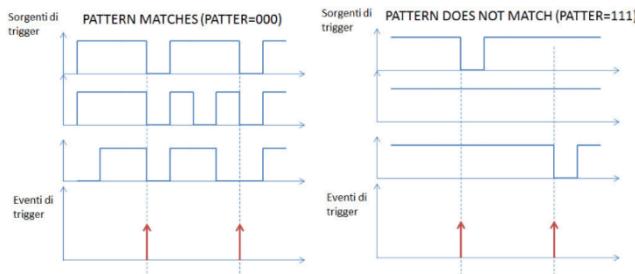
Il blocco di trigger è costituito da un circuito elettronico che riceve in ingresso segnali di trigger e ha il compito di individuare il verificarsi della condizione di trigger necessaria per avviare l'acquisizione.

- Sorgenti digitali
 - Segnale (a 2 livelli logici)
 - Rising/falling edge



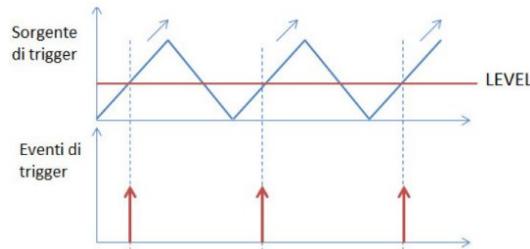
- Parola (combinazione di bit, inizia o termina)

- Pattern does/does not match.

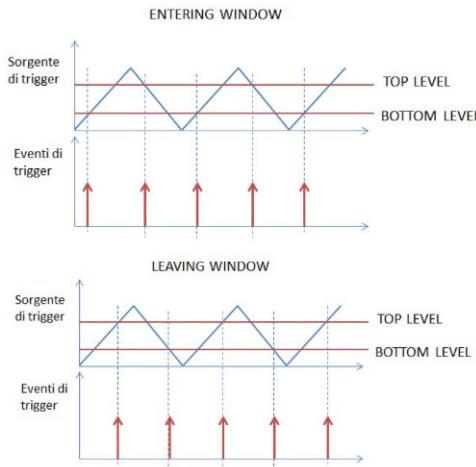


- Sorgenti analogiche

- Rising/falling edge: impostare condizioni sul livello del segnale e sul verso della pendenza.



- Entering/leaving window: impostare estremo superiore e inferiore di una finestra.



5. Come può essere collegato il sistema di misura con la sorgente di segnale? Quali sono le principali **configurazioni** possibili? Che problemi possono sorgere?

Segnali forniti agli ingressi analogici della scheda di acquisizione possono provenire da sensori, sonde o elettrodi di vario tipo, che si possono in tutta generalità considerare semplicemente come sorgenti di segnale.

Si distinguono in particolare:

- sorgenti di tipo differenziale, dove il segnale contenente l'informazione è dato dalla differenza di potenziale tra due terminali; $\Delta V_{mis} = V_{AI0+} - V_{AI0-}$
- sorgenti riferite a massa, dove il segnale corrisponde alla differenza di potenziale tra un terminale ed il potenziale di massa. $\Delta V_{mis} = V_{AI0} - V_{AGND}$

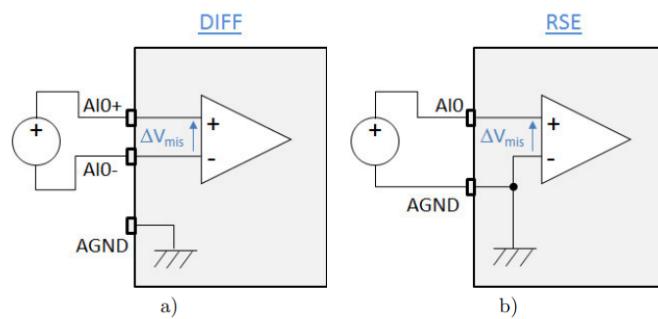
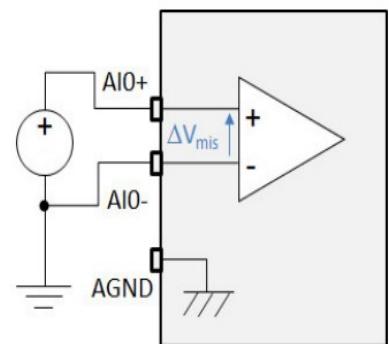


Figura 6.11: Collegamento di una sorgente differenziale di segnale ad una scheda di acquisizione: a) con ingresso differenziale; b) con riferimento di ingresso vincolato al potenziale di massa.

- sorgenti vincolate a terra: è bene evitare di collegare il riferimento di terra della sorgente con il riferimento di terra della scheda DAQ perché si creerebbe una maglia conduttriva attraverso la quale diverse sorgenti di segnale si concatenano al segnale utile portando ad un notevole degrado del segnale proveniente dal sensore.



ARGOMENTO 8

1. Quali sono le principali **funzionalità di un oscilloscopio**? Quale è il suo **schema funzionale**? Che parte risulta modificata nel passare da un oscilloscopio analogico a uno digitale?

Metodo più immediato per valutare le caratteristiche di un segnale visualizzandone l'andamento nel tempo e analizzandolo in frequenza (solo digitali).

- Parte ANALOGICA:
 - canale di ingresso;
 - sezione di sincronismo;
 - sonde di collegamento (passive).
 - Parte DIGITALE:
 - acquisizione;
 - memoria;
 - visualizzazione.
-
- Oscilloscopio analogico: segnale di ingresso, dopo un limitato condizionamento, viene inviato al sistema di visualizzazione (no ADC, no memoria post-elaborazione e grafica).
 - Oscilloscopio digitale: segnale, dopo il condizionamento, viene convertito nel dominio numerico, memorizzato e solo successivamente visualizzato/elaborato.

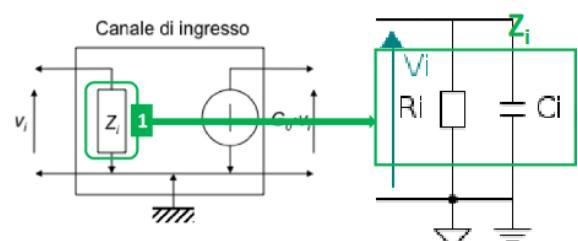
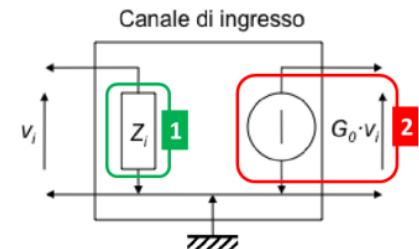
2. Che caratteristiche presentano i **canali di ingresso**? Con che circuito possono essere modellati? Cosa si intende per **impedenza di ingresso**? E per **circuito di accoppiamento**? Disegna uno schema funzionale e descrivi i vari elementi di un generico canale di ingresso.

Doppio bipolo unidirezionale: tensione di uscita fornita da generatore di tensione dipendente, controllato dalla tensione d'ingresso.

Insieme dei circuiti necessari per avere adeguata impedenza d'ingresso e adeguata amplificazione/attenuazione.

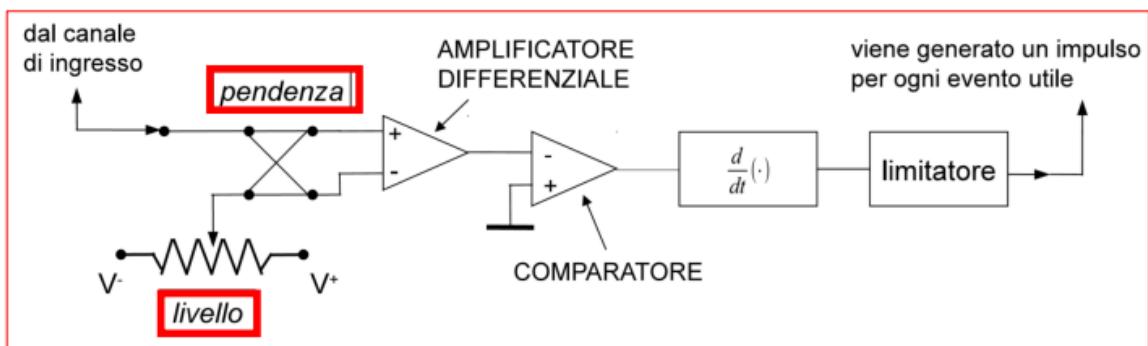
Ciascun canale di ingresso è costituito da un insieme di circuiti di cui è possibile variare le impostazioni, nello specifico: circuiti di accoppiamento (in DC per segnali in continua e in AC, con capacità di accoppiamento, per segnali alternati), amplificatori programmabili e attenuatori.

Z_i (impedenza equivalente d'ingresso): parallelo di una resistenza di valore standard $R_i = 1 \text{ M}\Omega$ ed una capacità C_i nell'ordine di decine di pF, valori che assicurano alle basse frequenze un modulo coincidente con R_i e all'aumentare della frequenza dei segnali una diminuzione sensibile dell'impedenza totale proporzionale alla frequenza.



3. Come è strutturata la sezione di sincronismo? Che ruolo hanno i principali componenti utilizzati per realizzarla?

- Blocco estrazione segnale di sincronismo: ad ogni canale è associato un circuito, individua un punto di riferimento nella forma d'onda.
- Blocco generazione segnale di sincronismo: combina ed elabora diversi segnali di sincronismo per elaborare il comando effettivo di sincronizzazione (anche segnale esterno in aggiunta o in sostituzione).
- **CIRCUITO DI TRIGGER**: genera un impulso in corrispondenza ad ogni evento utile, individuato da una condizione di livello e pendenza.
 - Amplificatore differenziale + comparatore: rileva se il segnale attraversa un livello di riferimento.
 - Derivatore: rileva la pendenza con cui il segnale attraversa il livello: il segnale di ingresso viene derivato fornendo un treno di impulsi positivi e negativi.
 - Tosatore/Limitatore: mantiene solo impulsi positivi o negativi.



- **HOLD OFF**: comando che permette di ottenere una traccia stabile e ripetitiva, tenendo in considerazione insieme sia le caratteristiche del segnale e le tempistiche di lavoro dello strumento, per evitare di prendere in considerazione altri impulsi provenienti dal trigger fino a fine acquisizione e ripristino del sistema.

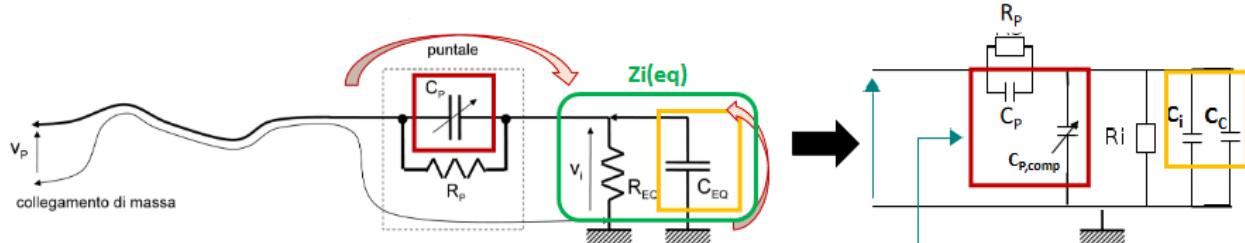
4. Cosa si intende per sonda? Che tipologie esistono? Che modello può essere usato per rappresentarla? Cosa si intende per compensazione della sonda? Come varia in frequenza il contributo dei parametri della sonda?

Sonda: qualsiasi elemento che permette di prelevare il segnale d'ingresso e portarlo ai connettori di ingresso dello strumento (parte integrante del circuito di misura e contribuisce a determinarne l'accuratezza complessiva riducendo l'effetto di carico)

PASSIVE	ATTIVE
Adatte a misurare segnali tipici Attenuazione tensione di ingresso Sistemi di compensazione del carico	Segnali ad alta frequenza, deboli, differenziali anche non riferiti a massa Circuiti integrati Alimentazione e buffer

Modello:

- puntale: rete passiva di compensazione (parallelo R_p e C_p)
- cavo coassiale (C_c)
- capacità di regolazione ($C_{p,comp}$)



Quando la sonda è collegata all'oscilloscopio, la rete posta nel puntale viene a trovarsi in serie all'impedenza Z_{ieq} , realizzando con essa un **partitore di tensione**. Il puntale ha la capacità C_p che influisce sulla capacità di ingresso dell'oscilloscopio e ciò crea un effetto di carico che viene attenuato dalla capacità regolabile $C_{p,comp}$ della sonda, in modo da mantenere una attenuazione costante in tutta la banda passante dello strumento.

Parametri della sonda in frequenza:

Infatti, l'impedenza del parallelo tra R_p e C_p è data da:

$$Z_p(\omega) = R_p \frac{1}{1 + j\omega R_p C_p}$$

E analogamente l'impedenza del parallelo tra R_i e C_i è data da:

$$Z_i(\omega) = R_i \frac{1}{1 + j\omega R_i C_{i(eq)}}$$

Rapporto di partizione (V_i : tensione all'ingresso dello strumento, V_p : tensione prelevata dalla sonda)

$$\frac{V_i}{V_p} = \frac{R_i \frac{1}{1 + j\omega R_i C_{i(eq)}}}{R_p \frac{1}{1 + j\omega R_p C_p} + R_i \frac{1}{1 + j\omega R_i C_{i(eq)}}}$$

Se è soddisfatta la **condizione di compensazione**:

$$R_p C_p = R_i C_{i(eq)}$$

talè rapporto diventa indipendente dalla frequenza e resta determinato soltanto da $R_i / (R_p + R_i)$ come nel caso delle tensioni continue.

Il valore di $C_{p,comp}$ è variabile e deve essere regolato in modo da realizzare effettivamente la condizione di compensazione. Il valore C_i non è garantito con la stessa stabilità e ripetibilità di R_i (anche per uno stesso modello di strumento la capacità di ingresso può variare da un esemplare all'altro).

5. Che sottosezioni compongono la **sezione di memoria** del DSO (Digital Storage Oscilloscope)? A cosa servono? Che relazione esiste tra i **campioni salvati in memoria** e quelli visualizzati? Come varia in base al tempo di osservazione selezionato dall'utente?

1. Memoria di acquisizione: **Temporanea**, ha un'elevata velocità. Punto di giunzione tra acquisizione ed elaborazione.
2. Memoria di post-elaborazione:
 - a. **Definita di forma d'onda**, all'interno è trasferita l'intera sequenza di campioni al termine di ogni sequenza di acquisizione.

- b. **Dati disponibili per successive elaborazioni.**
 - c. **Acquisizione || elaborazione**, velocizza il ciclo di funzionamento dello strumento.
3. **Memoria grafica**: Info nel formato schermo.

Con più canali di ingresso, si fa riferimento al numero massimo di campioni associato a ciascun canale, detto **profondità di memoria** dello strumento, la memoria complessivamente disponibile può essere variamente ripartita a seconda del numero di canali di ingresso attivati per la misura.

La regolazione del **fattore di scala orizzontale** dello strumento stabilisce l'intervallo di osservazione T_w presentato sullo schermo dell'oscilloscopio. Poiché il numero di campioni osservati comunque risulta limitato dalla profondità di memoria, attenzione a possibile aliasing introdotto a T_w molto grandi.

6. Come viene creata l'**immagine grafica**? Cosa si intende per **decimazione**? Che differenze ci sono tra la decimazione in fase di acquisizione e grafica? Che modalità esistono?

La visualizzazione avviene generalmente su uno schermo digitale, con scansione dello schermo per righe successive (raster scan) e le informazioni necessarie a costruire l'immagine sono contenute in una memoria grafica, organizzata come matrice di pixel, che contiene per ogni cella informazioni riguardo: posizione, intensità ed eventualmente colore.

La decimazione avviene nel passaggio da memoria di forma d'onda a memoria di visualizzazione; analoga a quella a valle dell'ADC ma senza perdita di informazioni (rimangono in memoria di forma d'onda).

Rapporto T_w/N_v (N_v , elementi decimati) individua l'estensione di un intervallo temporale, all'interno del quale in memoria troviamo un numero di campioni M , corrispondente al fattore di decimazione necessario.

Decimazione → scegliere uno tra questi M campioni

Decimazione uniforme

Mantenuto un campione ogni M con passo di decimazione costante, equivalente a passare ad un intervallo di campionamento uniforme di durata M volte maggiore.

Rivelazione di picco

Mette in evidenza eventi di breve durata ma di ampiezza significativa.

Rivelazione di inviluppo

Mette in evidenza l'inviluppo di un segnale, per quei casi in cui quello che interessa sia la tendenza e non l'andamento campione per campione.

Smoothing/incremento di risoluzione

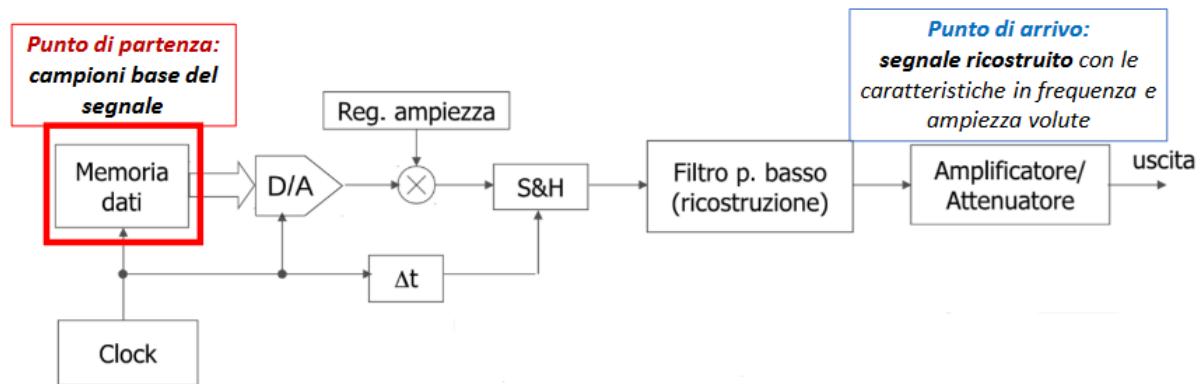
Per ogni sequenza di M campioni si considera il valor medio; riduce irregolarità del segnale

7. Quali sono gli **utilizzi principali** di un generatore di segnali? Che caratteristiche del segnale deve garantire? Quando si parla di **generatore a sintesi digitale**? Da che **elemento chiave** è caratterizzato? Disegna uno schema a blocchi esemplificato.

Generare segnali con determinate caratteristiche in frequenza e ampiezza; servono per realizzare condizioni operative ben definite e ripetibili per la verifica della correttezza di funzionamento e delle prestazioni di un apparato.

Si definiscono generatori digitali tutti quegli strumenti in cui i campioni sono memorizzati in tabelle precostruite, in modo da rendere più rapide ed immediate semplici variazioni come quella della frequenza fondamentale o dell'ampiezza di un segnale.

È PROGETTATO PER EVITARE IL RICALCOLO DEI CAMPIONI AD OGNI MODIFICA DI PARAMETRI, MA PER OPERARE UTILIZZA UN SOLO INSIEME SUFFICIENTEMENTE NUMEROSE DI CAMPIONI DI UN PERIODO DELLA FORMA D'ONDA



8. In un generatore a sintesi digitale, come vengono **regolati i parametri** del segnale (frequenza, fase, ampiezza)? Quali sono le scelte dei parametri di progetto a cui fare attenzione?

I campioni corrispondono a frazioni di periodo uniformemente spaziati (frazioni di periodo, basta che ci sia un numero di campioni adeguato a coprire un periodo intero).

Regolare opportunamente frequenza e fase significa quindi stabilire gli indirizzi corretti a cui andare a leggere i campioni già immagazzinati ad ogni segnale di clock.

L'argomento della funzione periodica sarà interpretabile una volta raccolto come un puntatore alla locazione di memoria in cui si trova il relativo campione.

1. OPZIONE 1: lettura tramite decimazione (un campione ogni indirizzo A, a seconda del valore in base a $f_0 T_S$) MA limita la scelta della frequenza.
2. OPZIONE 2: aggiunto un registro con j bit $>>$ k bit in modo da consentire di rappresentare anche la parte decimale degli indirizzi ottenuti dopo la scelta dei parametri.

La regolazione dell'ampiezza avviene invece grazie ad un convertitore analogico digitale con voltaggio di riferimento regolabile, oppure utilizzando, a valle del DAC attenuatori e/o amplificatori programmabili (anche entrambe i metodi).

ARGOMENTO 9

1. Cosa si intende per **certificazione europea (CE)**? Da che fasi è caratterizzata? Per quali dispositivi è necessaria? Perché è utile? Come si **classificano** i dispositivi medici?

Procedura in base alla quale un organismo notificato verifica che un esemplare rappresentativo di una determinata produzione soddisfi i requisiti essenziali della direttiva che lo riguarda. È necessaria per i dispositivi per i quali sono obbligatorie basi documentali e metodologiche per la gestione del rischio.

È caratterizzata da:

1. *Classificazione* del dispositivo in classi.
2. *Verifica del rispetto dei requisiti essenziali*: requisiti di sicurezza che dispositivi e sistema produttivo adottato alla fabbricazione devono possedere.
3. *Dichiarazione di conformità CE* e la marchiatura dei prodotti.

I dispositivi medici si suddividono in classi in base al potenziale rischio per il paziente. Una classe viene individuata sulla base di:

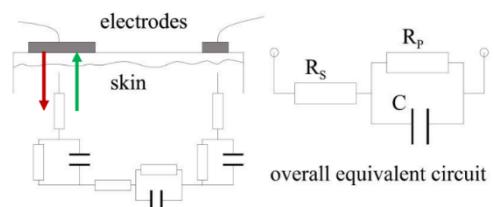
- Durata:
 - temporanea;
 - breve termine;
 - lungo termine.
- Invasività:
 - invasivi: penetrano parzialmente o interamente;
 - non invasivi.
- Dipendenza da fonte di energia:
 - attivi: energia elettrica o qualunque energia diversa dalla gravità o da quella generata dal corpo umano;
 - non attivi: altri.

Le classi sono:

- I: dichiarazione di assunzione di responsabilità.
- II A/II B: richiesta ad un organismo notificato dell'approvazione delle proprie strutture produttive e/o del proprio prodotto.
- III: richiesta di valutazione del sistema qualità relativo sia alle strutture produttive, sia al prodotto, inclusa la progettazione. Esame del fascicolo di progettazione del prodotto.

2. Cosa si intende per **apparecchio elettromedicale**? Come vengono **classificati** gli apparecchi elettromedicali?

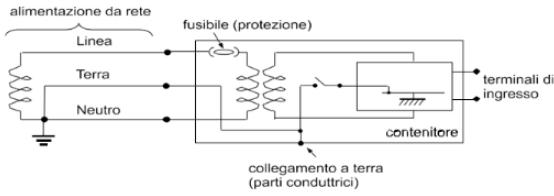
Un apparecchio elettromedicale è un dispositivo dotato di una parte applicata (contatto fisico col paziente) che trasferisce energia o rileva il trasferimento di energia verso o dal paziente. Uso associato a uno scambio di energia elettromagnetica tra soggetto umano e apparato elettrico.



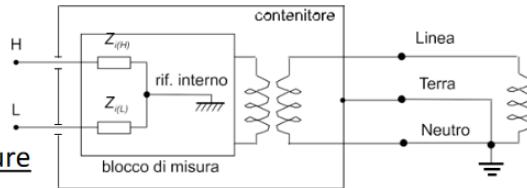
Dispositivi classificati sulla base di:

- *Alimentazione*:
 - CLASSE I: alimentazione con isolamento. Protezione con interruzione automatica del circuito.
 - CLASSE II: alimentazione con isolamento + misure supplementari che realizzano il doppio isolamento.
 - CLASSE AI: alimentazione interna, no connessione esterna alla sorgente, tranne dopo separazione fisica (batteria ricaricabile).

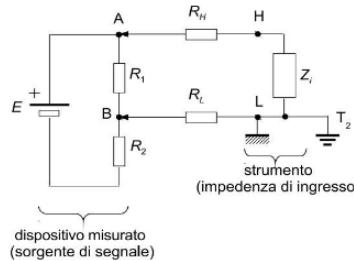
CLASSE I
alimentazione
elettrica con
isolamento



CLASSE II
alimentazione
elettrica con
isolamento e misure
supplementari



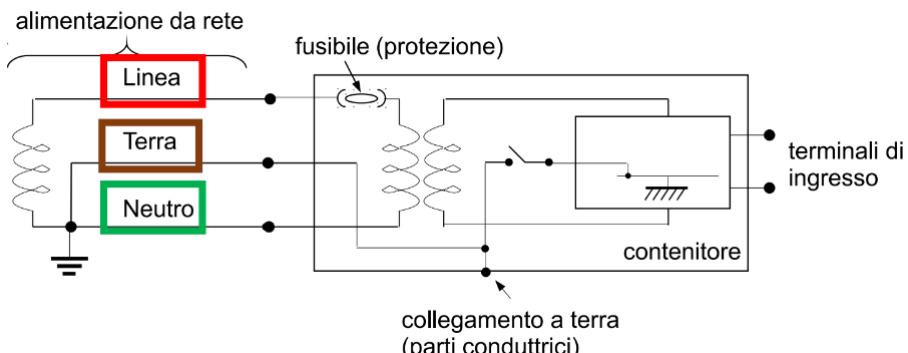
CLASSE AI
alimentazione
interna (batteria)



- *Natura della parte applicata, in base alla protezione dai contatti:*
 - TIPO B (Body): la parte applicata fornisce protezione contro i pericoli elettrici (correnti di dispersione); può emettere corrente perché non isolata.
 - TIPO F (Floating): la parte applicata è isolata da altre parti dell'apparecchio. Non può circolare corrente superiore a quella in condizioni di primo guasto.
 - TIPO BF (Body Floating): parte applicata ha la funzione di erogare o ricevere dal corpo corrente elettrica o segnali.
 - TIPO CF (Cardiac Floating): idem a BF, possibilità di connessione diretta al cuore.

3. Quali sono i principali criteri per garantire la sicurezza elettrica? Cosa si intende per **corrente di dispersione**? E per **condizione di primo guasto**?

- CRITERIO PRINCIPALE: tutte le parti conduttrici degli strumenti di misura devono essere isolate o vincolate al potenziale di terra.
- CONDUTTORE DI TERRA: un apparato elettromedicale utilizza due conduttori di alimentazione, uno neutro, collegato a terra direttamente in uscita dal trasformatore, e uno di linea/fase, il cui potenziale dipende dalle caratteristiche di rete. Per evitare le condizioni di guasto, si aggiunge un terzo conduttore che vincola il potenziale del contenitore al potenziale di terra. La presenza di fusibili garantisce che venga interrotto il collegamento tra alimentazione e carico, facendo assumere il potenziale di terra.



- Tutte le apparecchiature da connettere allo stesso paziente devono avere la stessa presa di terra derivata dal medesimo punto (**NODO EQUIPOTENZIALE**).
- INGRESSI ISOLATI.

Corrente di dispersione = corrente inutile per il funzionamento o potenzialmente dannosa per dispositivi e paziente. Classificata come:

- verso terra: dalla parte collegata alla rete verso il conduttore di protezione;
- sull'involucro: dall'involucro verso terra o verso un'altra parte dell'involucro;
- nel paziente: dalla parte applicata al paziente verso terra.

Condizione di primo guasto = condizione in cui è difettosa una sola misura di protezione contro i pericoli nell'apparecchio oppure si verifica una sola condizione anormale pericolosa esterna all'apparecchio.

4. Cosa si intende per **compatibilità elettromagnetica** di un dispositivo? Quali sono le categorie di prove che devono essere svolte per accertarla?

Disciplina che tratta i fenomeni di interazione elettromagnetica tra dispositivi, apparecchiature e sistemi elettrici ed elettronici, al fine di valutare i possibili effetti di interferenza. Per ogni dispositivo si chiede:

- Le perturbazioni elettromagnetiche da esso prodotte non provochino interferenze con il funzionamento di eventuali altri dispositivi presenti nelle vicinanze o con sistemi di telecomunicazione.
- Di resistere alle perturbazioni prevedibili.

Prove di accertamento:

- *Compatibilità elettromagnetica*: il fabbricante ha la responsabilità di progettare e costruire gli apparati secondo le prescrizioni della norma collaterale in questione, e di svolgere prove di compatibilità adeguate (emissione, energia trasferita nell'ambiente circostante, e immunità, energia subita se il dispositivo viene considerato come un'antenna ricevente).
 - *Emissione elettromagnetica*: il dispositivo medico in questione non deve alterare, con i disturbi elettromagnetici da esso stesso prodotti, il comportamento dei servizi radio e della rete di alimentazione pubblica. Misurando:
 - emissione armonica;
 - potenza irradiata;
 - emissione condotta: disturbi continui emessi attraverso i cavi di alimentazione e di trasmissione dati nella banda 150kHz - 30MHz;
 - emissione irradiata: disturbi continui emessi sottoforma di campo elettromagnetico nella banda 30MHz - 6GHz.
 - *Immunità elettromagnetica*: valutazione degli effetti delle perturbazioni elettromagnetiche nelle normali condizioni operative del dispositivo medico, sottoponendo l'apparecchiatura a segnali di disturbo tipici con intensità conosciute, quali:
 - scarica elettrostatica;
 - impulso o surge;
 - transitori elettrici veloci o burst;
 - buchi di tensione;
 - campi magnetici a frequenza di rete.

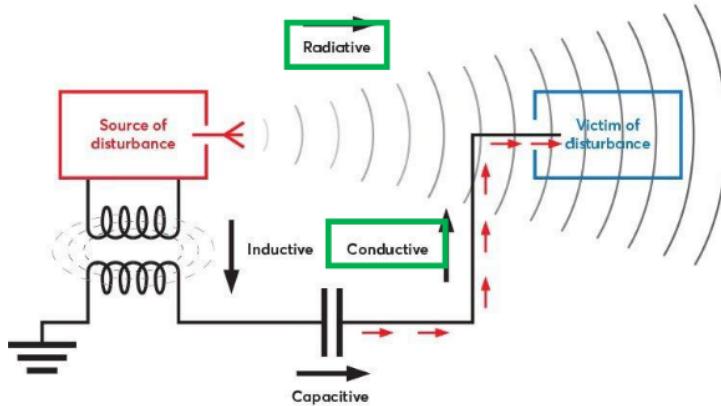


Il **RISULTATO DELLA PROVA DI IMMUNITÀ** porterà alla **classificazione del comportamento del dispositivo in prova in diverse categorie** a seconda che:

- 1) l'apparecchiatura non risenta della presenza del disturbo
- 2) subisca alterazioni momentanee nel funzionamento
- 3) subisca alterazioni che richiedono intervento esterno per il ripristino completo della funzionalità
- 4) subisca un danno permanente, con perdita della funzionalità ed impossibilità di un suo ripristino.

5. Come possono essere classificate le **fonti di interferenza**? Elenca gli esempi principali nell'ambito ospedaliero.

- a. In base al mezzo trasmissivo in cui si propaga:
 - i. irradiate attraverso l'aria;
 - ii. condotte attraverso i cavi di alimentazione, di comunicazione o del sistema di massa.



- b. Al campo di frequenze occupato. In campo elettromedicale,
 - i. Frequenza alta, maggiore è il rischio che il disturbo si accoppi con i circuiti sensibili del dispositivo vittima. Più semplice da filtrare.
 - ii. Frequenza bassa, minore il rischio di accoppiamento con il dispositivo vittima. Più difficile da filtrare.

ESEMPI:

1. Interferenza a radiofrequenza (10kHz a 1GHz): in ambiente ospedaliero si possono ricordare i dispositivi per diatermia, gli scanner per risonanza magnetica, i sistemi di comunicazione radio, wireless ed i sistemi cellulari.
2. Disturbi della linea elettrica: la forma d'onda di alimentazione tende a discostarsi in modo significativo dall'onda sinusoidale ideale a 50 Hz. Disturbi transitori o continui e indotti tipicamente da altre apparecchiature "rumorose" collegate alla stessa linea di alimentazione.
3. Interferenze interne agli apparecchi: ogni circuito è fonte di disturbi che interessano le parti ed i componenti vicini. Problemi con componenti di precisione sensibili, si utilizzano capacità di filtraggio a valle.