

meccanica delle vibrazioni

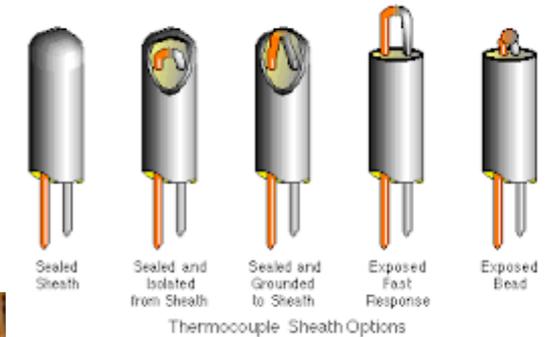
laurea magistrale
ingegneria meccanica

parte 6
catena di misura
sensori

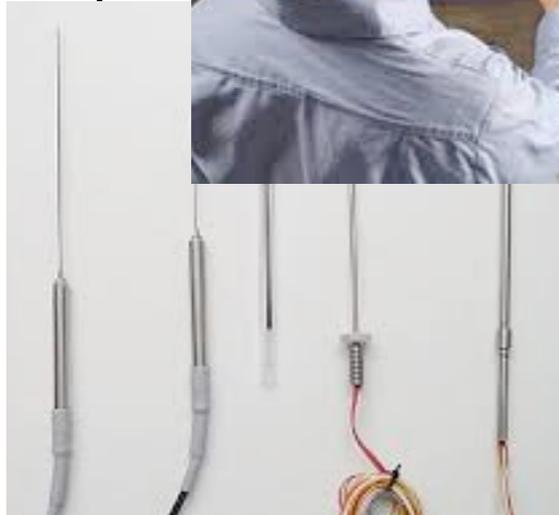
Misure Meccaniche Dinamiche ad alta frequenza (vs le QuasiStatiche a bassa frequenza)

E' possibile ed interessante misurare diverse quantità meccaniche legate alle vibrazioni o al lcomportamento dinamico di un macchinario...

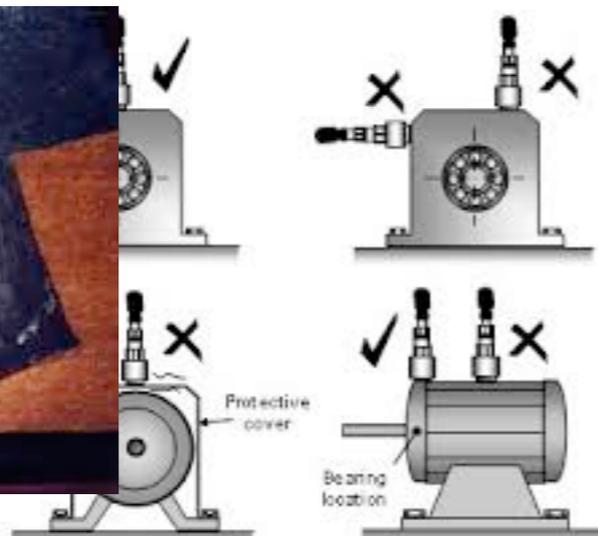
Es: vibrazioni, rumore, correnti, tensioni, temperature, spostamenti, velocità angolari,...)



di Meccanica delle Vibrazioni @Units



Dip. Ingegneria e Arch



Meccanica delle Vibrazioni



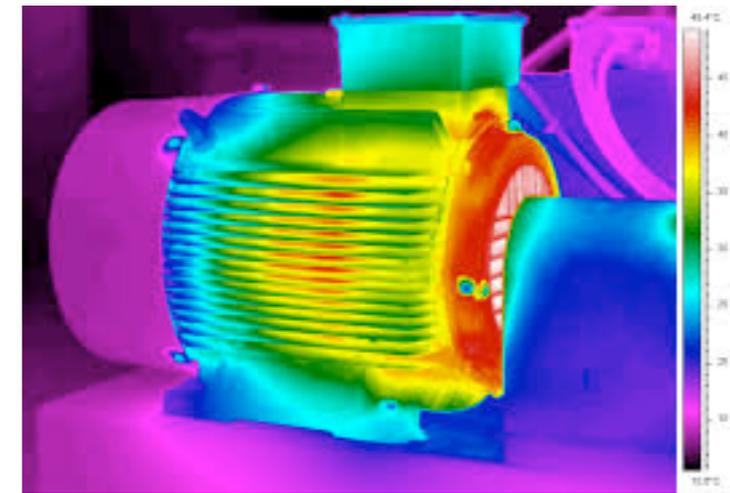
Luigi BREGANT
bregant@units.it

Misure Meccaniche Dinamiche ad alta frequenza (vs le QuasiStatiche a bassa frequenza)

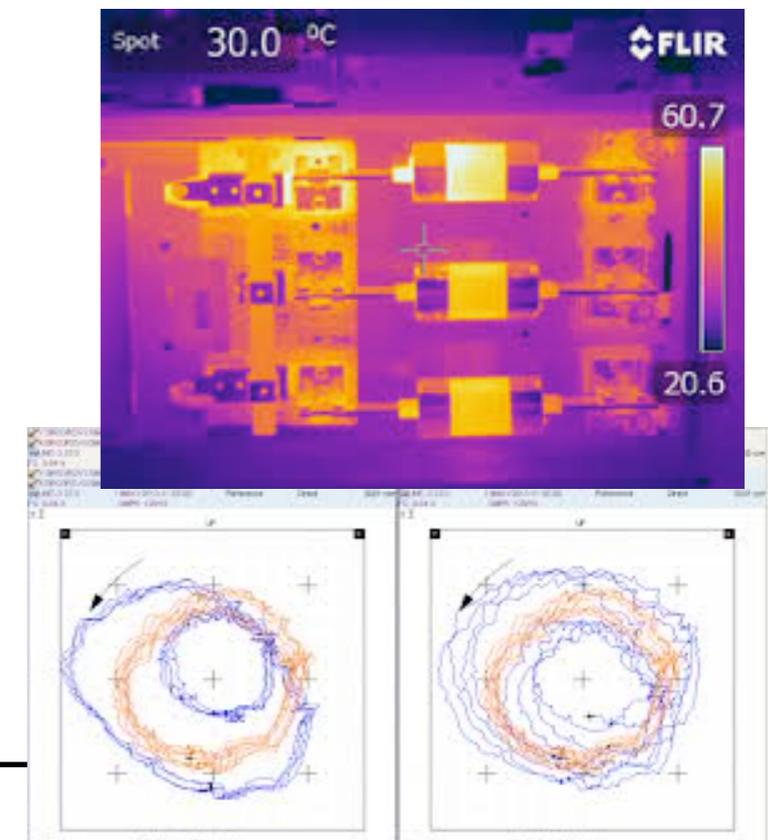
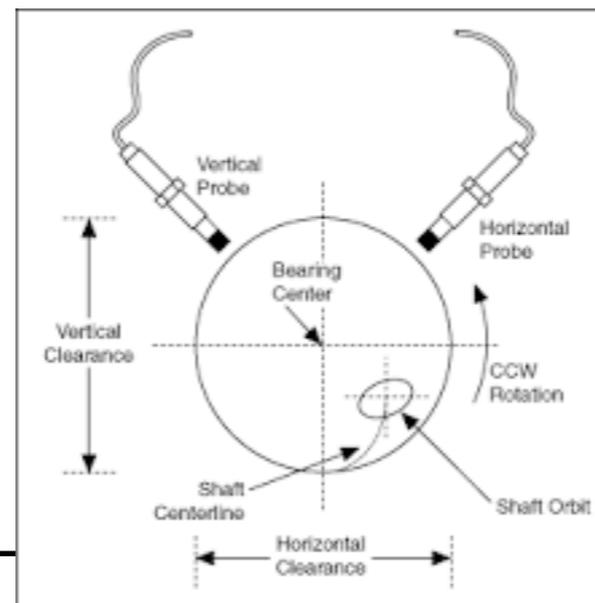
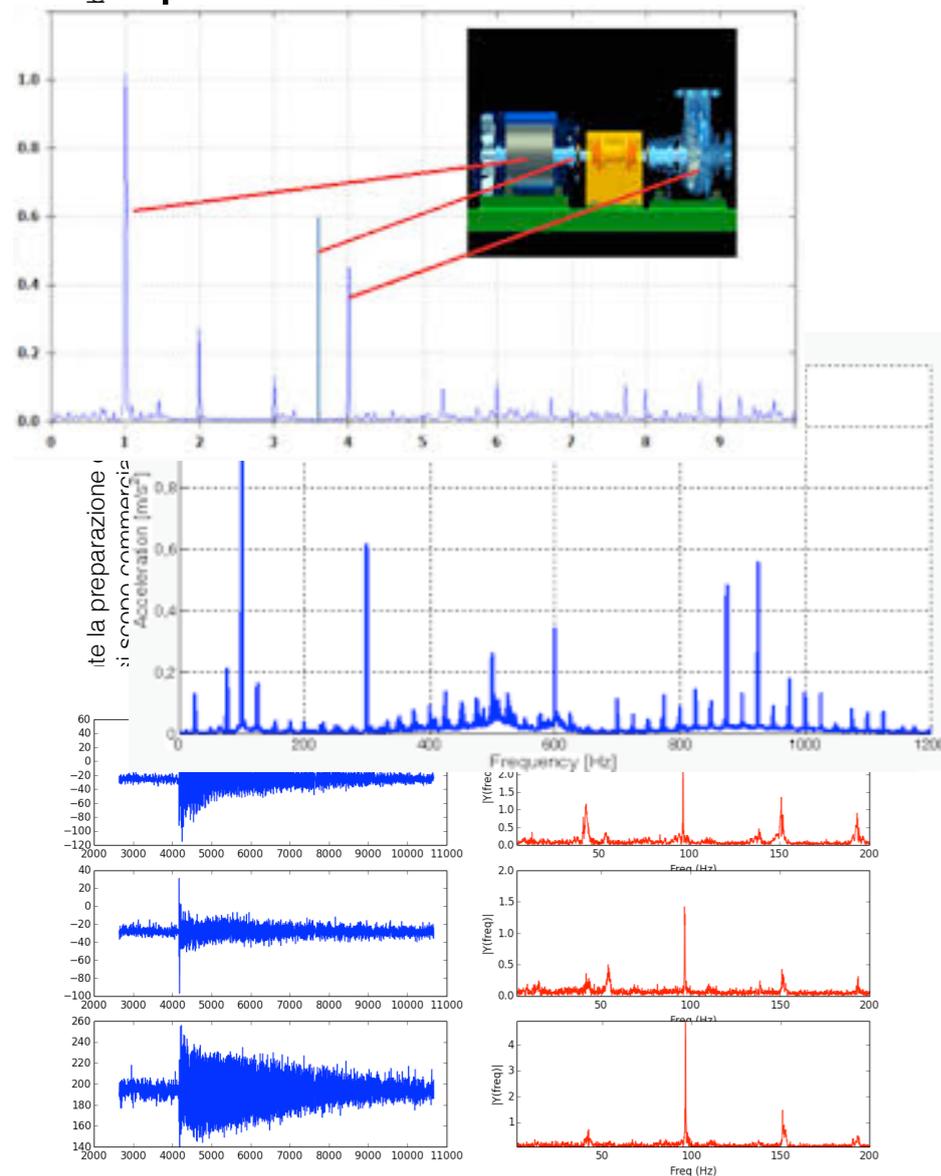
Allo scopo di ottimizzarne il funzionamento, prevenire le rotture, massimizzare l'utilizzo...

Sviluppando strumenti di analisi dei dati nel dominio del tempo, frequenza, ordini, ...

Se la catena di misura rimane ad anello aperto sarà possibile generare allarmi, se diventa ad anello chiuso sarà possibile generare azioni correttive

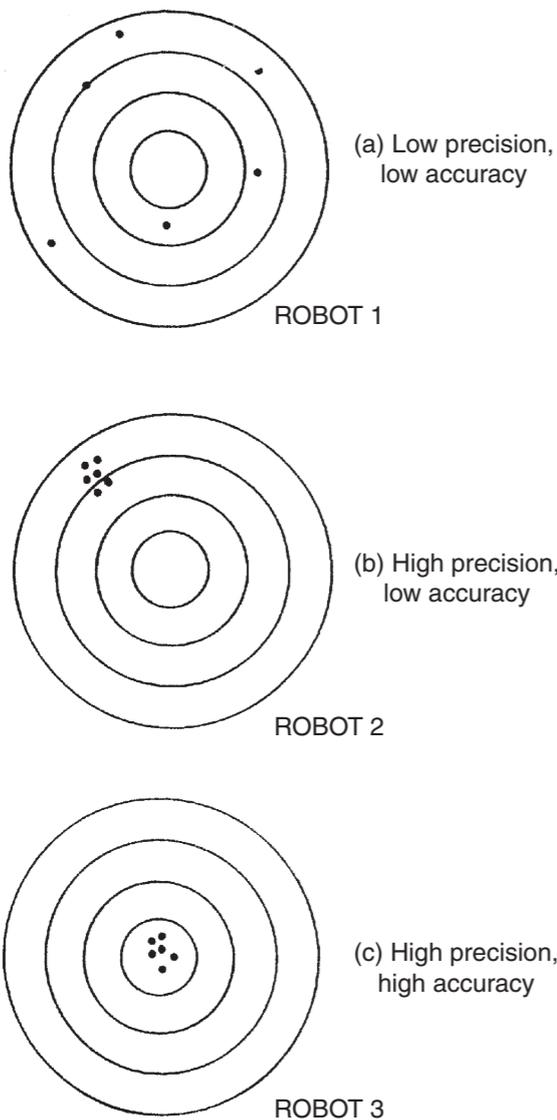


brazioni @Units



Misure Meccaniche Dinamiche ad alta frequenza (vs le QuasiStatiche a bassa frequenza)

Diversi elementi compongono una catena di misura..
Tutti fondamentali per ottenere misure accurate precise e significative!



Rivediamo tali concetti:

Accuratezza > è il grado di corrispondenza del dato teorico, desumibile da una serie di valori misurati, con il dato reale > differenza tra il valore medio misurato ed il valore reale..

Precisione > è il grado di convergenza dei valori individuati singolarmente > la varianza..

Significatività > è legata al grado di incertezza delle misure.. e quindi all'errore di misura..

35.45 +/-0.15
810 +/-4

giusto o sbagliato ?

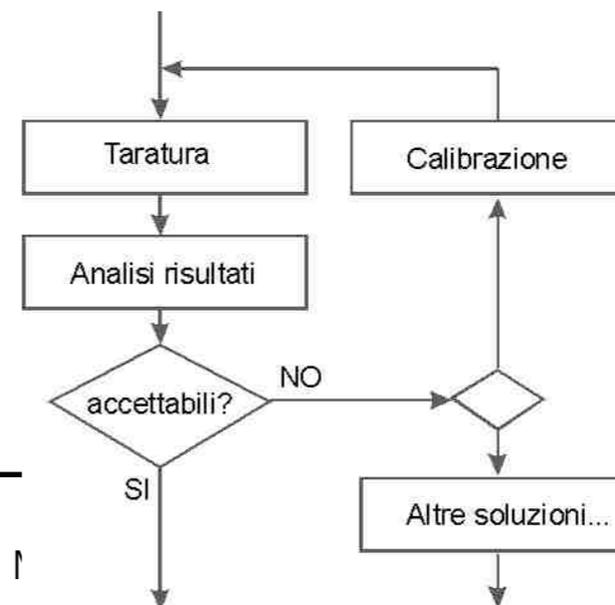
34 +/-0.001
45.123 +/-0.3

Misure Meccaniche Dinamiche ad alta frequenza (vs le QuasiStatiche a bassa frequenza)

Altri due concetti sono importanti nell'esecuzione di buone misure:
la taratura e la calibrazioni

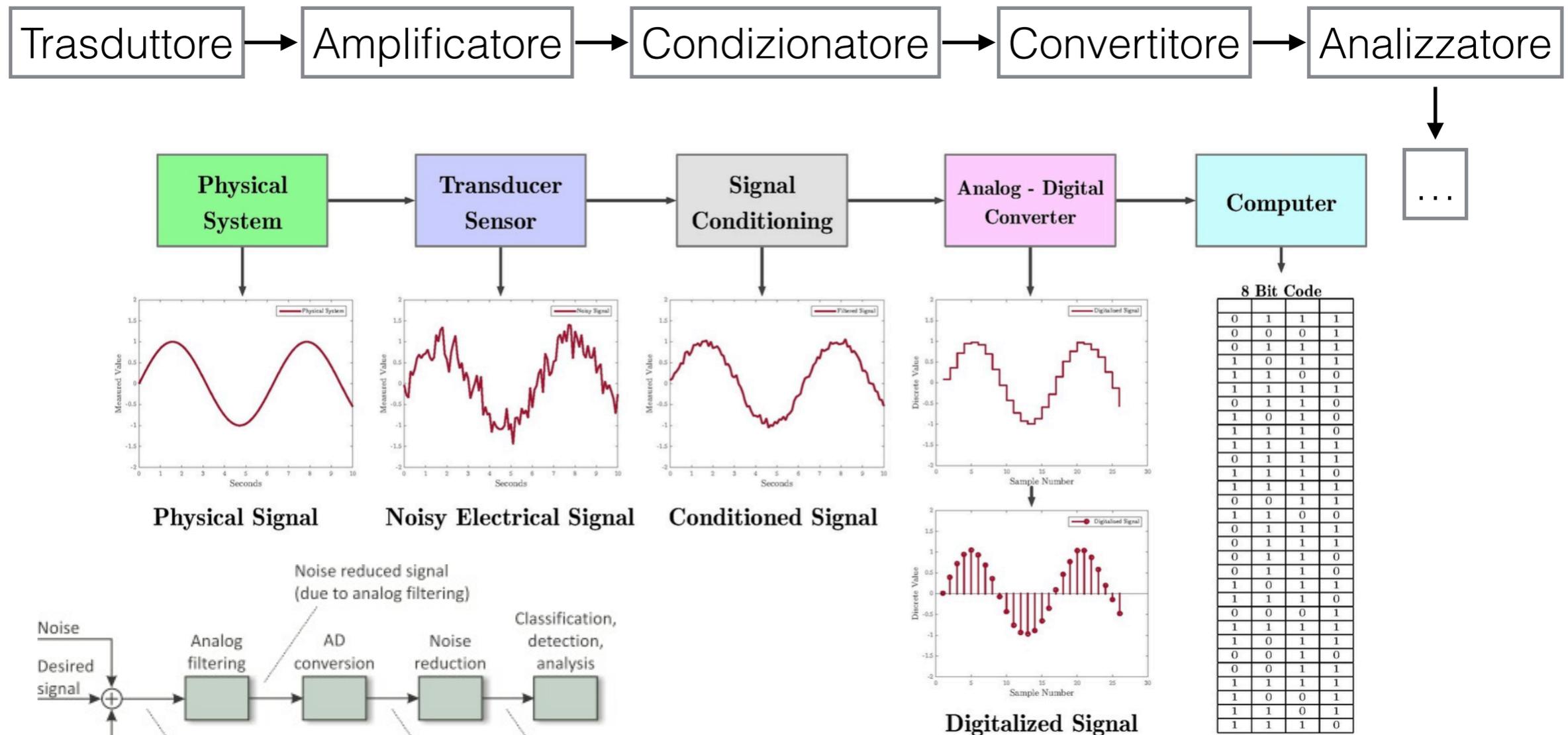
La **taratura** è una tipologia di caratterizzazione che ha come scopo la definizione delle caratteristiche metrologiche (classe, accuratezza, ripetibilità, riproducibilità...) di uno strumento di misura. Questo avviene tramite un confronto di misure con uno strumento di riferimento, definito campione.

La **calibrazione** è l'operazione in cui uno strumento di misura viene regolato in modo da migliorarne l'accuratezza. L'operazione richiede il confronto con delle misure di riferimento prodotte utilizzando uno strumento campione.

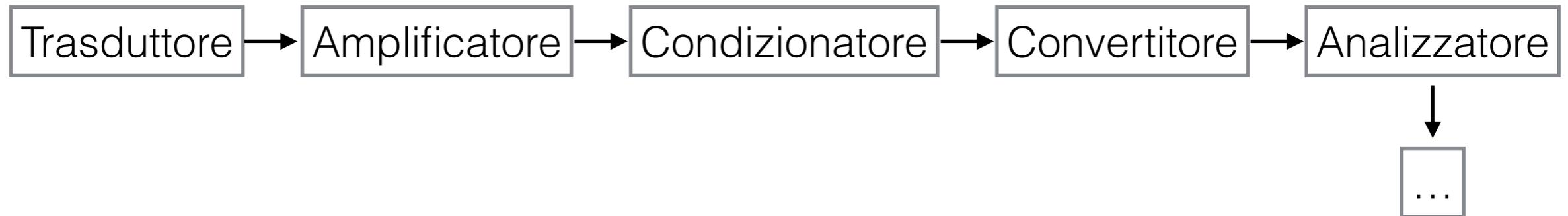


Catena di Misura

La misura di segnali richiede la presenza di una “catena di misura” costituita da diversi elementi con funzioni specifiche:



Catena di Misura



Trasduttore: “trasduce” la grandezza meccanica, in grandezza elettrica

Amplificatore: adegua il segnale alla gamma dinamica dell’analizzatore

Condizionatore: “prepara” il segnale alle successive operazioni

Convertitore: discretezza il segnale nella variabile indipendente e dipendente

Analizzatore: effettua le vere e proprie attività di DSP

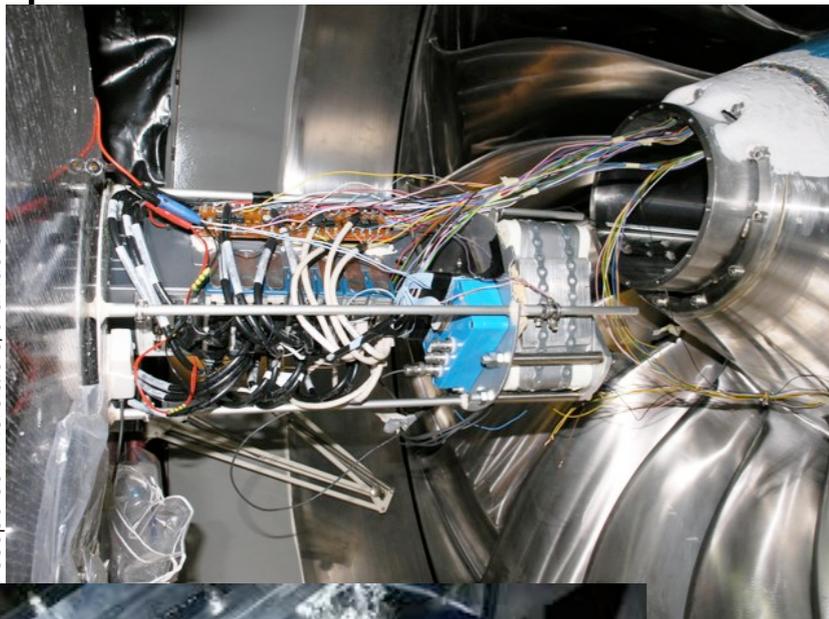
Blocchi addizionali per...: memorizzazione, plottare, inviare, attuare,...

Catena di Misura

La catena di misura può essere assemblata in

Sistemi cablati..
bisogna verificare ogni elemento
della catena.. attenzione alla taratura
calibrazione di tutto il sistema...

Sistemi integrati..
tutti gli elementi contenuti nello
strumento.. la calibrazione è più
facile..



NB effettuare spesso la
Calibrazione dello strumento!

In funzione della norma di misura
utilizzata, e negli intervalli da questa previsti..
(es fonometro classe 1 per misure di rumore ogni 2 anni)

Sistemi Portatili Integrati.



Pochissimi canali
Fanno solo quello per cui
sono stati costruiti
Facili da settare ed utilizzare
Facili da sostituire
Facili da calibrare
Precisione definita (classe)
Costi "contenuti"

..

**monitoraggio globale
contenzioso**

Sistemi ad Hoc..



Canali numerosi e multi-fisica
Flessibili
Laboriosi da settare ed utilizzare
Conoscenza specifica per l'utilizzo
Praticamente impossibili da calibrare
Precisione indefinita
Costi "the sky the limit"
..

**monitoraggio puntuale
sviluppo prodotto**

Norma di Misura

Le norme per effettuare le “misura” sono moltissime e sviluppate in ogni settore immaginabile dell’ingegneria. dalle eccitazione dei trasporti alla resistenza ai terremoti delle centrali nucleari dal rumore per personale di bordo alle vibrazioni dei tavoli dei microscopi..

Es: Misura di vibrazioni per il monitoraggio di macchinario basato su condizione:

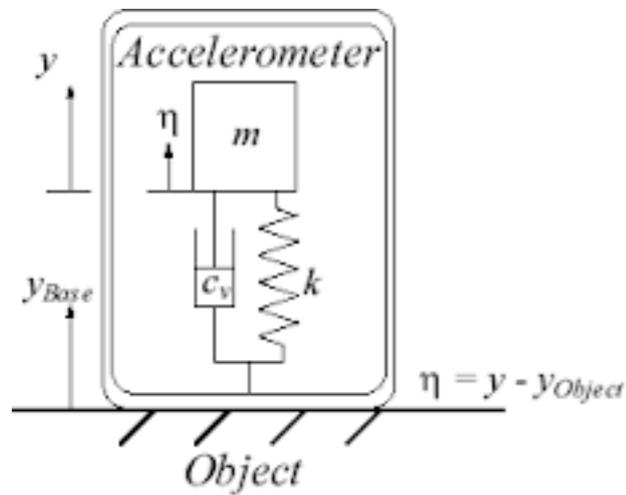
- UNI ISO 10816-xx;
- UNI ISO 13373-xx
- UNI ISO 13379;
- UNI ISO 13380;
- UNI ISO 13381-xx;
- UNI ISO 13436-xx
- UNI ISO 7919-xx
- UNI ISO 19499-xx

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816-1					
Machine		Class I	Class II	Class III	Class IV
		Small Machines	Medium Machines	Large Rigid Foundation	Large Soft Foundation
Vibration Velocity Vrms	in/s	mm/s			
	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71	GOOD		
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80	SATISFACTORY		
	0.18	4.50			
	0.28	7.10	UNSATISFACTORY		
	0.44	11.20			
	0.70	18.00			
1.10	28.00	UNACCEPTABLE			
1.77	45.90				

ci sono diversi istituzioni che normano le attività normative
ISO.. BS.. VDI.. BS.. API.. GOST..

Catena di Misura - accelerometri

I trasduttori meccanici più comuni sono gli accelerometri sismici. Consistono di un sistema elastico massa (sismica) molla (piezoelettrico), opportunamente sintonizzato, collegati al sistema d'interesse.



Dal moto relativo tra massa sismica e oggetto (comprimendo e allungando la parte elastica) si genera il segnale elettrico di interesse..

$$m\ddot{\eta} + c_v\dot{\eta} + k\eta = -m\ddot{y}_{Object}$$

supponendo che il moto del sistema sia armonico..

$$m\ddot{\eta} + c_v\dot{\eta} + k\eta = m\omega^2 Y_{Object} \sin \omega t$$

si può calcolare la funzione di risposta del sistema H..

Catena di Misura - accelerometri

Di questa ci interessa il modulo che rappresenta il coefficiente amplificazione della vibrazione (dall'oggetto alla massa sismica)

$$H = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 Y_{Object}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}$$

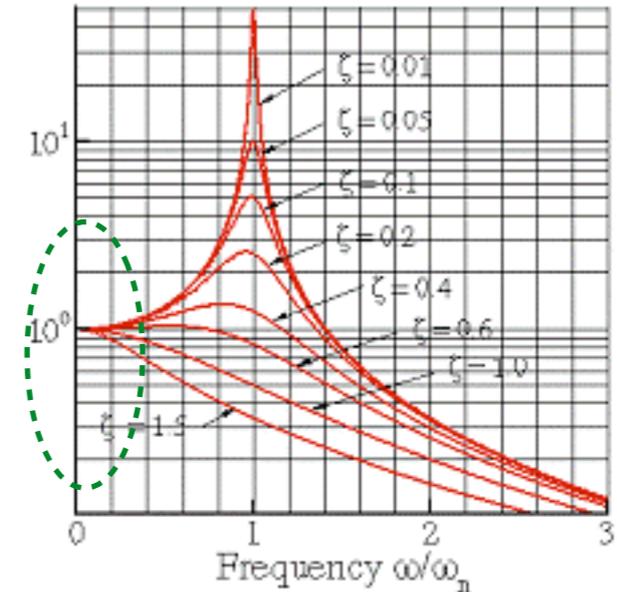


zona utilizzo sensore

Per misurare accelerazioni...

ω_n più grandi possibile,
piccole masse grandi rigidzze...

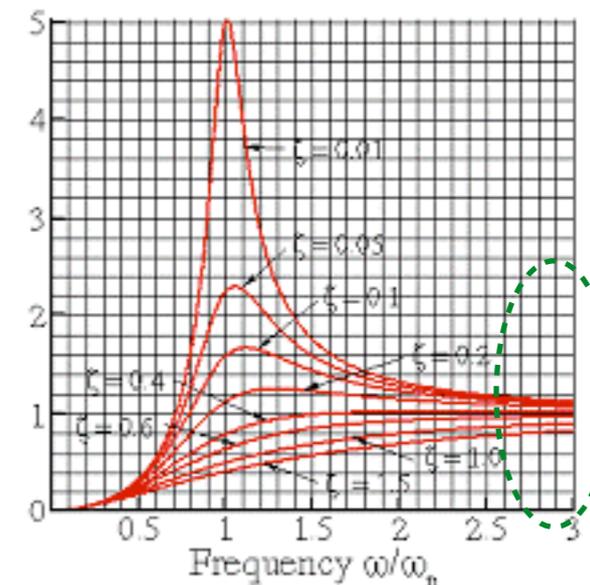
$$\frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \approx 1$$



Per misurare spostamenti...

ω_n più piccoli possibile,
grandi masse, piccole rigidzza...

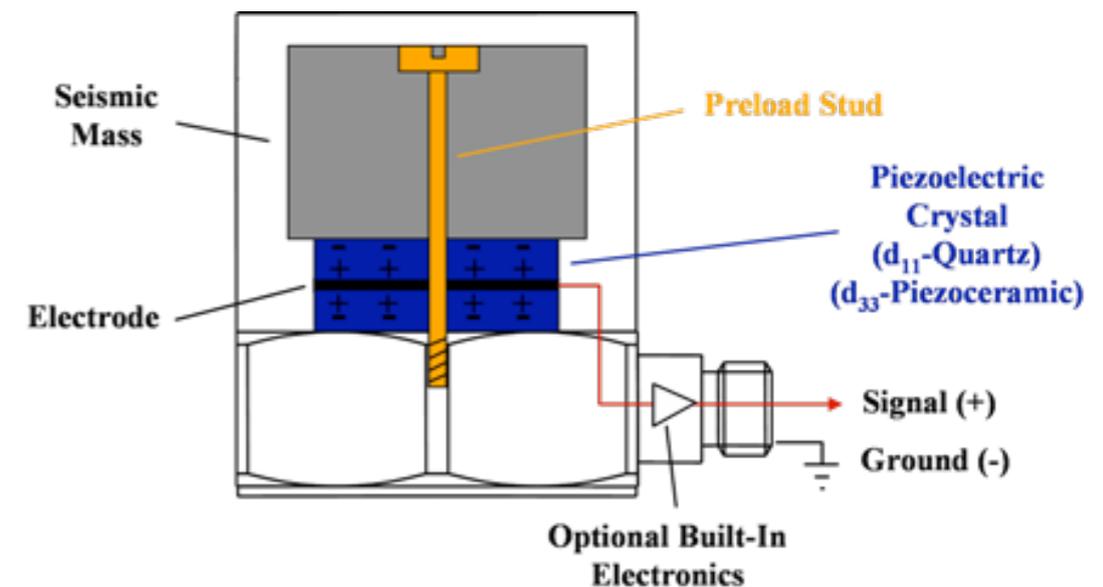
$$\frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \approx 1$$



Catena di Misura - accelerometri

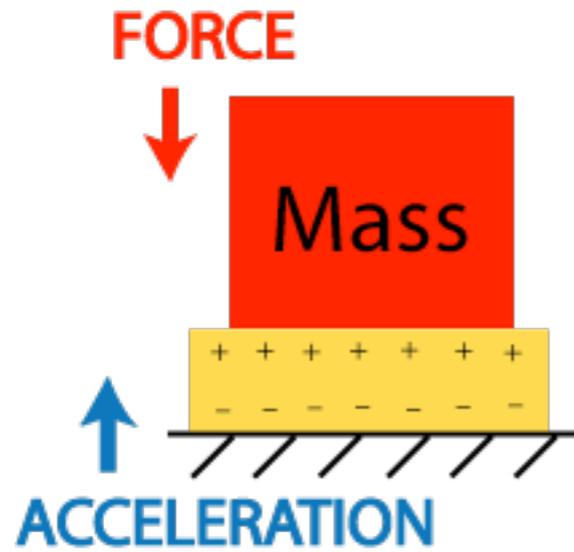
La massa comprime il piezoelettrico generando una differenza di carica ΔQ tra le facce di questo. Il ΔQ , viene trasformato in un Δi dall'elettronica interna del sensore, e mandato ai blocchi della catena successivi...

Originariamente l'elemento piezoelettrico era quarzo naturale
(problemi di uniformità, fragile, ΔQ limitato...)
Oggi l'elemento piezoelettrico è in piezoceramici artificiali (poling esterno)
(problemi di resistenza alla temperatura..)

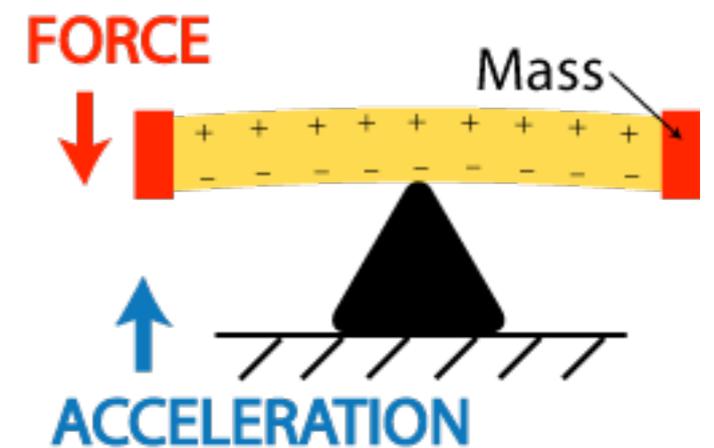
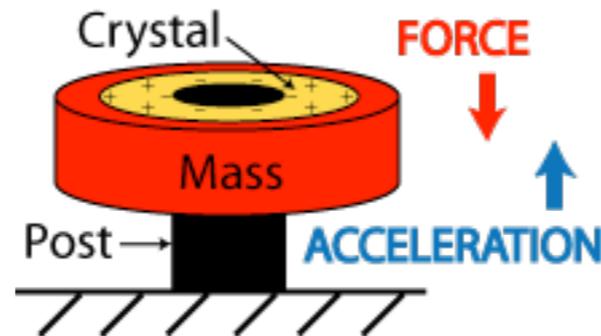
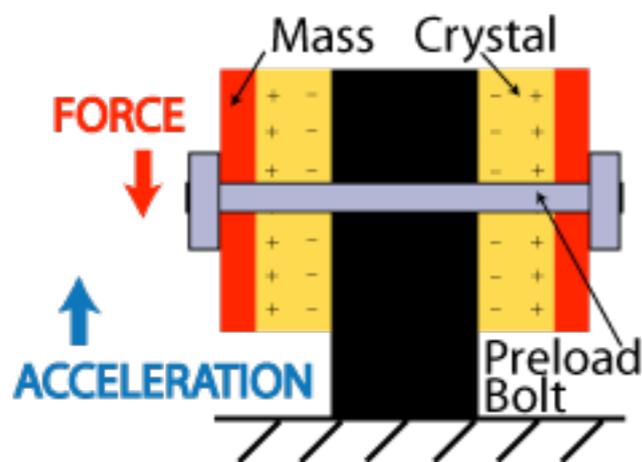


Piuttosto che misurare variazioni di carica,
(elevata sensibilità disturbi elettrici) si preferisce misurare correnti...
elettronica a bordo sensore, alimentazione dedicata! IEPE, ICP...

Catena di Misura - accelerometri



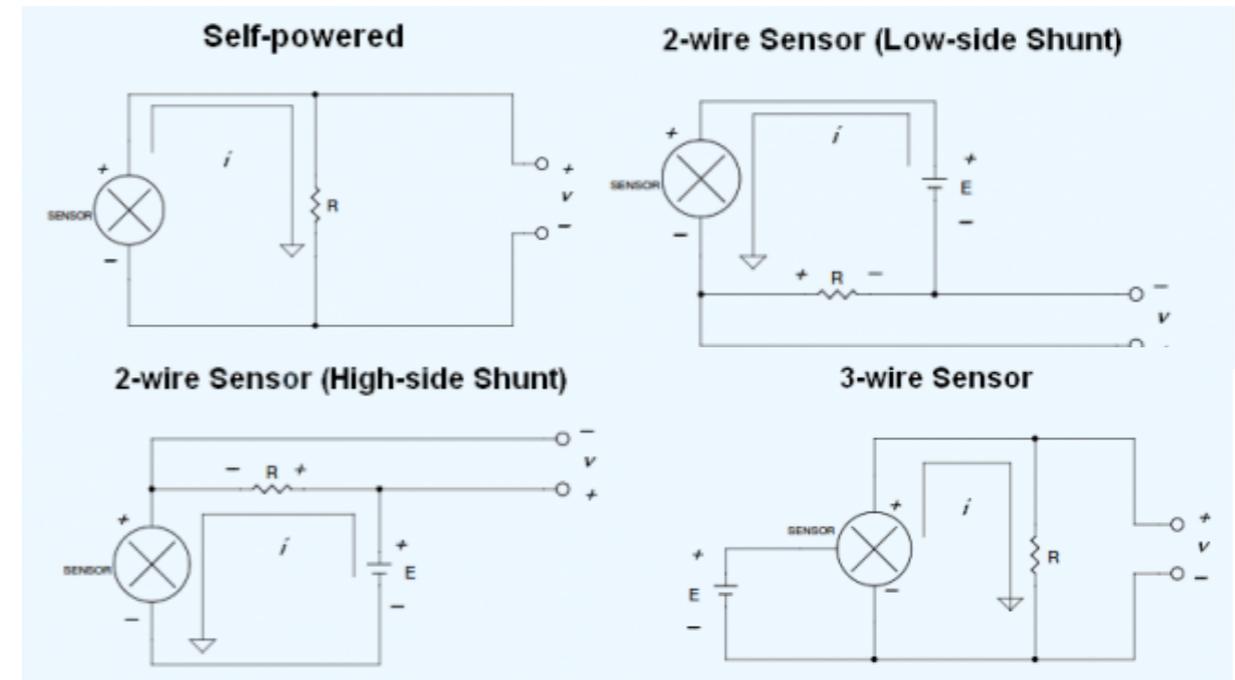
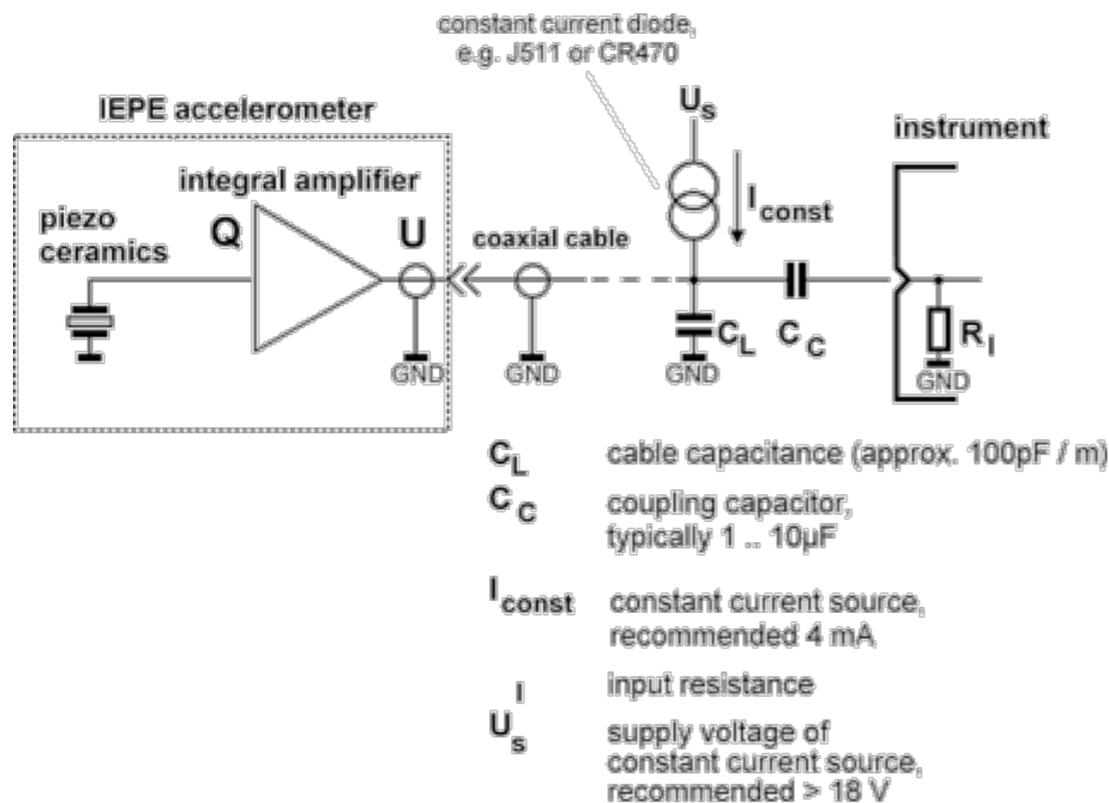
Al concetto generale di massa sismica/elemento piezo, si possono accostare diverse tipologie di costruzione per migliorare la risposta del sensore, renderlo più insensibile ai disturbi esterni, elevare la frequenza di risonanza...



Catena di Misura - accelerometri

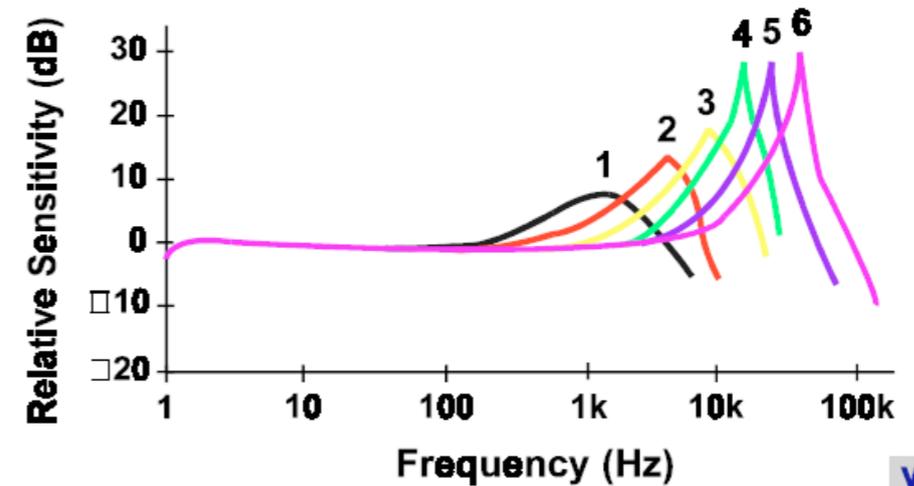
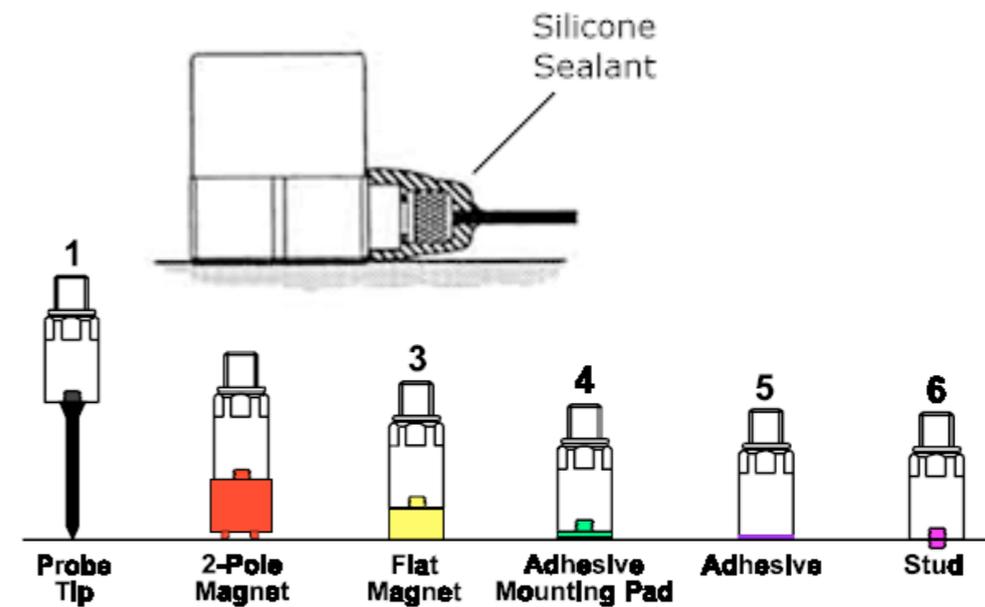
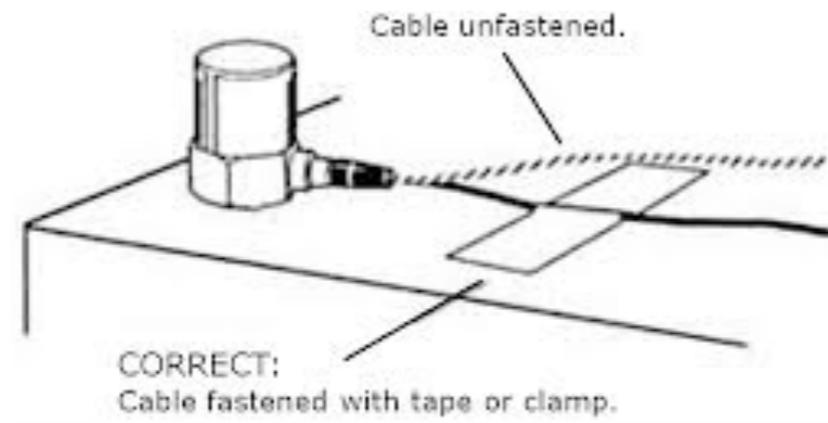
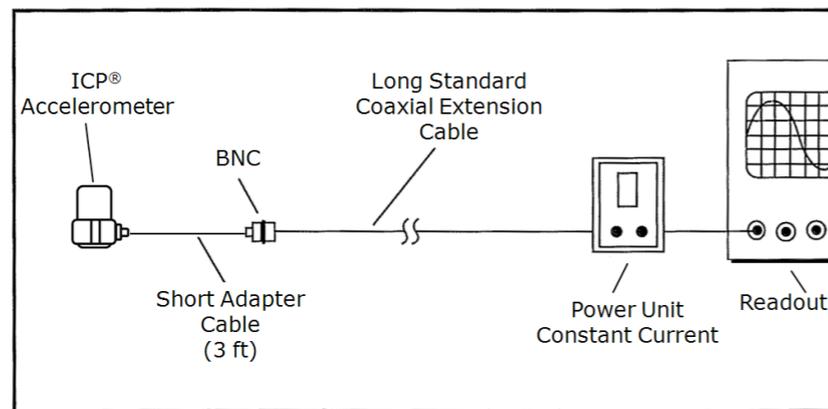
La trasmissione del segnale dal sensore al sistema di acquisizione dati, non è necessariamente di tipo IEPE (preferibile per l'alta dinamica e per la robustezza ai disturbi elettromagnetici)

Esistono accelerometri con trasmettitori 4-20mA (current loop a 2,3,4 cavi) uno standard industriale molto comune..
ha povera risposta a bassa frequenza <2Hz..



Catena di Misura - accelerometri

Il montaggio del sensore deve essere montato in modo tale da assicurare la massima risposta in frequenza possibile,..evitare le infiltrazioni d'umidità, gli effetti elettro-tribologici .. (per atmosfere esplosive norma Atex)

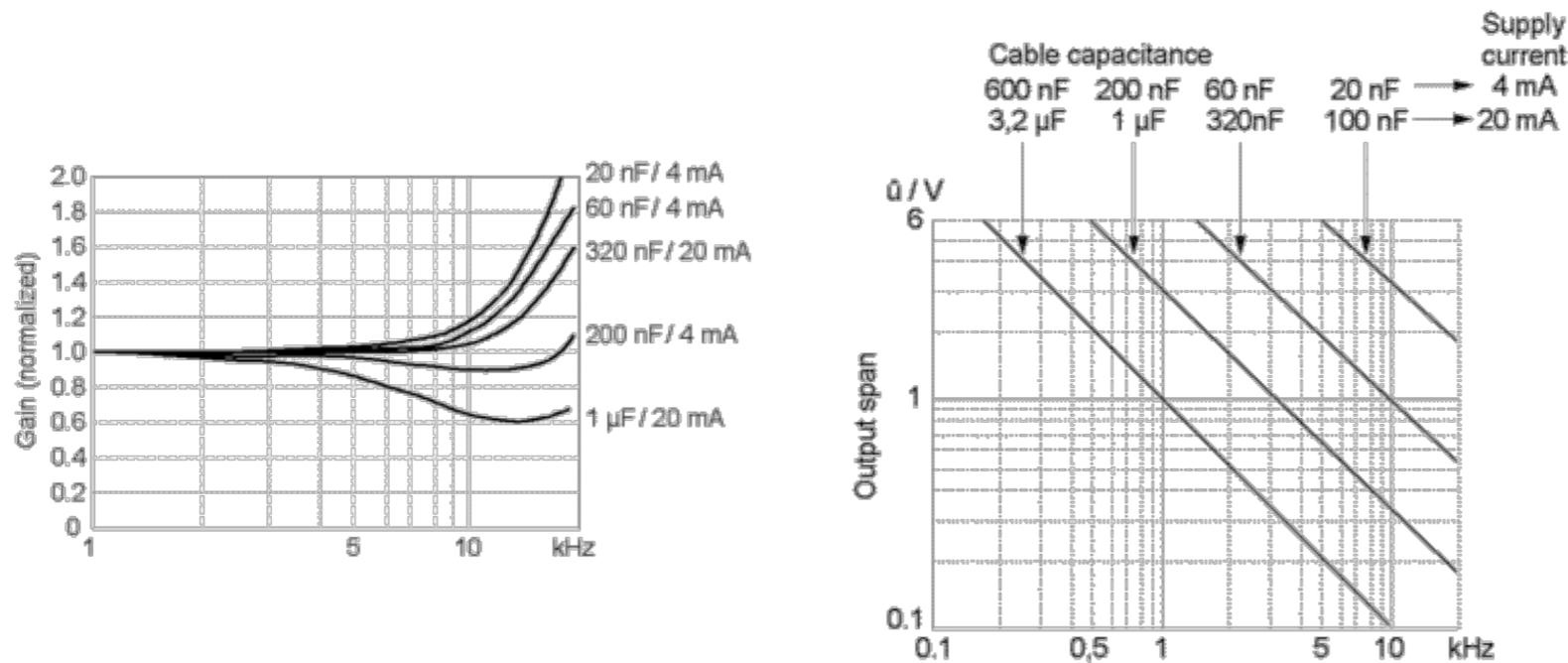
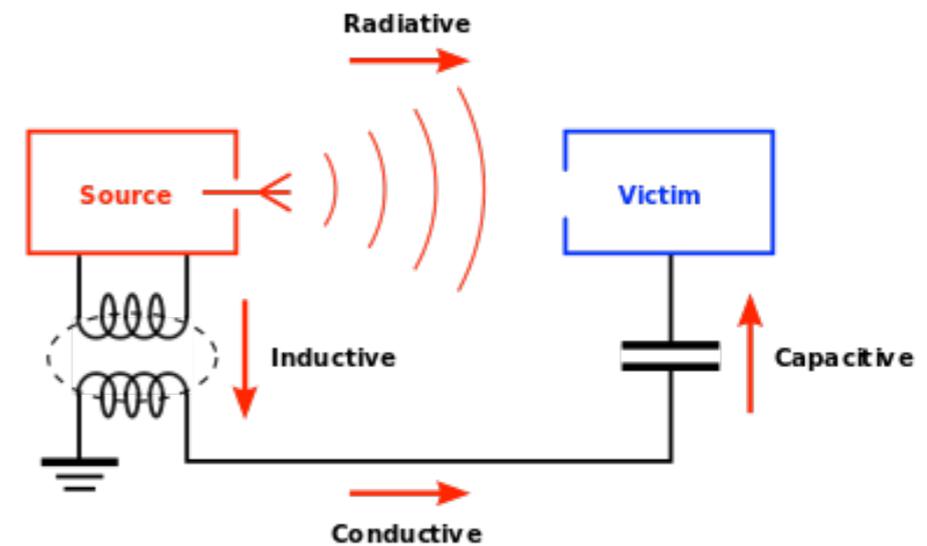


Catena di Misura - accelerometri

Negli impianti di grandi dimensioni, con molte macchine e dispositivi bisogna porre attenzione ai disturbi elettromagnetici!!
I cavi coassiali che collegano sensori e sistemi d'acquisizione funzionano da antenna..i segnali vengono disturbati!!

(attenzione :

- alla lunghezza del cavo
- a dove viene posato
- alla bontà della terra
- all'isolamento dei conduttori
- ..)



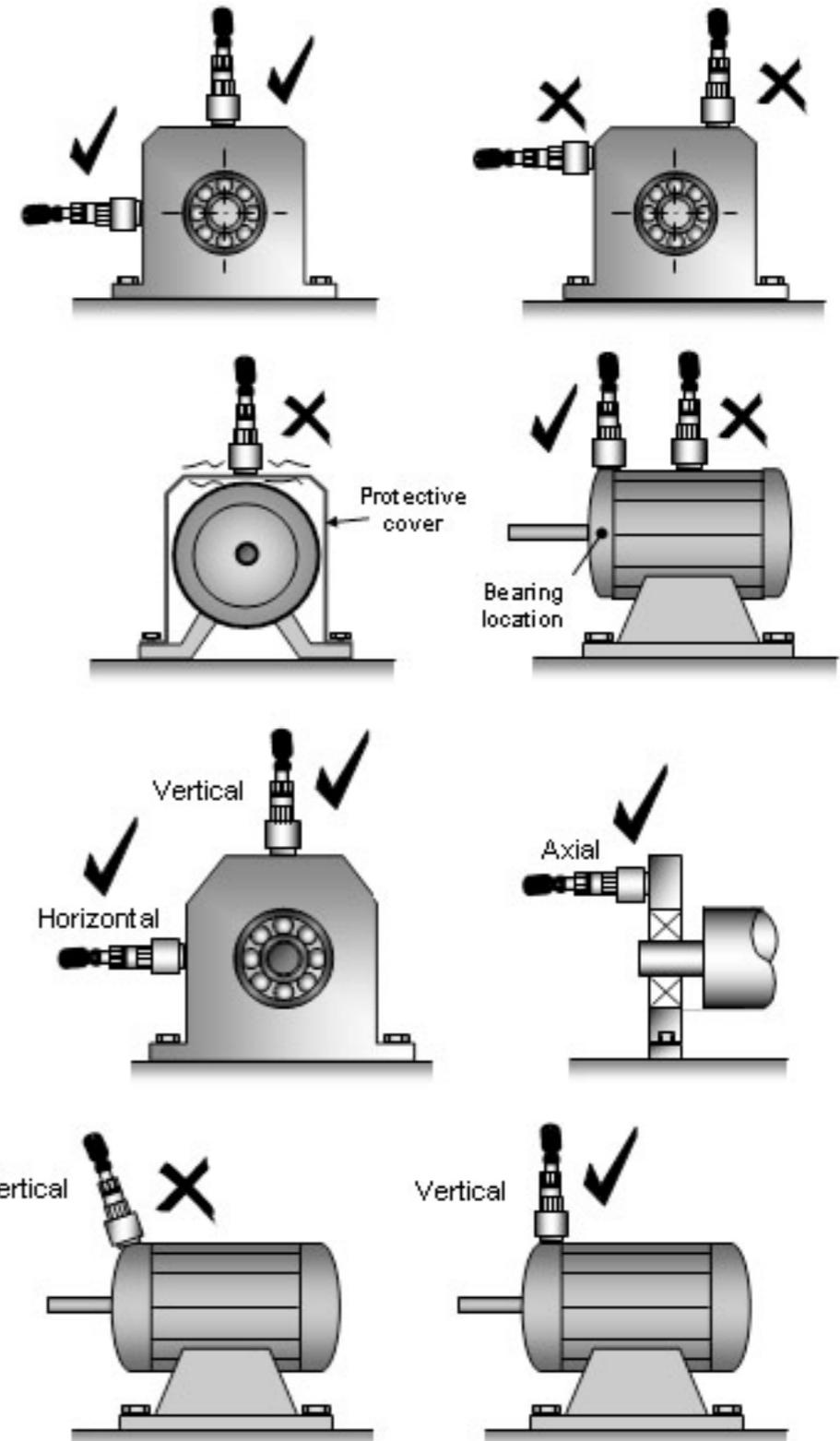
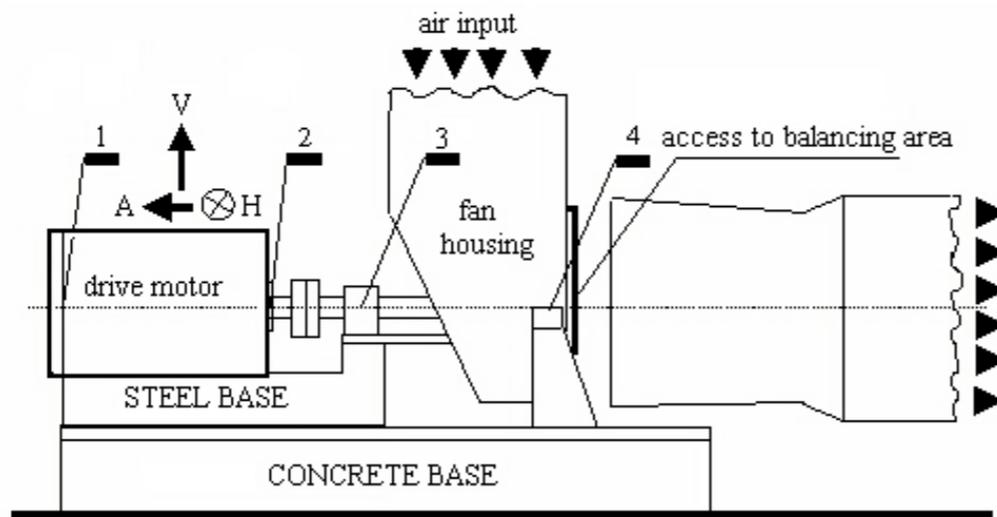
Catena di Misura - accelerometri

Posizionamento degli accelerometri..

..è importante per la misura corretta della dinamica del sistema!!!

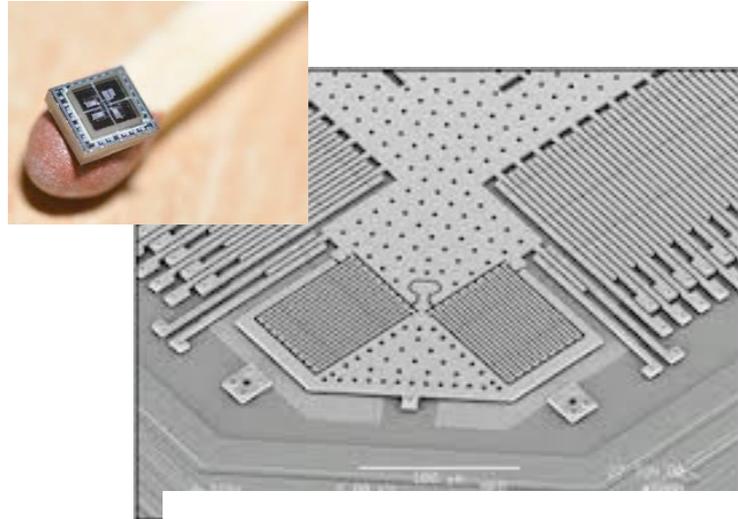
In prossimità dei supporti dell'albero..
In prossimità dei piedi della macchina..
Secondo quanto descritto dalla norma a cui ci si riferisce..

Prendere nota accurata di dove e come si misura!!

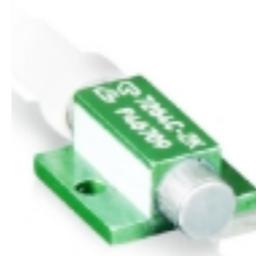
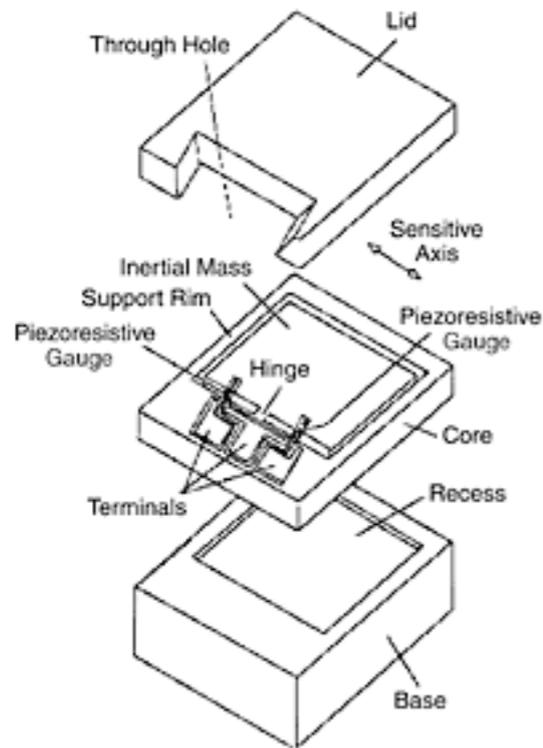
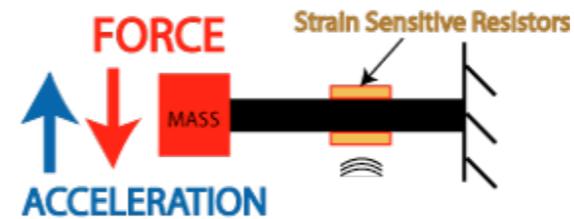


Catena di Misura - accelerometri

Oltre agli accelerometri piezoelettrici, esistono altre tecnologie per tali trasduttori...
generalmente basati su MEMS (MicroElectroMechanicalSystem)

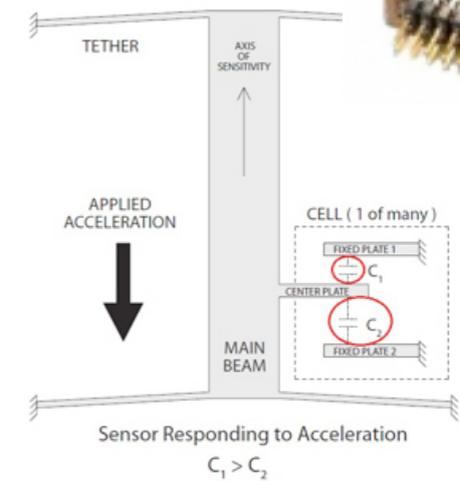
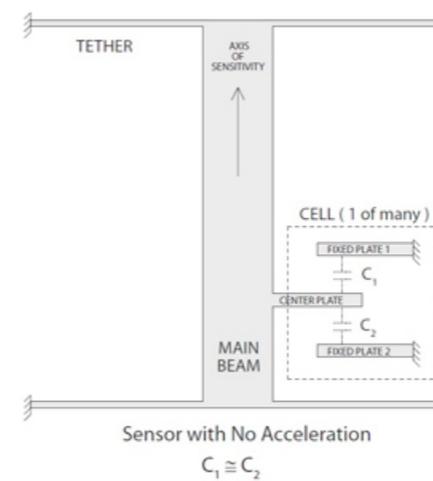


Strain Based



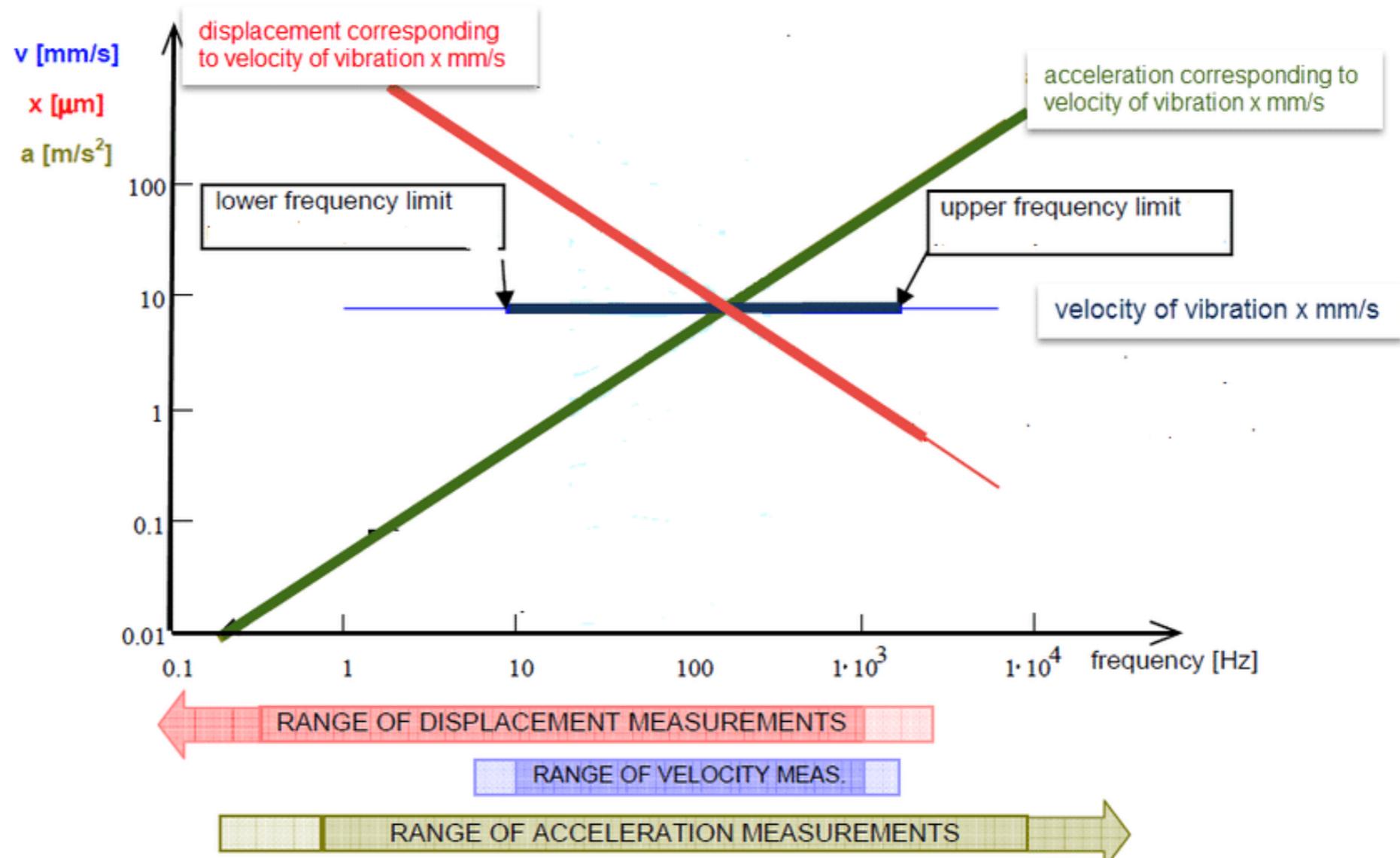
Piezoresistivi

Capacitivi



Catena di Misura - accelerometri

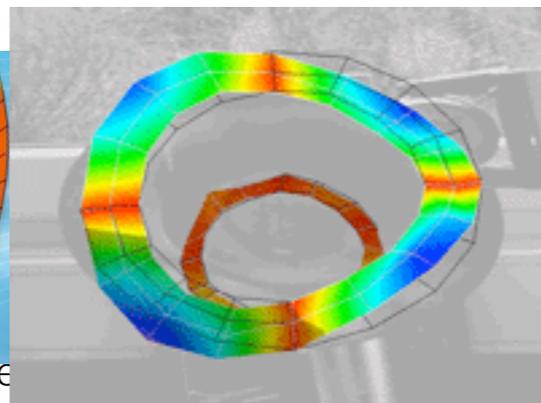
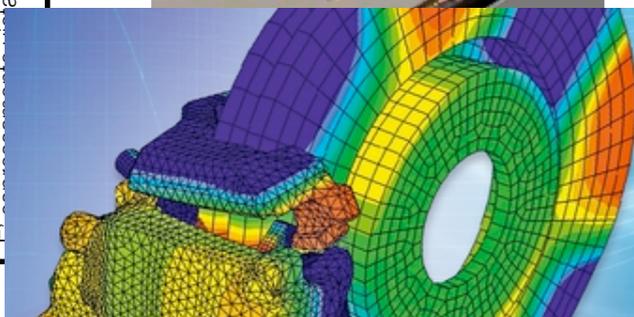
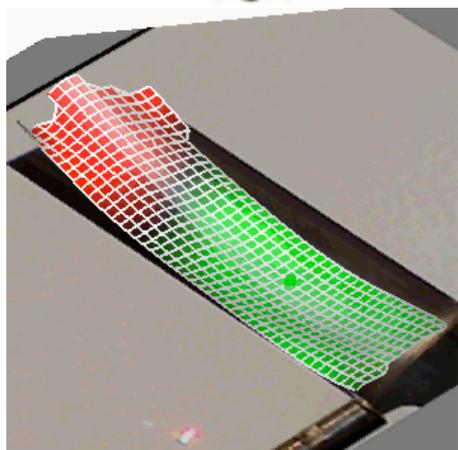
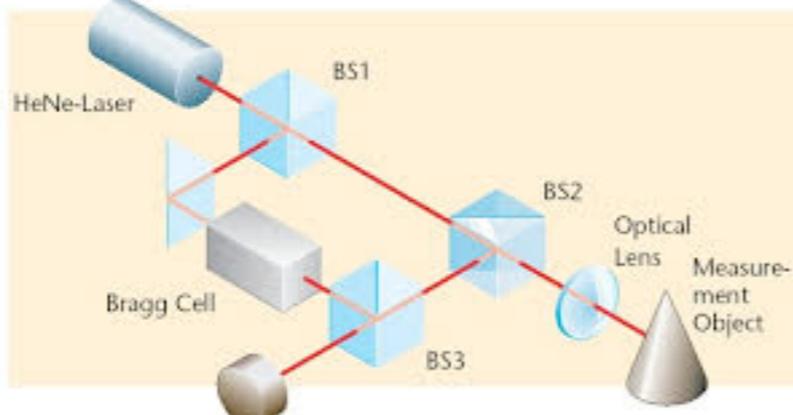
..perchè scegliere accelerometri vs misuratori di spostamento?



Catena di Misura - accelerometri

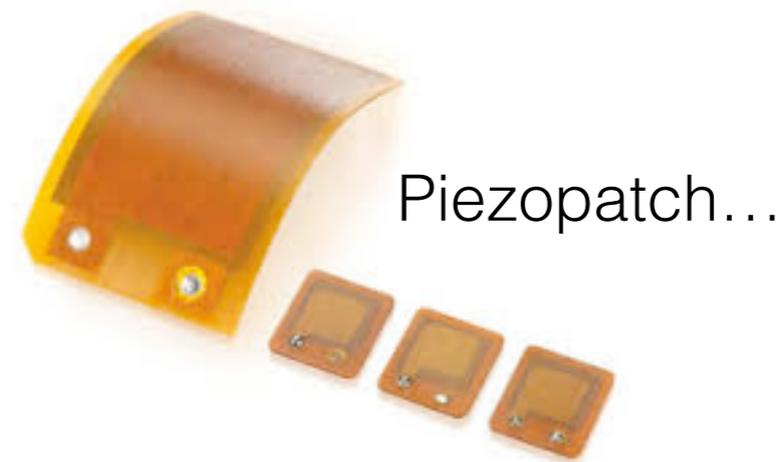
o su altri fenomeni fisici...

Vibrometri laser...

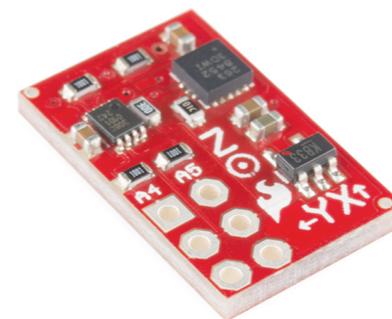


Effettuare sempre la scelta del sensore in base a:

- **frequenza di risonanza sensore**
- **range**
- **sensitività**
- **robustezza**
- ..



Piezopatch...



Frahm Tachometer...

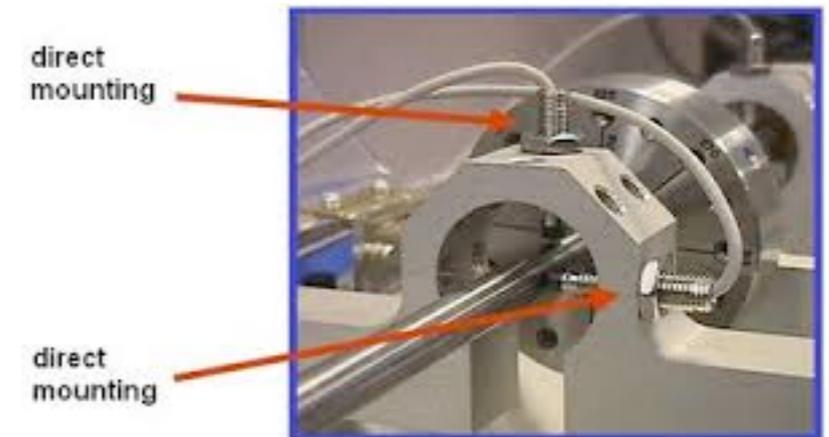
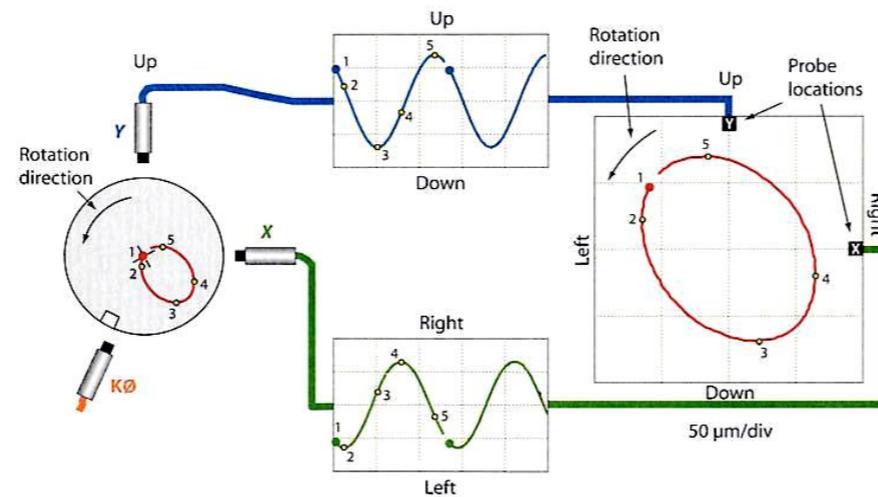
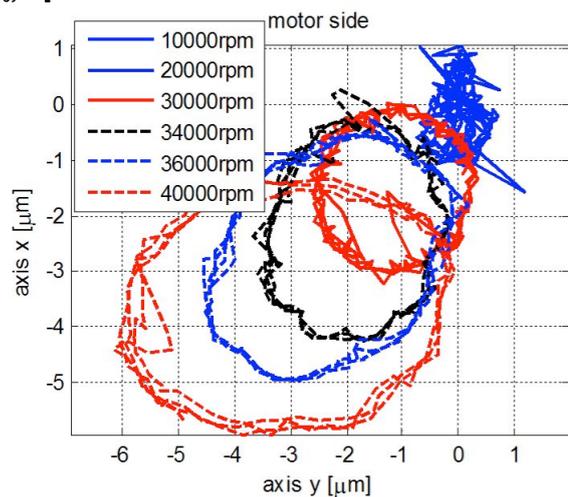
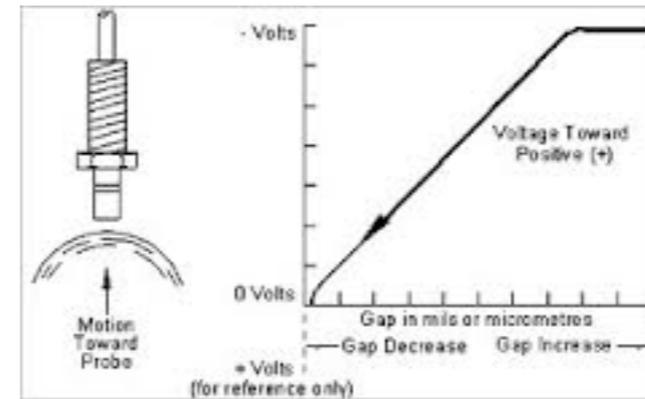


Catena di Misura - sonde di prossimità

Nello studio del macchinario rotante, accanto agli accelerometri spesso si utilizzano sonde di prossimità...

..soprattutto quando si lavora con cuscinetti idrodinamici!

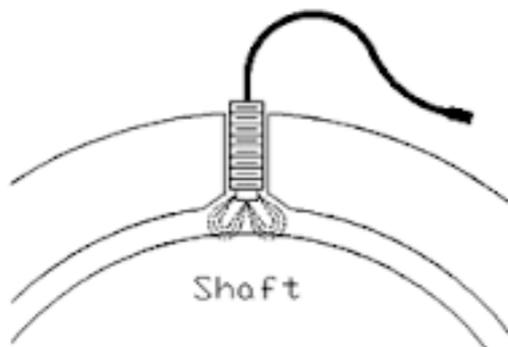
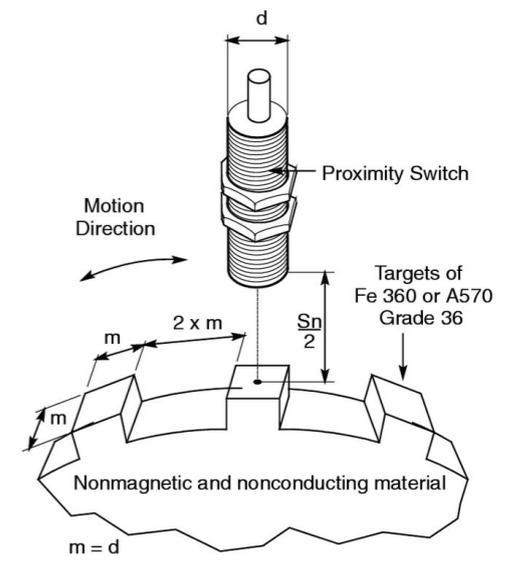
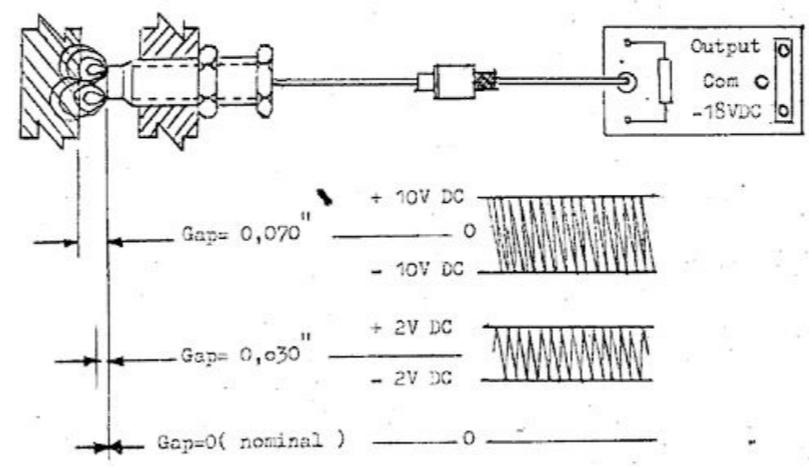
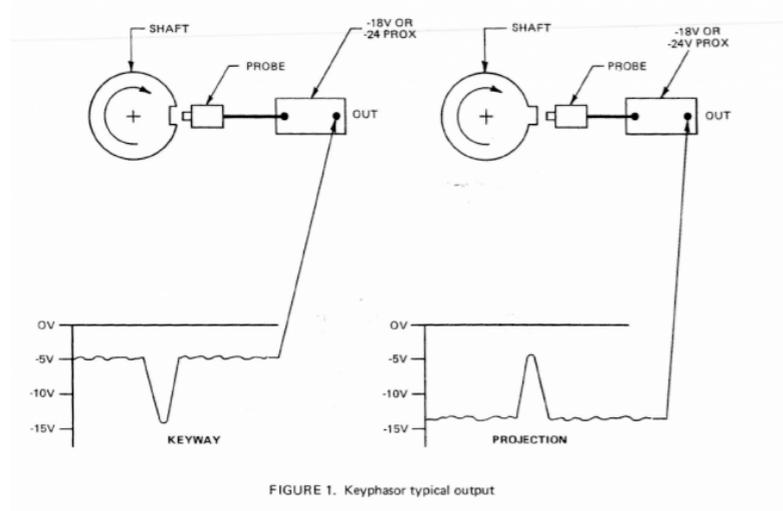
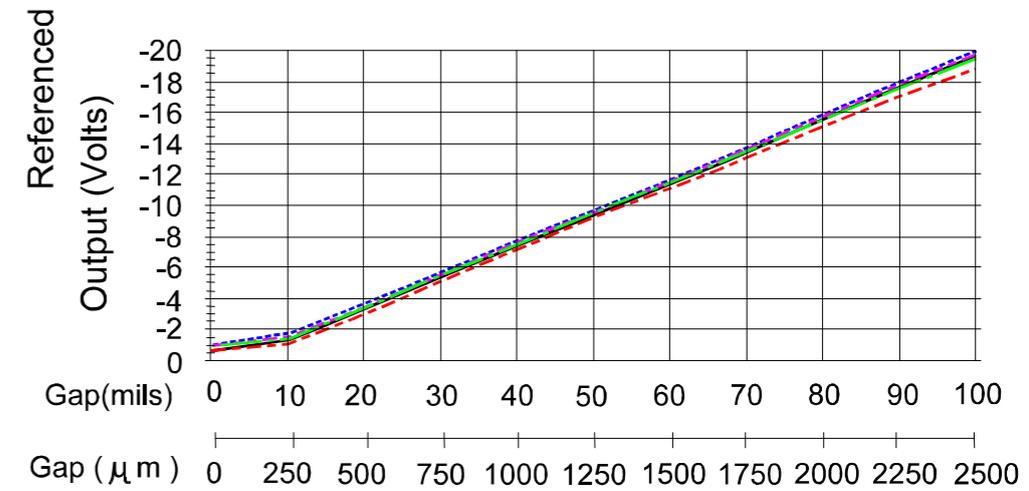
..o quando si vuole misurare la flessione degli alberi!



Catena di Misura - sonde di prossimità

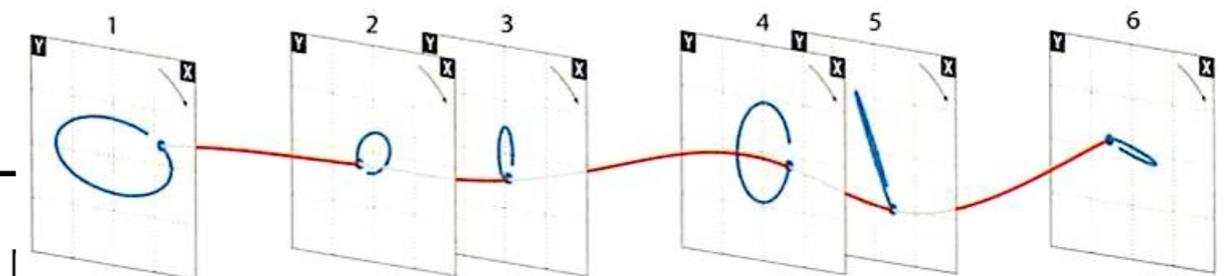
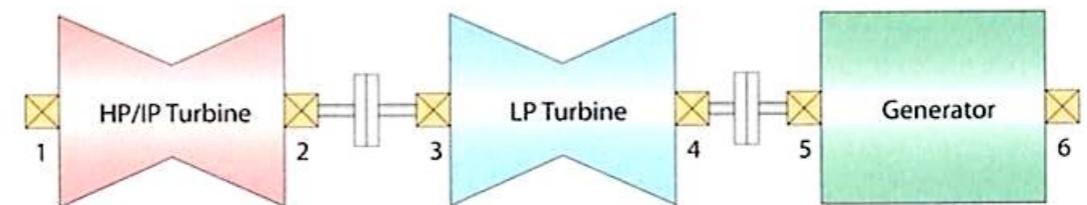
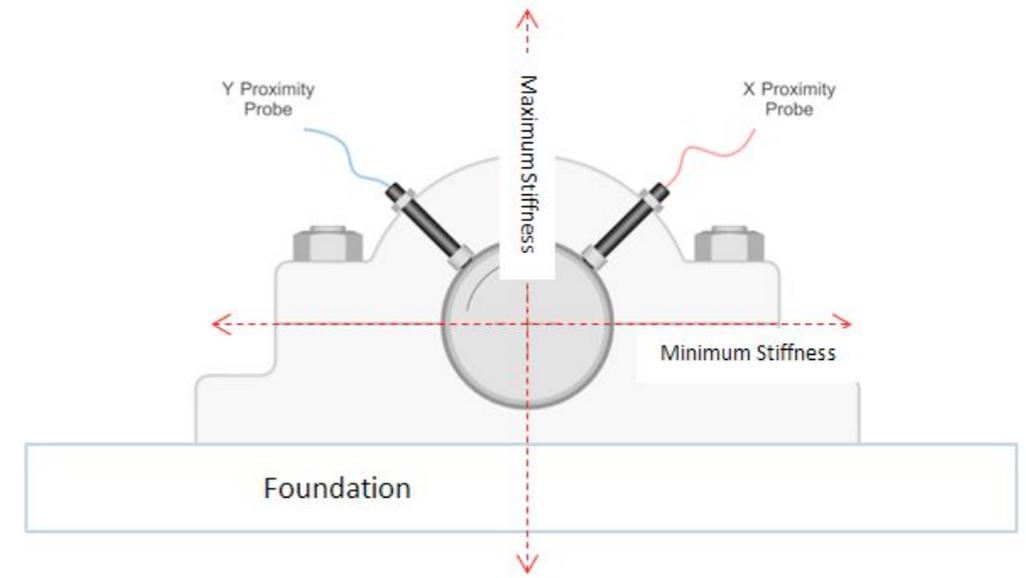
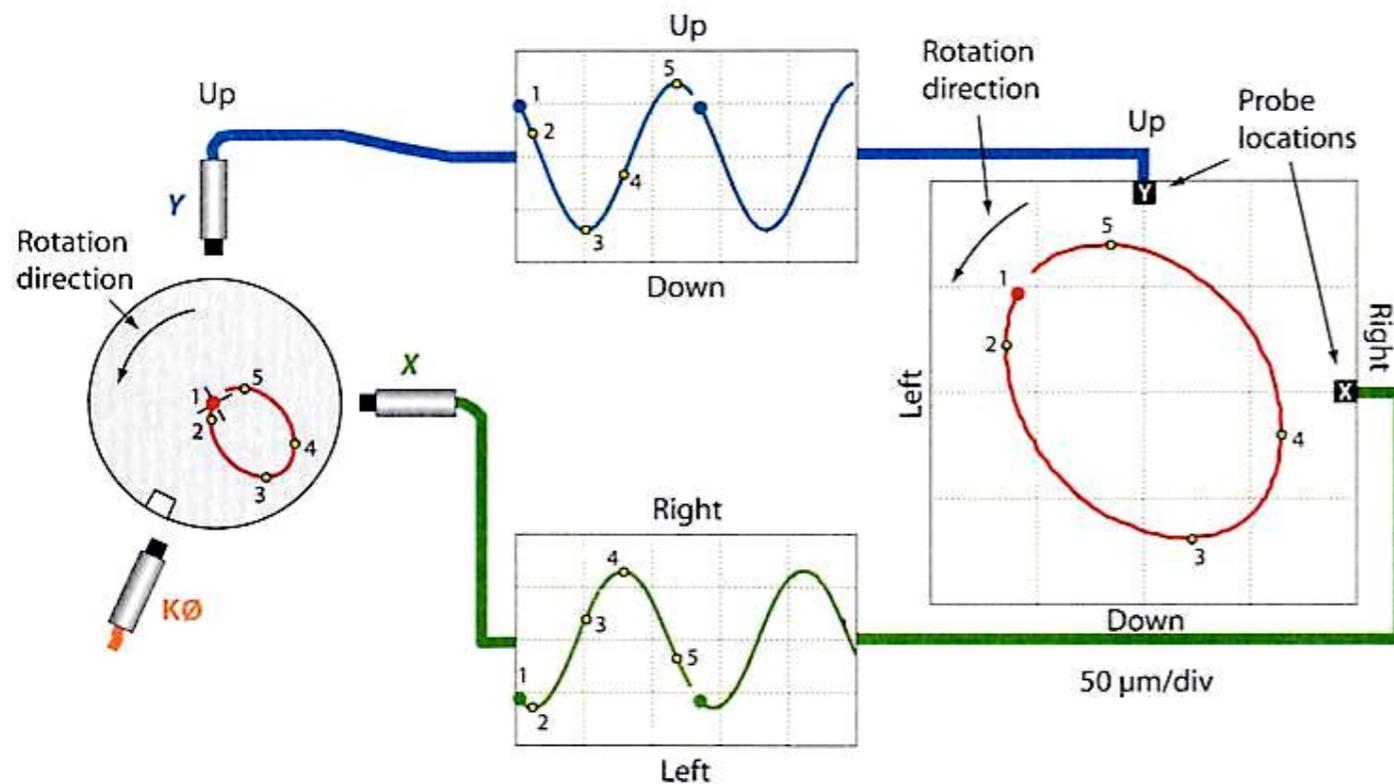
Le sonde di prossimità si basano sull'effetto Hall..
cambia l'induttività del circuito del sensore
in vicinanza del materiale del target (albero)

In funzione della distanza tra la faccia del sensore
ed l'albero si genera una tensione rilevabile..



Catena di Misura - sonde di prossimità

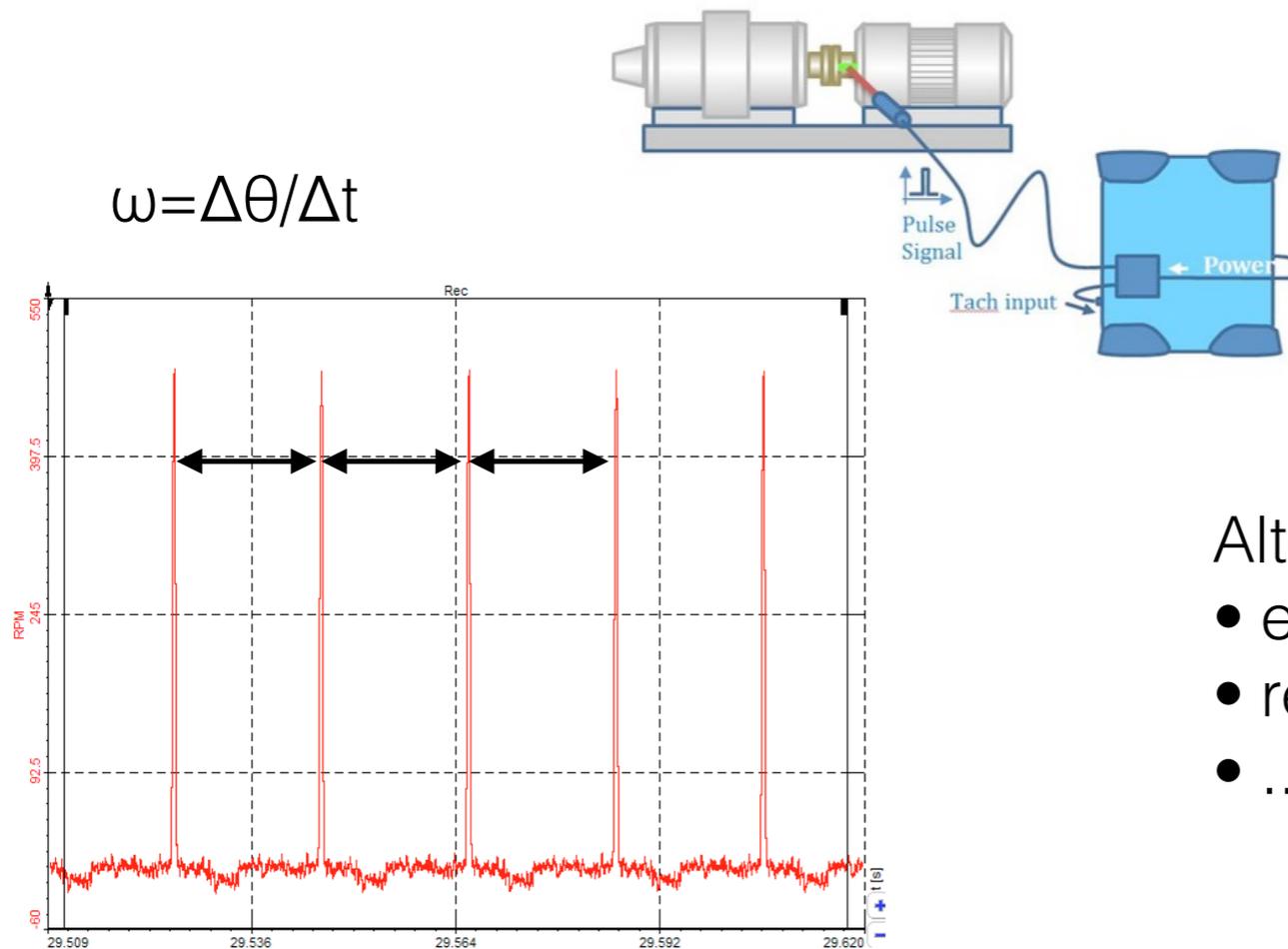
I segnali delle sonde di prossimità vengono analizzati separando la componente DC (che fornisce la posizione del centro dell'albero rotante) e le altre componenti in frequenza (che forniscono la traccia delle orbite di spostamento del centro dell'albero rotante)



Catena di Misura - sonde di prossimità

Le sonde di prossimità possono essere utilizzate anche come fasori per

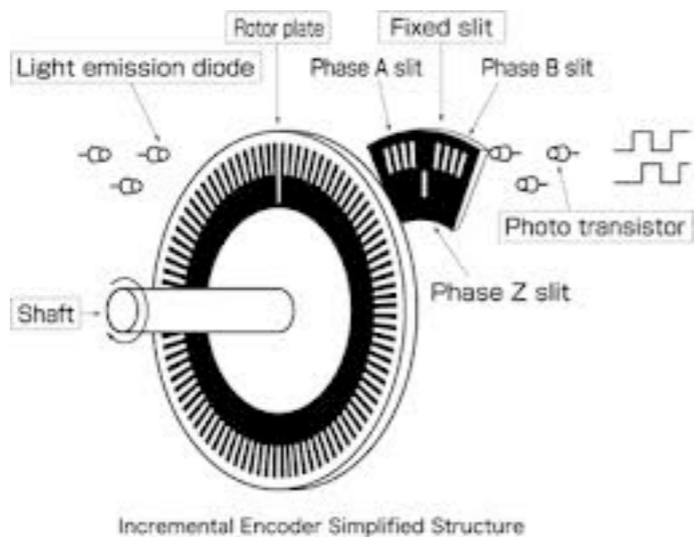
- avere un riferimento di fase per l'equilibratura.. > bilanciamento
- misurare la velocità angolare dell'albero rotante.. > analisi agli ordini
- ..



Alternativamente si possono utilizzare

- encoder
- resolver
- ..

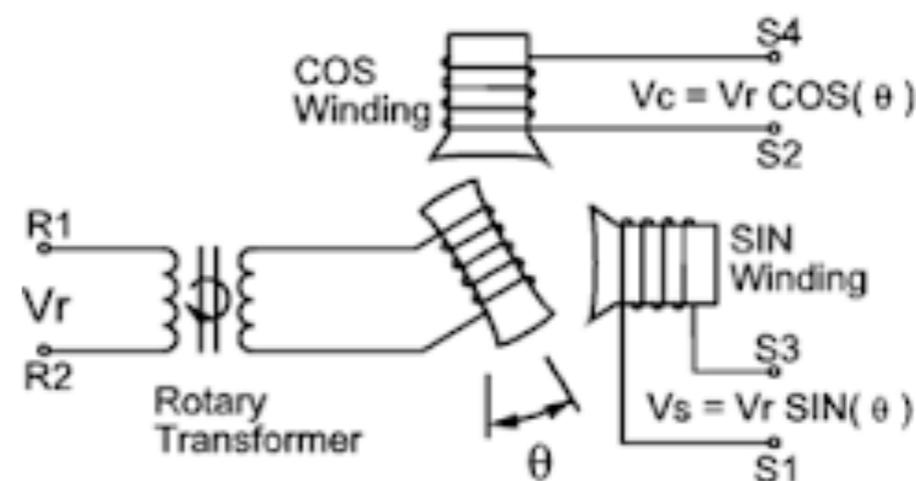
Catena di Misura - encoder e resolver



Encoder ottico..



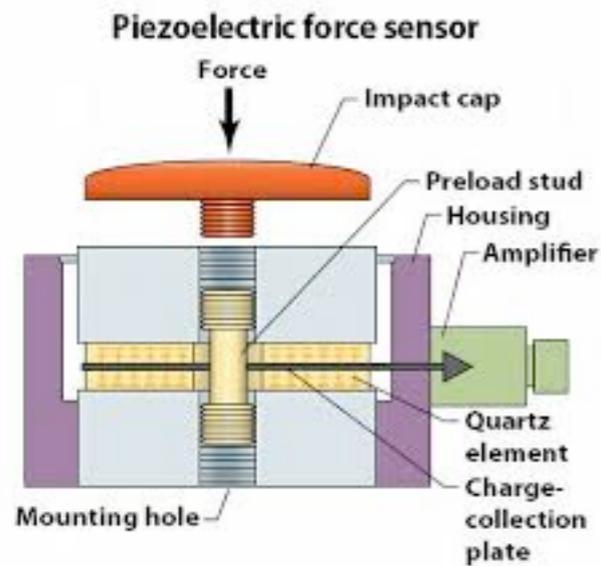
Resolver ..



Catena di Misura - trasduttori di forza

Sappiamo che è utile essere in grado di “eccitare” la struttura..
Bisogna però misurare le forze che si iniettano in questa, per calcolare le FRF d’interesse, la risposta del sistema,..

Tra attuatore e struttura si interpongono celle di carico..
piezoelettriche.. o basate su strain-gauges (dipende dalla frequenza d’interesse)



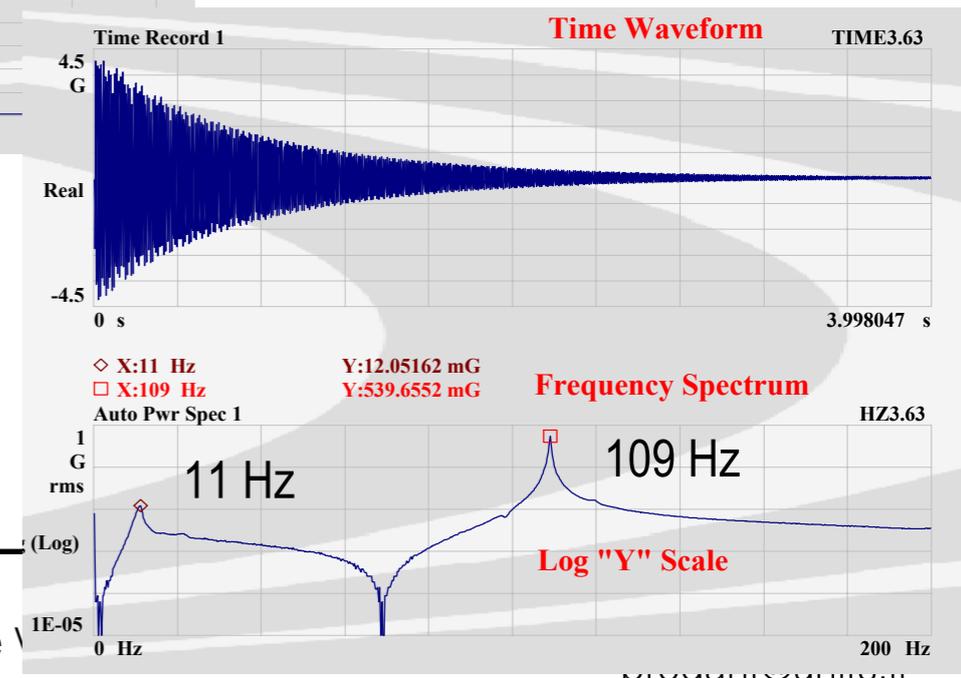
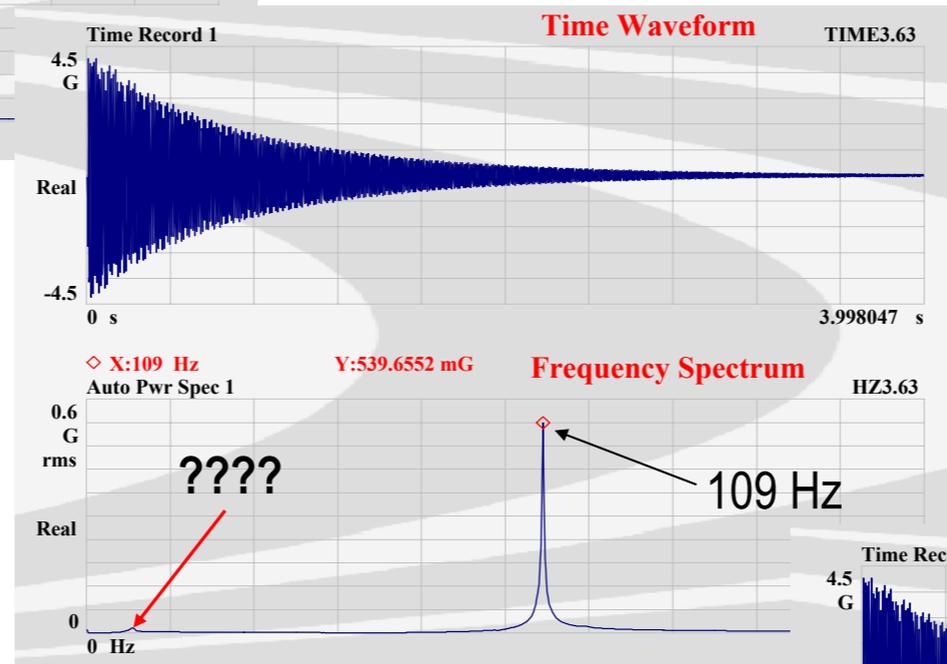
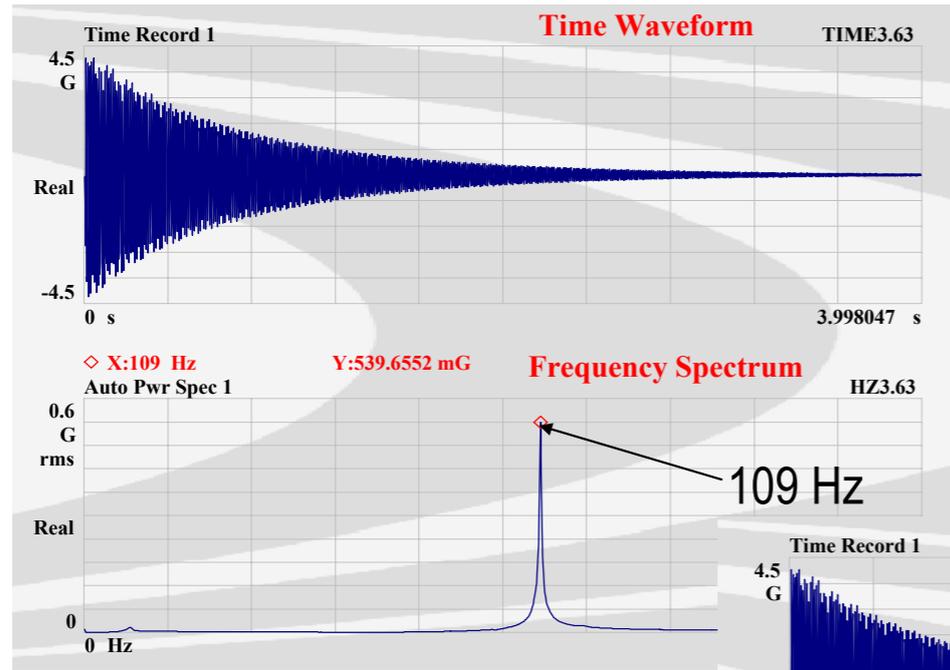
Bump test...



Catena di Misura - trasduttori di forza

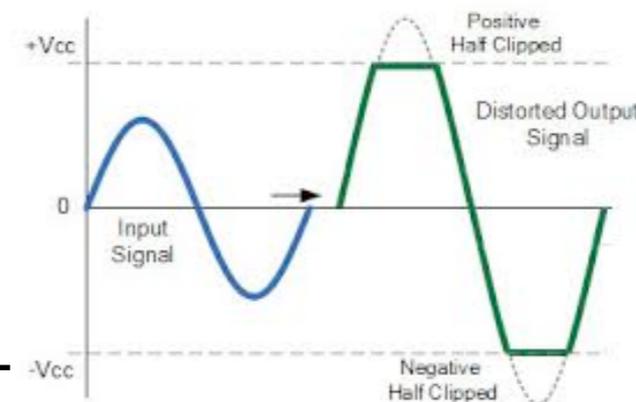
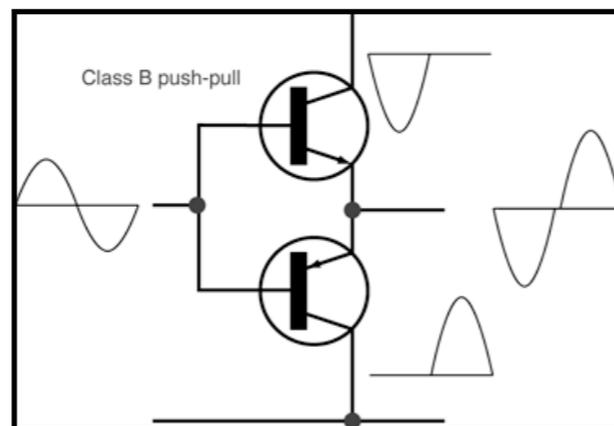
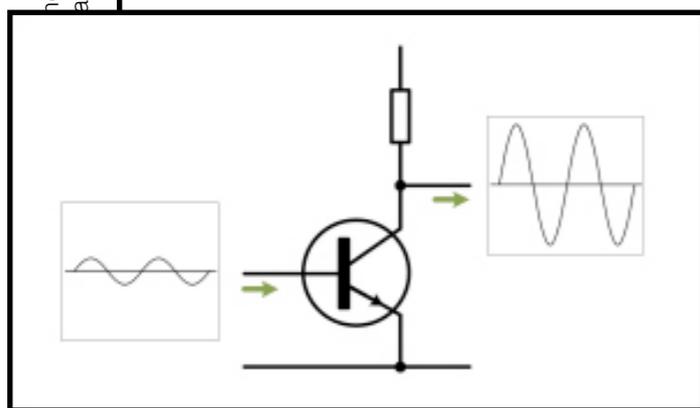
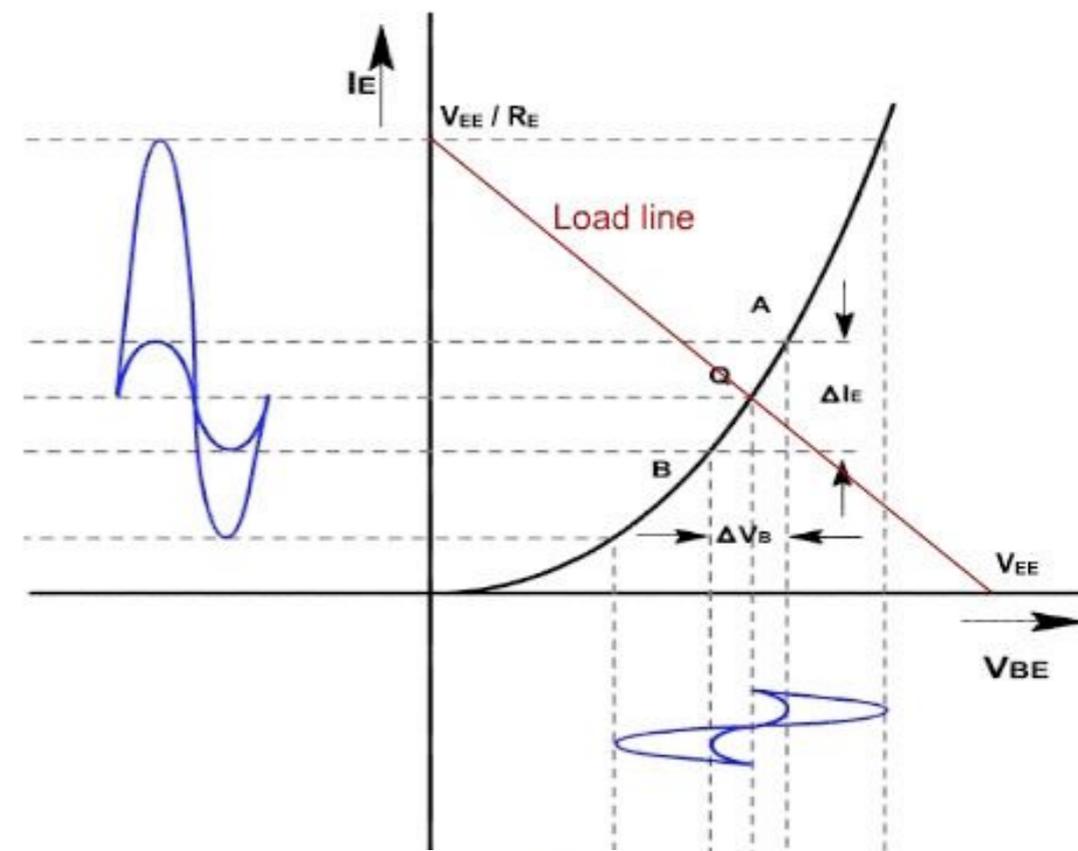
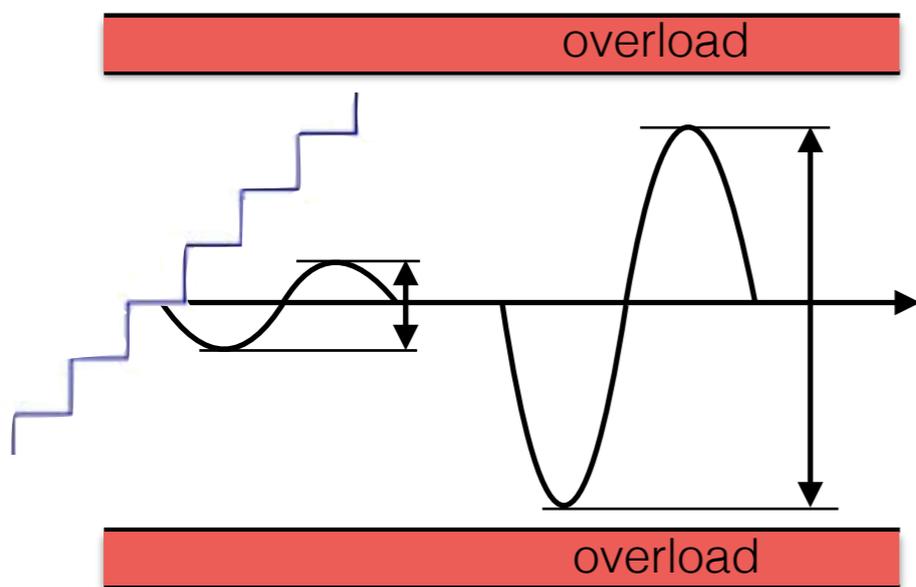
Bump Test..

Bisogna saper interpretare i risultati, distinguendo tra dinamica del sistema e risposta all'eccitazione ...



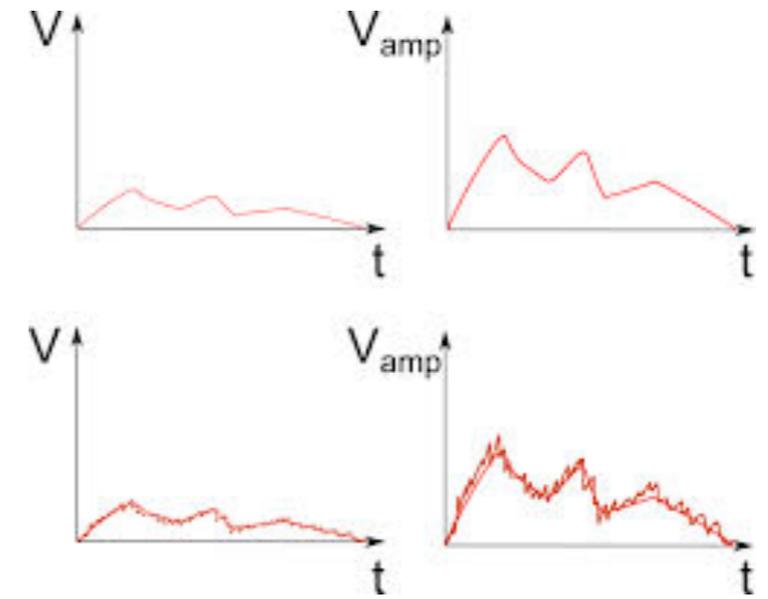
Catena di Misura - amplificatori

Servono per scalare il segnale in modo tale da sfruttare al meglio la gamma dinamica dei convertitori A/D, senza distorsioni / clipping!

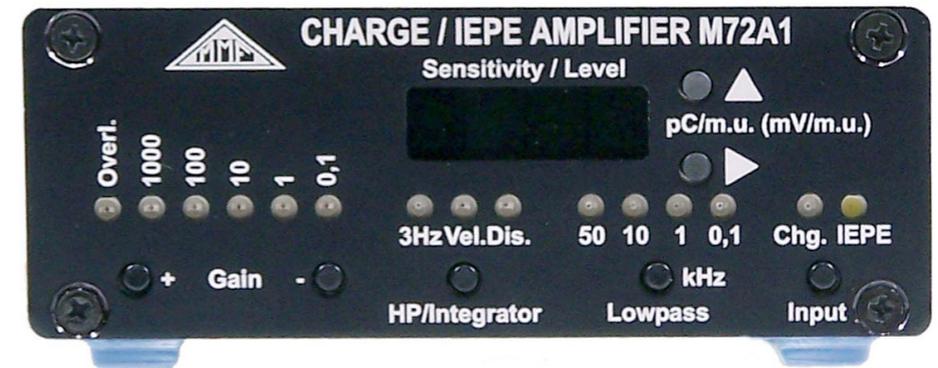


Catena di Misura - amplificatori

..attenzione che si amplifica assieme al segnale anche il rumore!!
(amplificatori dedicati)



Esistono amplificatori IEPE combinano l'alimentazione del sensore all'amplificazione del segnale, all'integrazione del segnale (accelerazione > velocità > spostamento), al filtraggio del segnale (passaalto o/e passabasso)



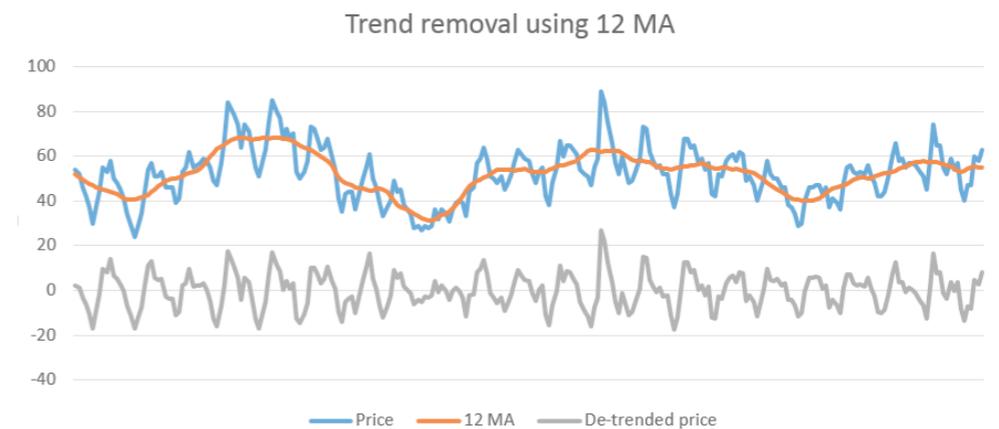
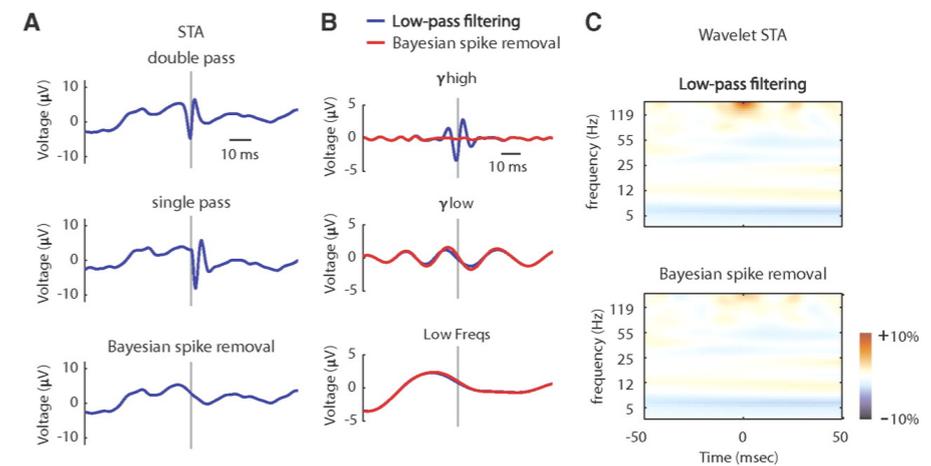
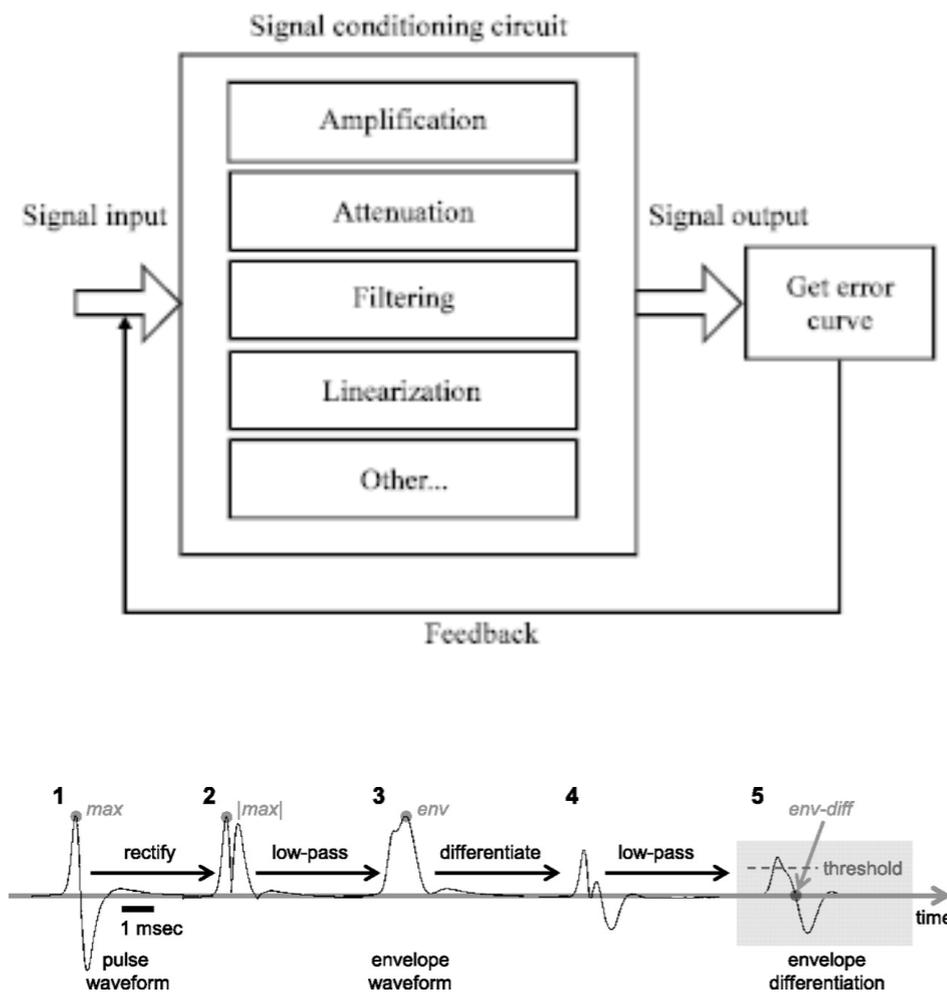
Catena di Misura - condizionatori

Con “condizionamento” si indicano una serie di attività atte a rendere il segnale più “pulito” & “adatto” alle attività successive di DSP..

filtraggio, linearizzazione, integrazione/derivazione, detrending, interpolazione,..

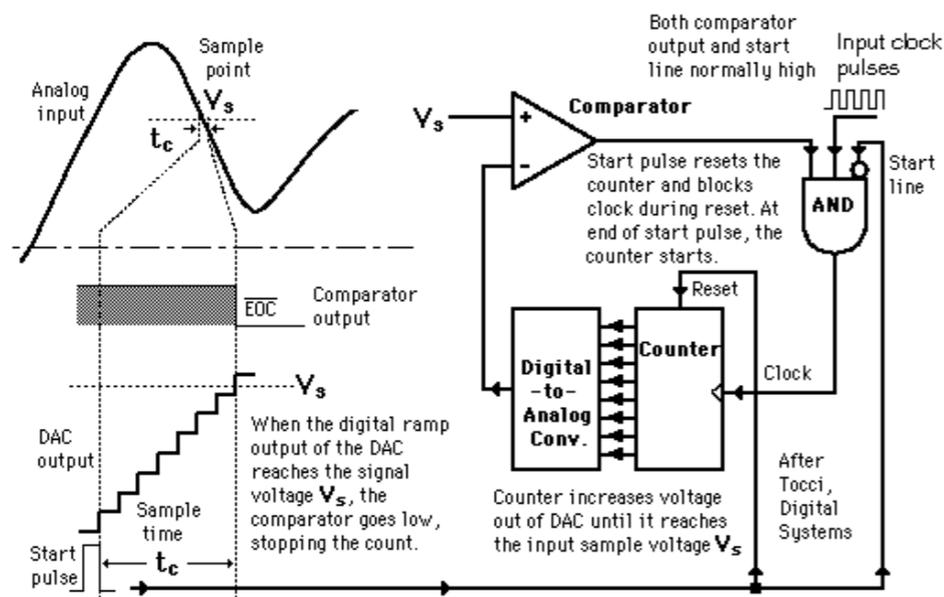
Può essere fatto nel dominio analogico o digitale..

in funzione di quanto serve successivamente..

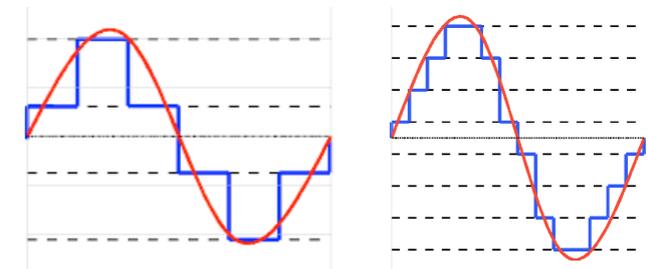
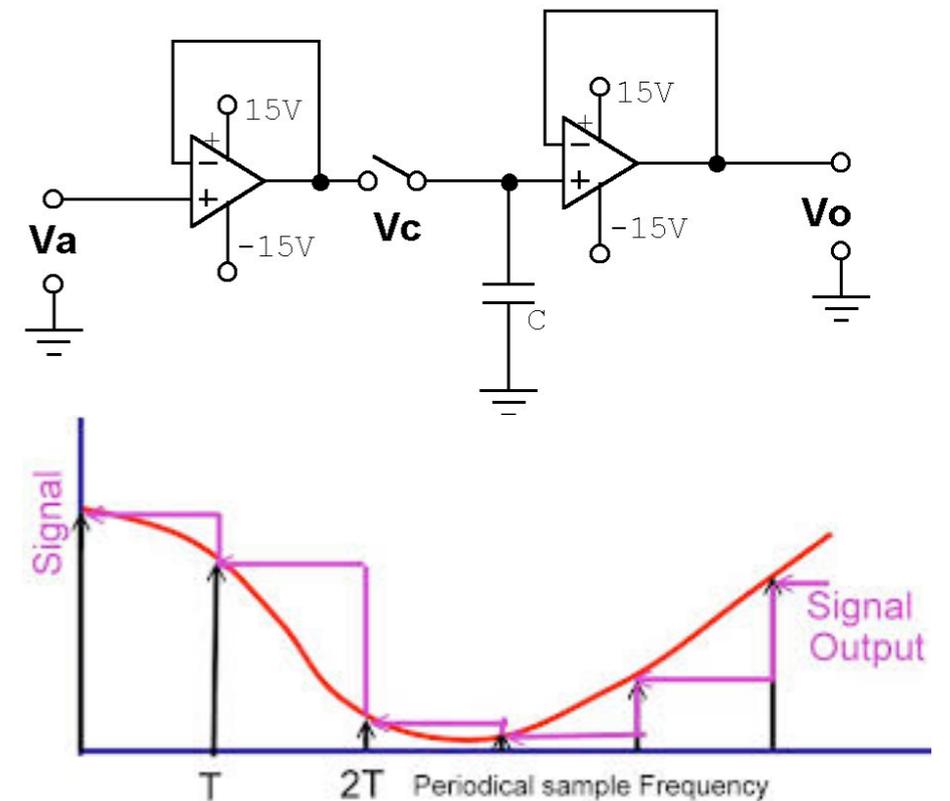
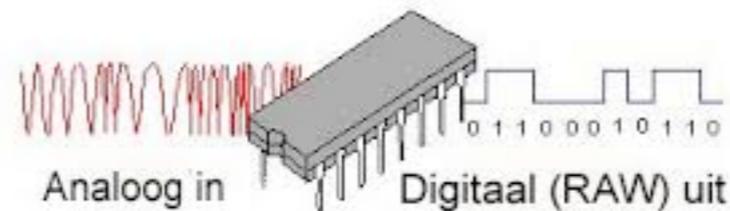


Catena di Misura - convertitori

I convertitori A/D consentono di trasformare un segnale dal dominio analogico (continuo nel tempo e nell'ampiezza) al dominio digitale (discreto nel tempo e nell'ampiezza).. (vedi parte 7)



A/D converter



Catena di Misura

..alcuni siti di fornitori..

plm.automation.siemens.com/it_it/products/lms/index.shtml

oros.com

ni.com

datatranslation.com

ni.com

prosig.com

amteck.com

...

bksv.it/Products/shakers-exciters/lms-vibration-test

tira-gmbh.de/schwing/english/inhalt.htm

polytec.com

smpinstruments.com

ge-mcs.com/en/bently-nevada.html

...

pcb.com

bksv.com

dytran.com

endevco.com

wilcoxon.com

futek.com

...

