

meccanica delle vibrazioni

laurea magistrale
ingegneria meccanica

parte 4.1
Strumenti e metodi sperimentali

Fondamentale nella meccanica delle vibrazioni
è la parte sperimentale!

E' fondamentale quantificare le vibrazioni di macchine e componenti reali per
diversi scopi:



Vaglio vibrante separatore

Compattatore

Ottimizzazione prodotto



Controllo processo



Controllo macchinario

E' vietato ogni utilizzo diverso da quello inerente la preparazione e l'uso del corso di Meccanica delle Vibrazioni @Units
E' espressamente vietato l'utilizzo per qualsiasi scopo

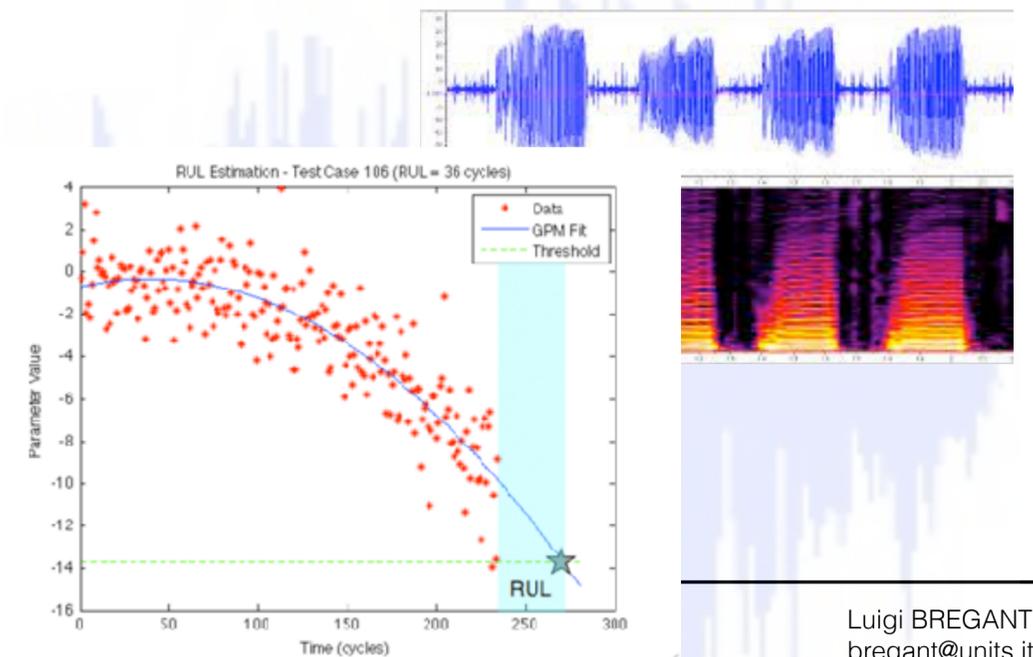
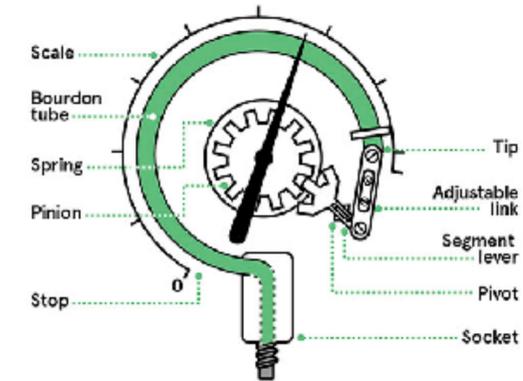
Tutti queste applicazioni richiedono la quantificazione del fenomeno fisico, la digitalizzazione del segnale raccolto, l'estrazione delle informazioni di interesse



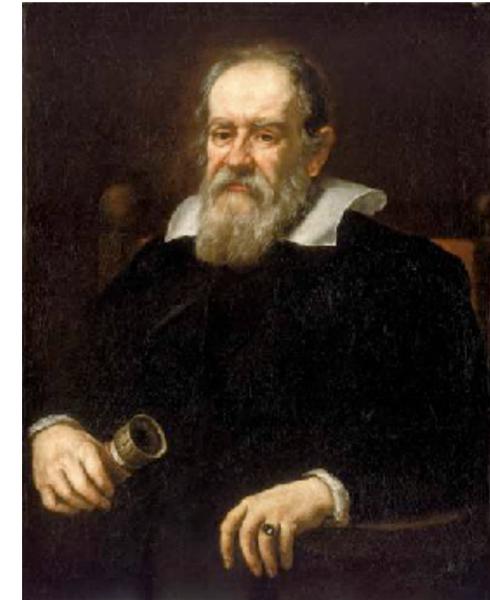
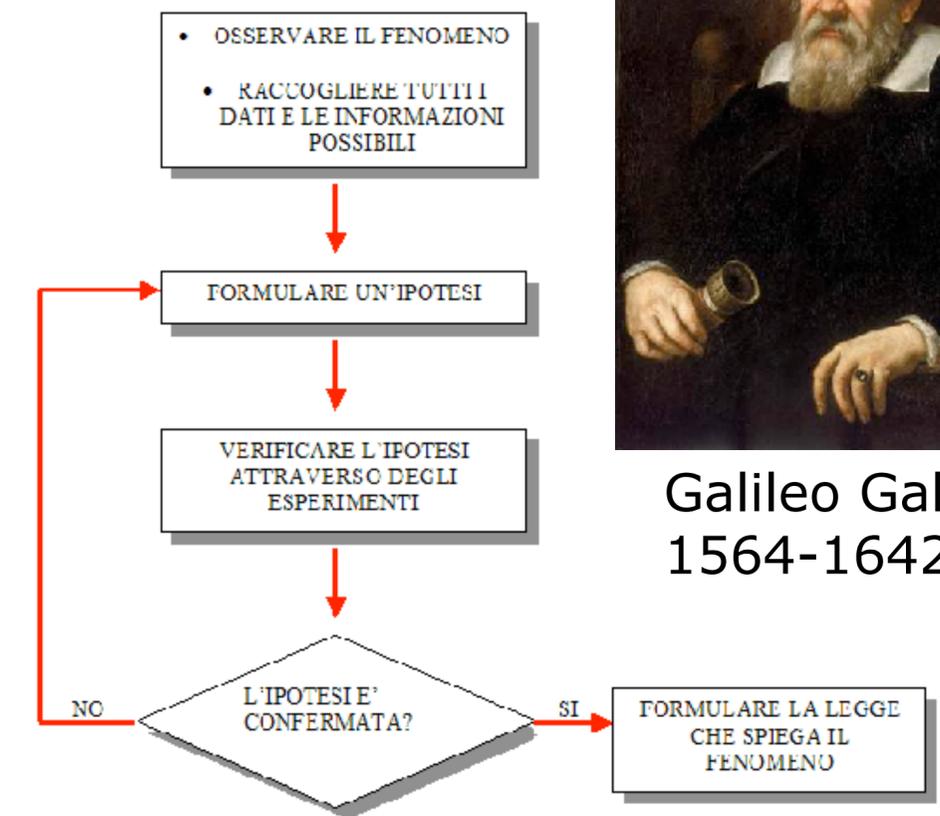
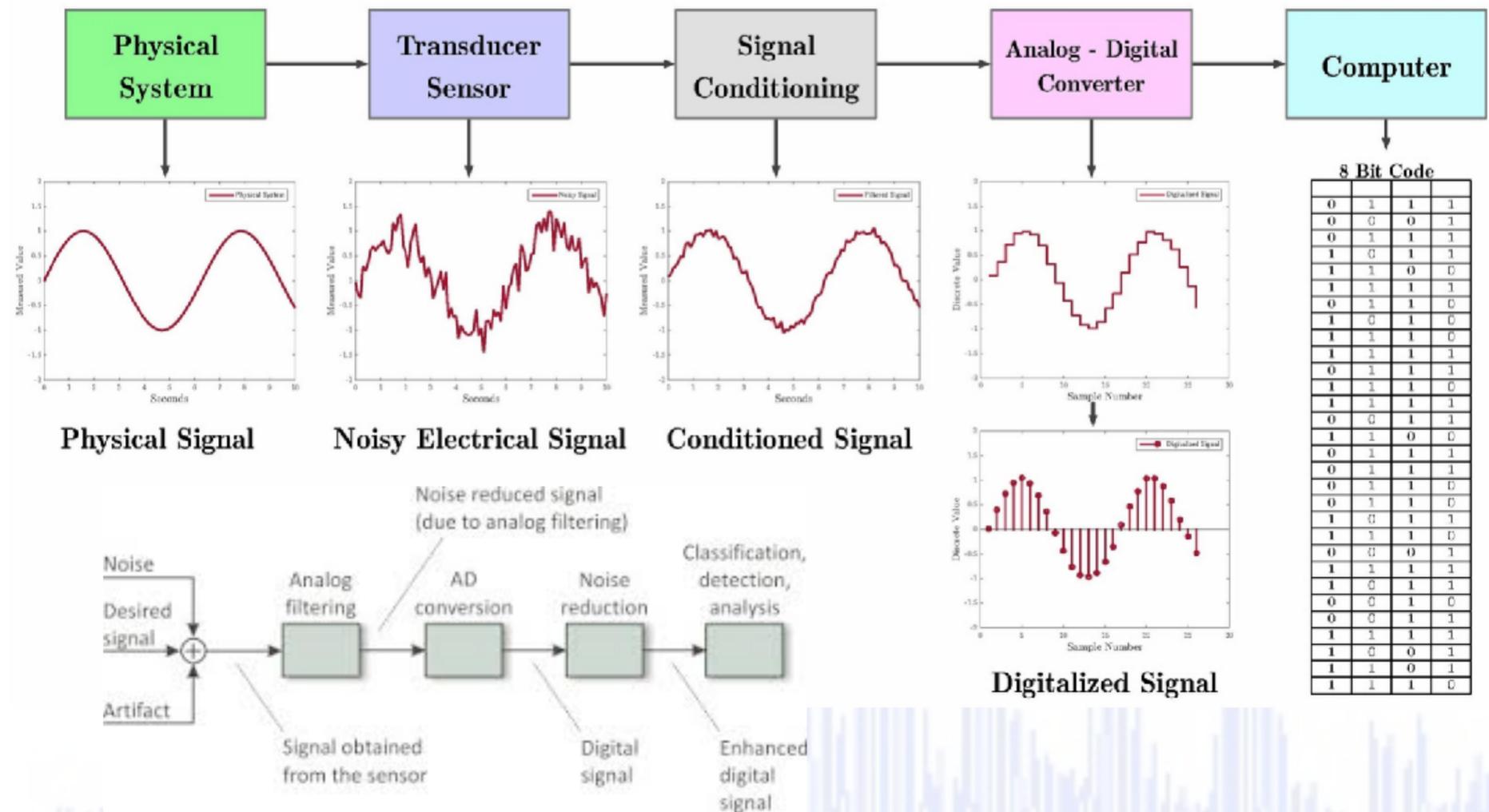
conversione da grandezza fisica a segnale analogico

conversione da segnale analogico a segnale digitale

conversione da segnale digitale a informazioni richiesta

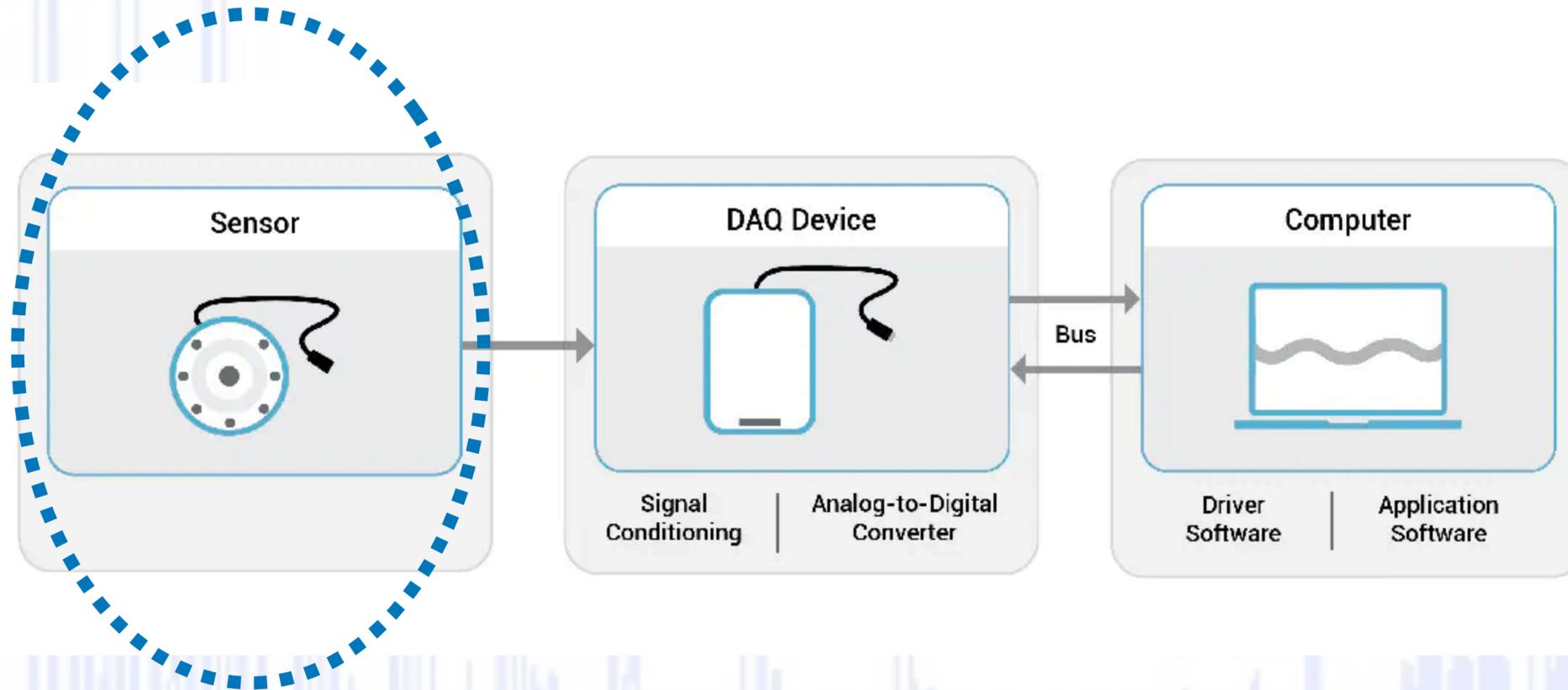


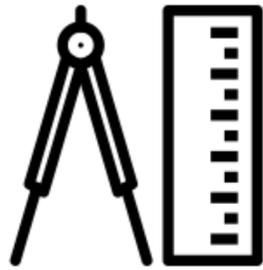
Questi elementi sono fondamentali ed imprescindibili per una buona raccolta dati alla base dell'approccio sperimentale !



Galileo Galilei
1564-1642

Diversi sono le possibili suddivisioni e designazioni dei blocchi di un "generalized measuring system" ma le attività da svolgere sono chiare!





Concetti che potete riprendere dal corso di Misure Meccaniche e Collaudi

Caratteristiche degli strumenti di misura

statiche (accuratezza, giustezza, precisione, tolleranza, portata, soglia, risoluzione, linearità, sensibilità, isteresi, gioco)

dinamiche (prontezza, risposta ad un segnale a gradino: ordine zero, primo ordine, secondo ordine)

Taratura statica e curva di taratura.

Sensori

..tutti i sensori che potrebbero essere correlati con la dinamica del sistema!

sensori per la misura di

vibrazioni (accelerazioni)

vibrazioni (spostamenti)

sensori di spostamento angolare (per l'analisi agli ordini)

sensori di forza dinamici (per la misura di funzioni di risposta in frequenza)

..

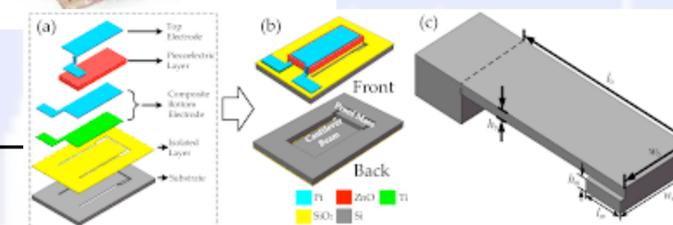
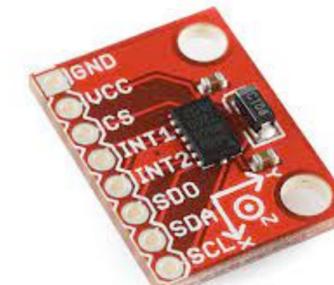
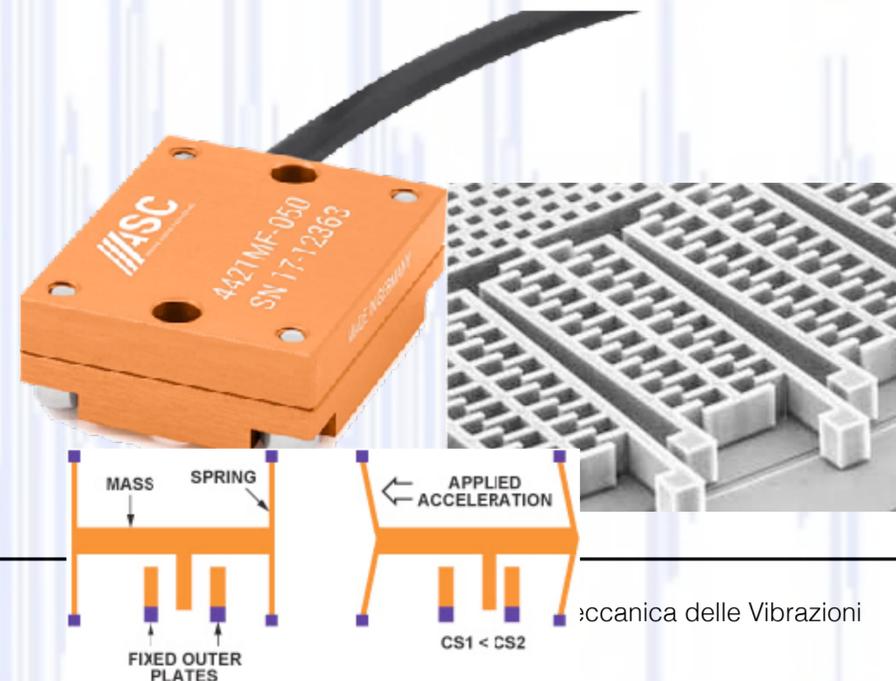
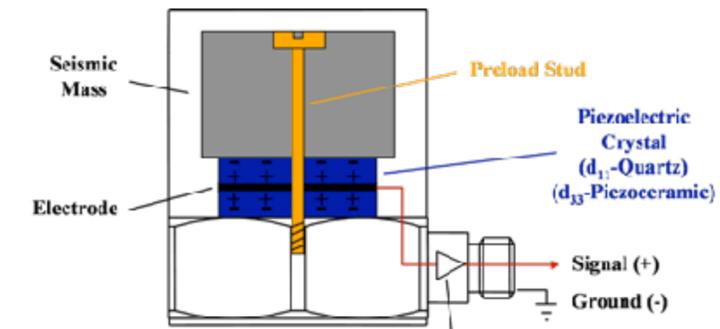
Attenzione la scelta del sensore deve essere commisurata alle esigenze specifiche!



Poniamo l'attenzione sui sensori utilizzati per misurare le vibrazioni:

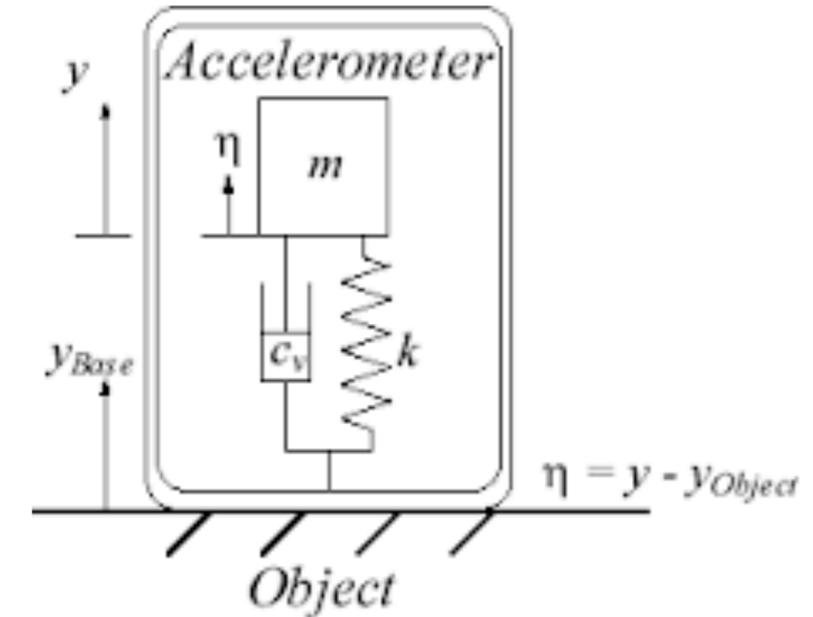
Possono essere classificati in base al principio fisico (sismici, interferometrici, capacitivi,...) al fatto di essere a contatto o meno con l'oggetto da misurare (accelerometri, laser,..) di misurare spostamenti-velocità-accelerazioni e così via..

La scelta viene fatta in funzione dell'applicazione specifica e rispondendo ad una serie di domande quali:
 è a contatto o meno? (es. effetto di massa, superficie alta temperatura...)
 quale range di frequenza? (es. da 0-5kHz)
 quale sensibilità? (es. 100mV/g)
 quale tecnologia? (es. IEPE o Voltage)
 ..



I più comuni sono gli accelerometri sismici piezoelettrici:
 si misura il movimento di una massa (sismica)
 sospesa su un sistema molla-smorzatore (elemento piezo)
 al variare del movimento della base sulla quale il sistema è applicato.

Il segnale elettrico generato sarà proporzionale al movimento
 relativo tra massa sismica e base!



$$m\ddot{y} + c(\dot{y} - \dot{y}_{Base}) + k(y - y_{Base}) = 0$$

Con un cambio di variabile:

$$m\ddot{\eta} + c(\dot{\eta}) + k(\eta) = -m\ddot{y}_{Obj}$$

e supponendo che la base si muova di moto armonico: $y_{Obj} = Y_{Obj} \sin(\Omega t)$

$$m\ddot{\eta} + c(\dot{\eta}) + k(\eta) = m\Omega^2 Y_{Obj} \sin(\Omega t)$$

con la solita trasformazione di Laplace,
 possiamo trovare la funzione di trasferimento $H = \frac{y}{y_{Obj}}$



range utilizzo sensore

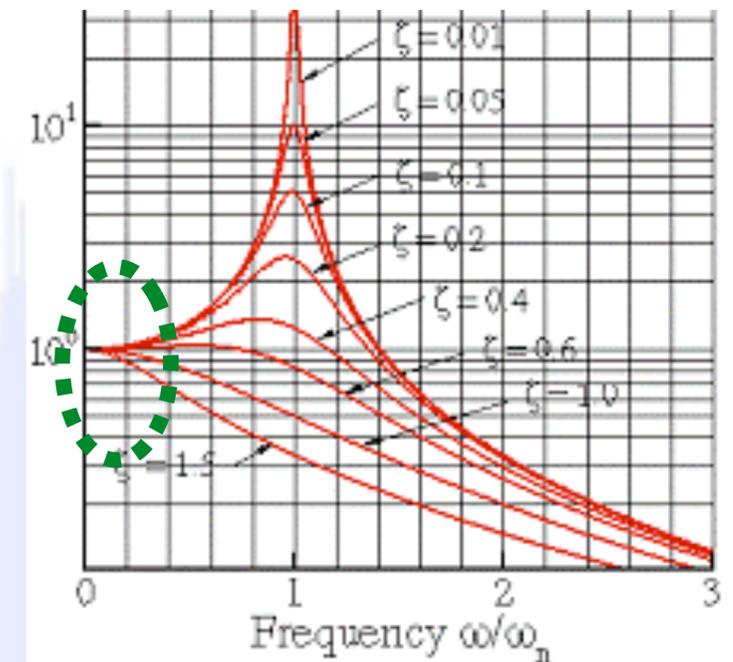
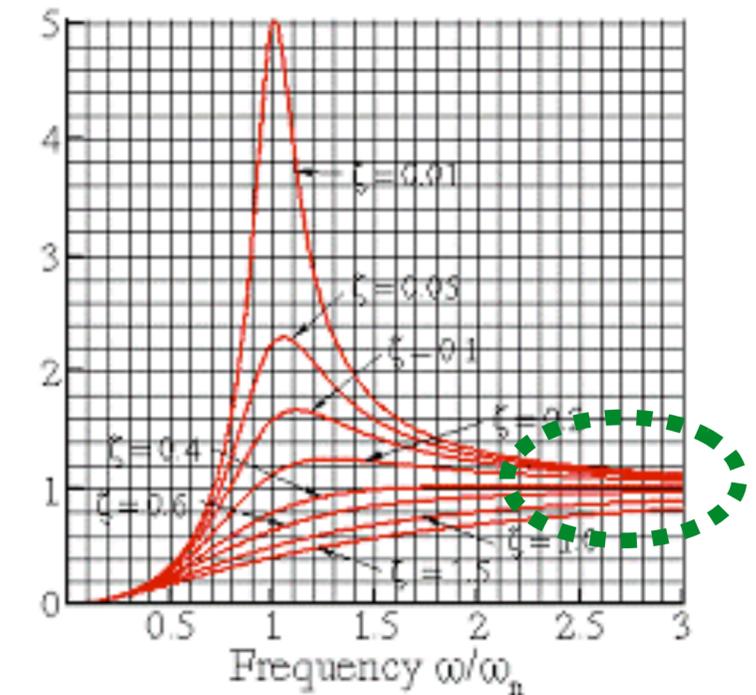
Strumenti e Metodi Sperimentali

$$H = \frac{y}{y_{Obj}} = \frac{\left(\frac{\Omega}{\omega_n}\right)}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[\left(2\zeta \frac{\Omega}{\omega_n}\right)^2\right]}} \rightsquigarrow 1$$

spostamento massa sismica
 proporzionale spostamento oggetto > ω_n grandi ! ..m elevata, k piccola

$$H = \frac{\omega^2 y}{\Omega^2 y_{Obj}} = \frac{\ddot{y}}{y_{Obj}''} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[\left(2\zeta \frac{\Omega}{\omega_n}\right)^2\right]}} \rightsquigarrow 1$$

accelerazione massa sismica
 proporzionale accelerazione oggetto > ω_n piccole!m piccola, k elevata



High frequency sensors
(0.64gr, diam 6mm)



Low frequency sensors
(790 gr, diam 50mm)



Very low frequency sensors
(??)



Leggere bene
le specifiche del sensore!!

Model Number
352A71

ICP® ACCELEROMETER

Revision: D
ECN #: 42399

	ENGLISH	SI	
Performance			
Sensitivity(± 15 %)	10 mV/g	1.02 mV/(m/s ²)	
Measurement Range	± 500 g pk	± 4900 m/s ² pk	
Frequency Range(± 5 %)	0.5 to 10,000 Hz	0.5 to 10,000 Hz	
Frequency Range(± 10 %)	0.35 to 16,000 Hz	0.35 to 16,000 Hz	
Frequency Range(± 3 dB)	0.2 to 25,000 Hz	0.2 to 25,000 Hz	
Resonant Frequency	≥ 65 kHz	≥ 65 kHz	
Broadband Resolution(1 to 10,000 Hz)	0.003 g rms	0.03 m/s ² rms	[1]
Non-Linearity	≤ 1 %	≤ 1 %	[2]
Transverse Sensitivity	≤ 5 %	≤ 5 %	
Environmental			
Overload Limit(Shock)	± 10,000 g pk	± 98,000 m/s ² pk	
Temperature Range(Operating)	-65 to +200 °F	-54 to +93 °C	
Temperature Response	See Graph	See Graph	[1]
Electrical			
Excitation Voltage	18 to 30 VDC	18 to 30 VDC	
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA	
Output Impedance	≤ 200 Ohm	≤ 200 Ohm	
Output Bias Voltage	7 to 12 VDC	7 to 12 VDC	
Discharge Time Constant	1.0 to 3.5 sec	1.0 to 3.5 sec	
Settling Time(within 10% of bias)	≤ 3 sec	≤ 3 sec	
Spectral Noise(1 Hz)	725 µg/√Hz	7110 (µm/sec ²)/√Hz	[1]
Spectral Noise(10 Hz)	225 µg/√Hz	2210 (µm/sec ²)/√Hz	[1]
Spectral Noise(100 Hz)	60 µg/√Hz	590 (µm/sec ²)/√Hz	[1]
Spectral Noise(1 kHz)	20 µg/√Hz	196 (µm/sec ²)/√Hz	[1]
Physical			
Size (Height x Length x Width)	.14 in x 0.41 in x 0.25 in	3.6 mm x 10.4 mm x 6.4 mm	
Weight(without cable)	0.023 oz	0.64 gm	[1]
Sensing Element	Ceramic	Ceramic	
Sensing Geometry	Shear	Shear	
Housing Material	Titanium	Titanium	
Sealing	Hermetic	Hermetic	
Electrical Connector	Solder pins with attached cable	Solder pins with attached cable	
Electrical Connection Position	Side	Side	
Cable Termination	10-32 Coaxial Plug	10-32 Coaxial Plug	
Cable Length	10 ft	3.05 m	[3]
Mounting	Adhesive	Adhesive	

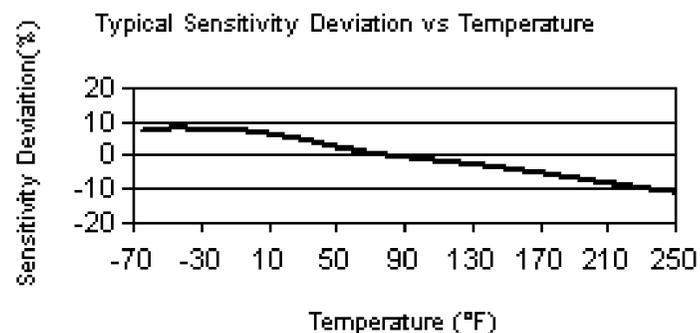
OPTIONAL VERSIONS
Optional versions have identical specifications and accessories as listed for the standard model except where noted below. More than one option may be used.

NOTES:

- [1] Typical.
- [2] Zero-based, least-squares, straight line method.
- [3] Cable is made up of 1 ft. of 089 cable (32 AWG twisted pair) spliced to 9 ft. of 018 cable (coaxial).
- [4] See PCB Declaration of Conformance PS023 for details.

SUPPLIED ACCESSORIES:

- Model 039A32 One-piece removal tool for model 352A71 (1)
- Model 080A109 Petro Wax (1)
- Model ACS-1 NIST traceable frequency response (10 Hz to upper 5% point). (1)



All specifications are at room temperature unless otherwise specified.
In the interest of constant product improvement, we reserve the right to change specifications without notice.

ICP® is a registered trademark of PCB Group, Inc.

PCB PIEZOTRONICS™
3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043

Phone: 716-684-0001
Fax: 716-684-0987
E-Mail: info@pcb.com

Entered: AP	Engineer: SDS	Sales: WDC	Approved: JJB	Spec Number:
Date: 1/15/2014	Date: 1/15/2014	Date: 1/15/2014	Date: 1/15/2014	24786

erimentali

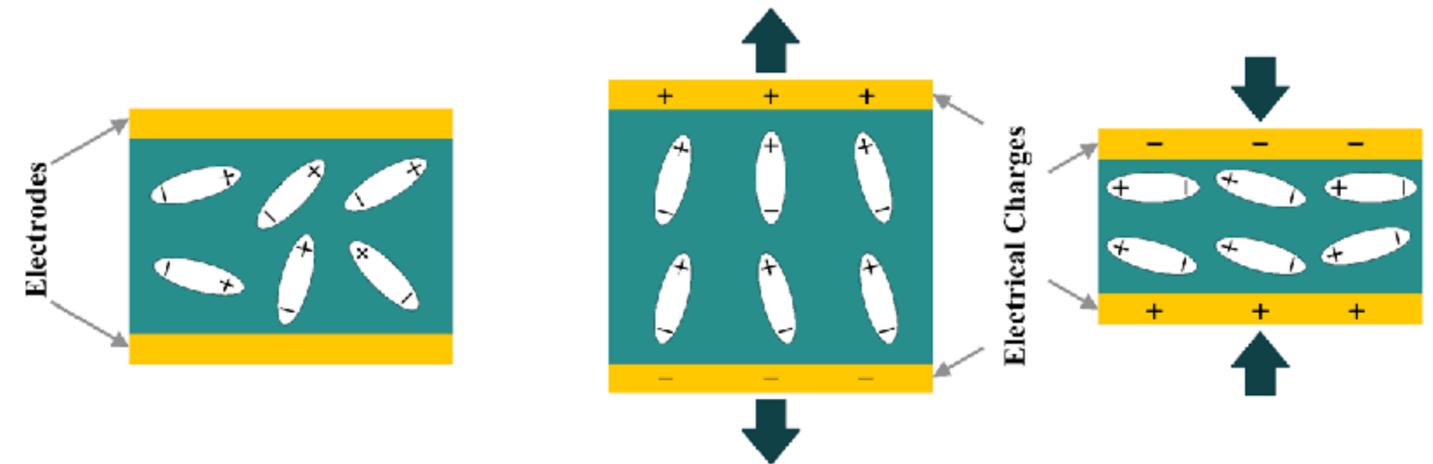
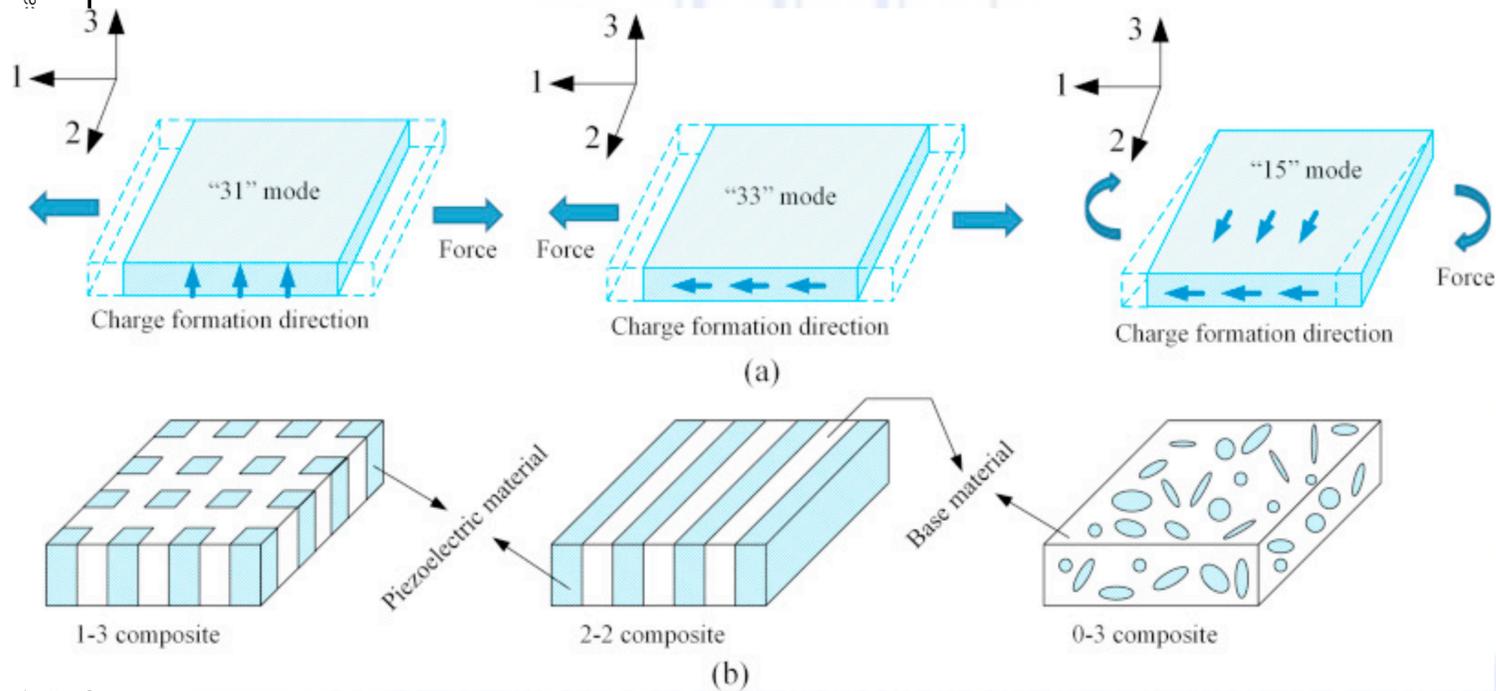
Luigi BREGANT
bregant@units.it

Due dettagli sull'effetto piezoelettrico!

I cristalli piezoelettrici (naturali-quarzo, artificiali-PZT) quando vengono sollecitati meccanicamente creano una ridistribuzione di cariche elettriche. Questa può essere rilevata ed utilizzata come segnale.

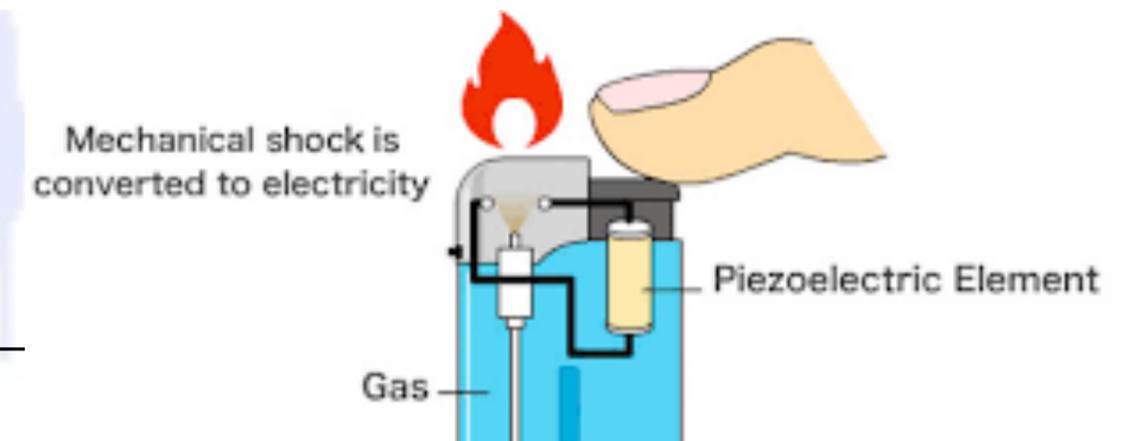
Per un sensore di vibrazioni si parla di un segnale dell'ordine dei picoC (pico 10^{-12} !!)
 E' difficile* da trasportare un segnale così per lungo distanze, servono convertitori carica/tensione vicino al sensore
 Attenzione alle deformazioni accidentali del piezo > segnali spurii > diverse soluzioni realizzative per gli accelerometri

a delle Vibrazioni @Units



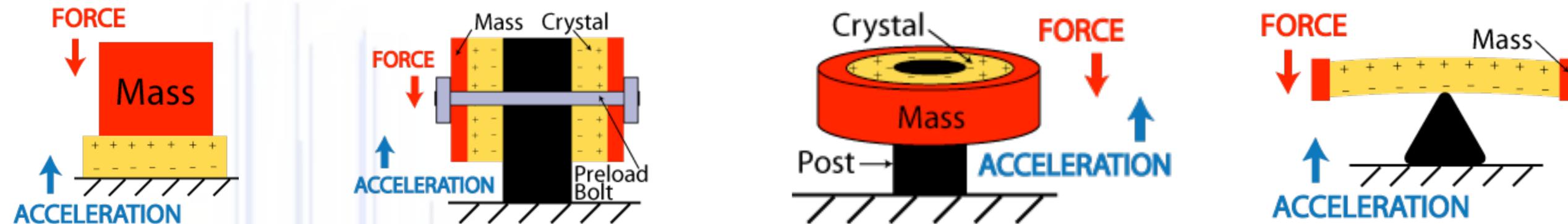
a) Direct Piezoelectric Effect

* per i disturbi elettrici soprattutto

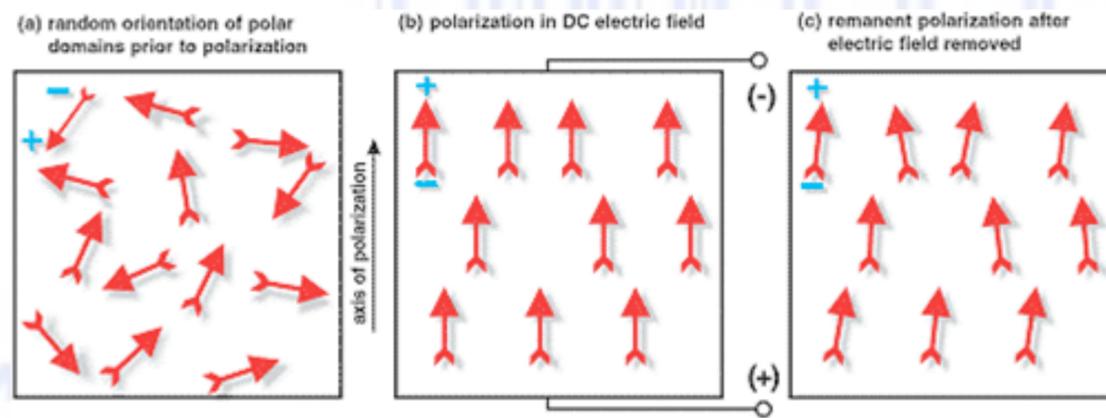


E' vietato ogni utilizzo div E espressamente vietato

Esempi di posizionamento dell'elemento piezoelettrico (giallo) negli accelerometri:



Nei materiali artificiali la piezoelettricità è generata durante il processo di formazione imponendo un forte campo elettrico attraverso il materiale, durante la fase di raffreddamento.



Attenzione alle temperature, se questi materiali si riscaldano oltre una certa temperatura*, perdono l'allineamento imposto ai dipoli e con questo le proprietà piezoelettriche. In caso di misure ad alte temperature, preferire sensori con elemento piezoelettrico in cristallo naturale (o raffreddare il sensore..)

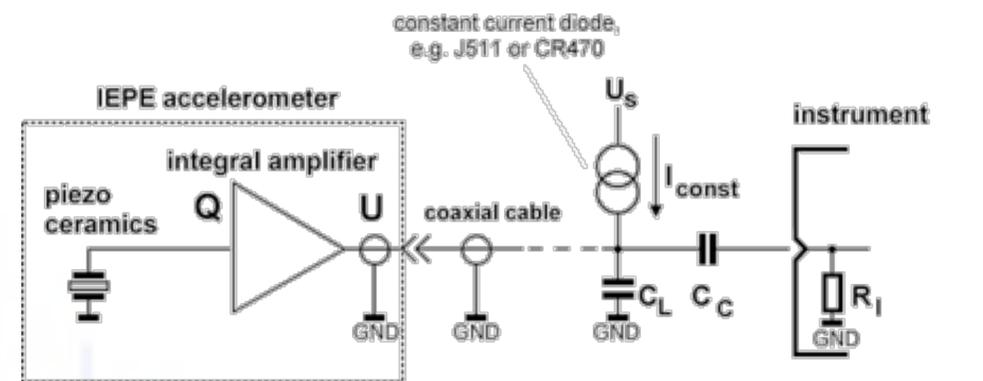
* Temperatura Curie, per PZT attorno ai 120°C

Piuttosto di usare convertitori Carica-Tensione in prossimità dei sensori si preferisce utilizzare dei sensori con il convertitore contenuto nel sensore stesso! Questi sensori sono detti IEPE o ICP e devono esser collegati a DAQ in grado di alimentare tale elettronica!! ..corrente 2-4mA.

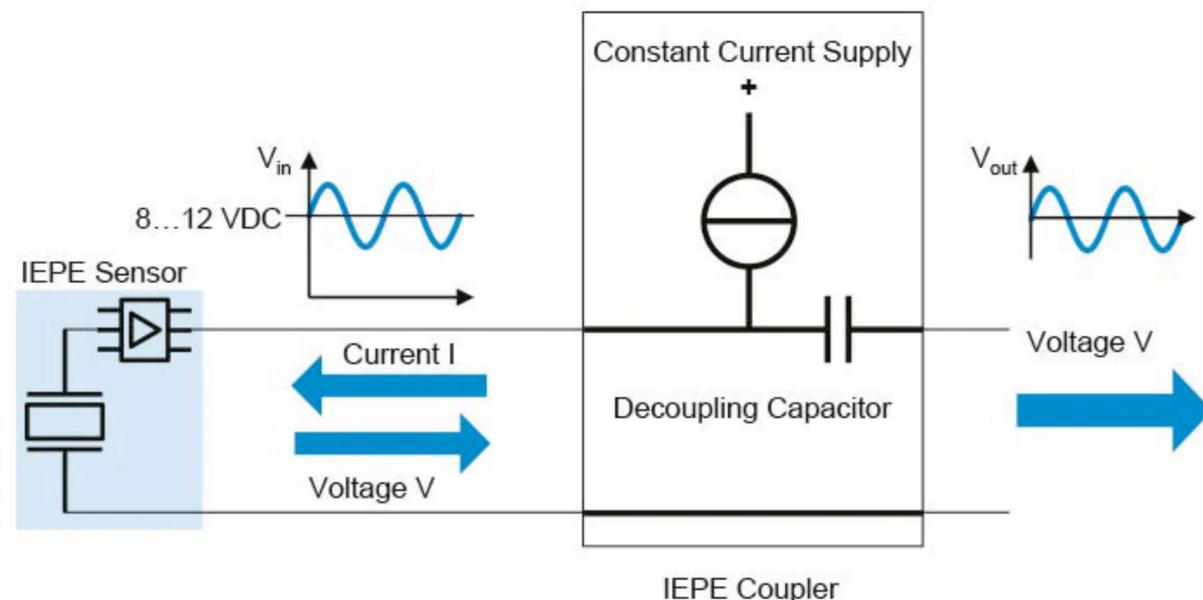
Attenzione che senza questa corrente non si rileverà nulla di utile!



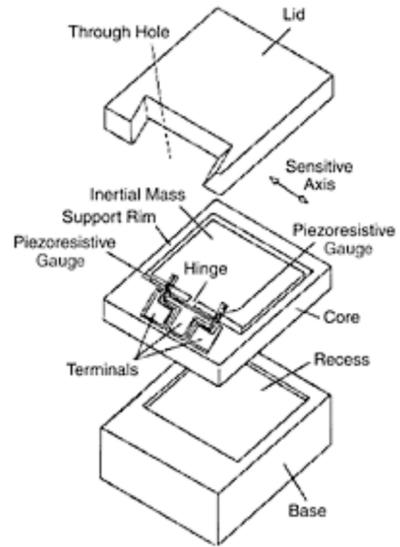
Convertitore B&K mono-canale 5000 € circa



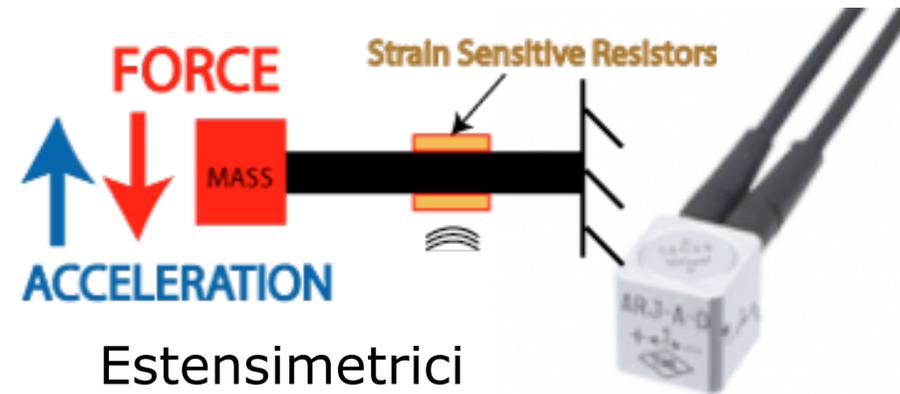
- C_L cable capacitance (approx. 100pF / m)
- C_C coupling capacitor, typically 1 .. 10 μ F
- I_{const} constant current source, recommended 4 mA
- R_i input resistance
- U_s supply voltage of constant current source, recommended > 18 V



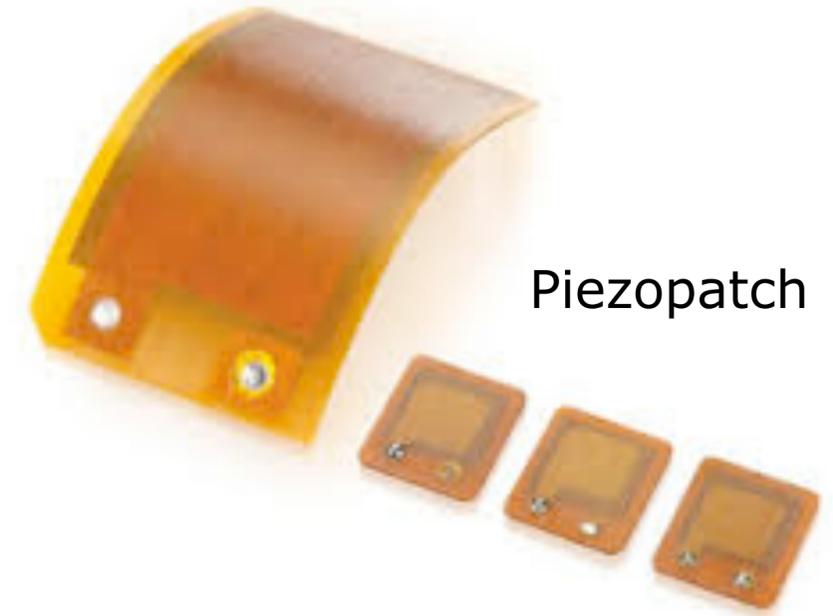
Si utilizzano anche altre tecnologie per la rilevare le vibrazioni:



Piezoresistivi

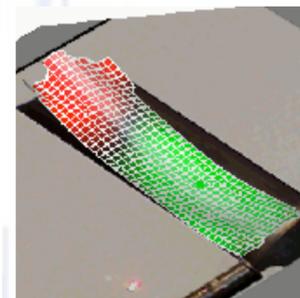
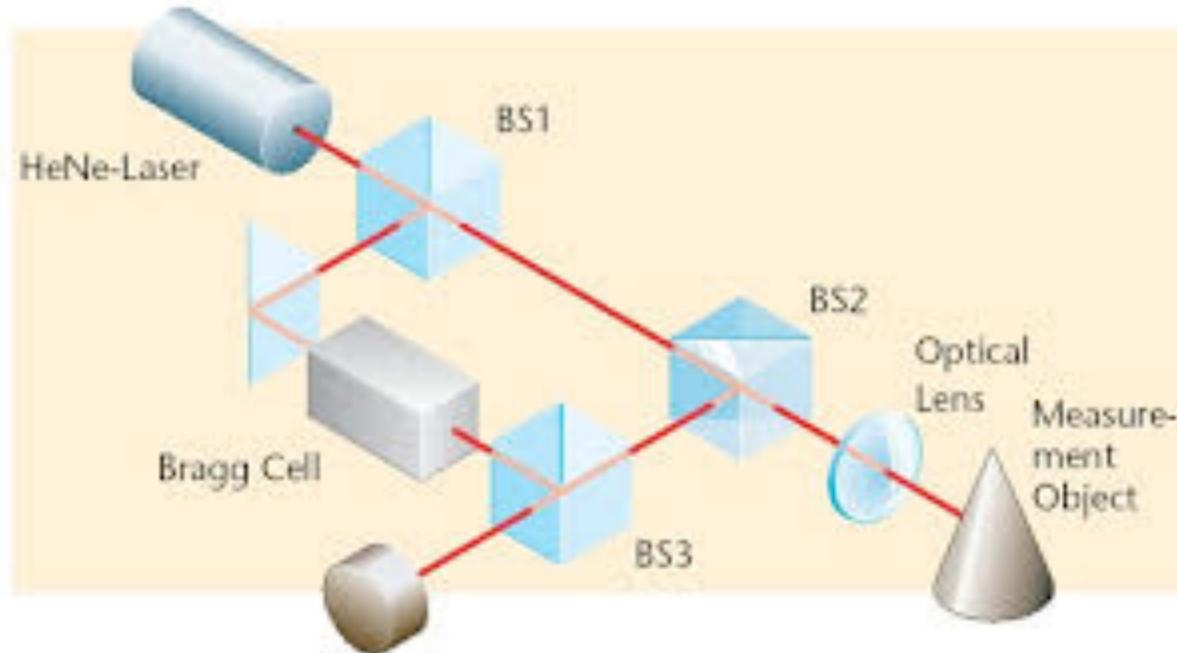


Estensimetrici



Piezopatch

Tachimetro Frahm

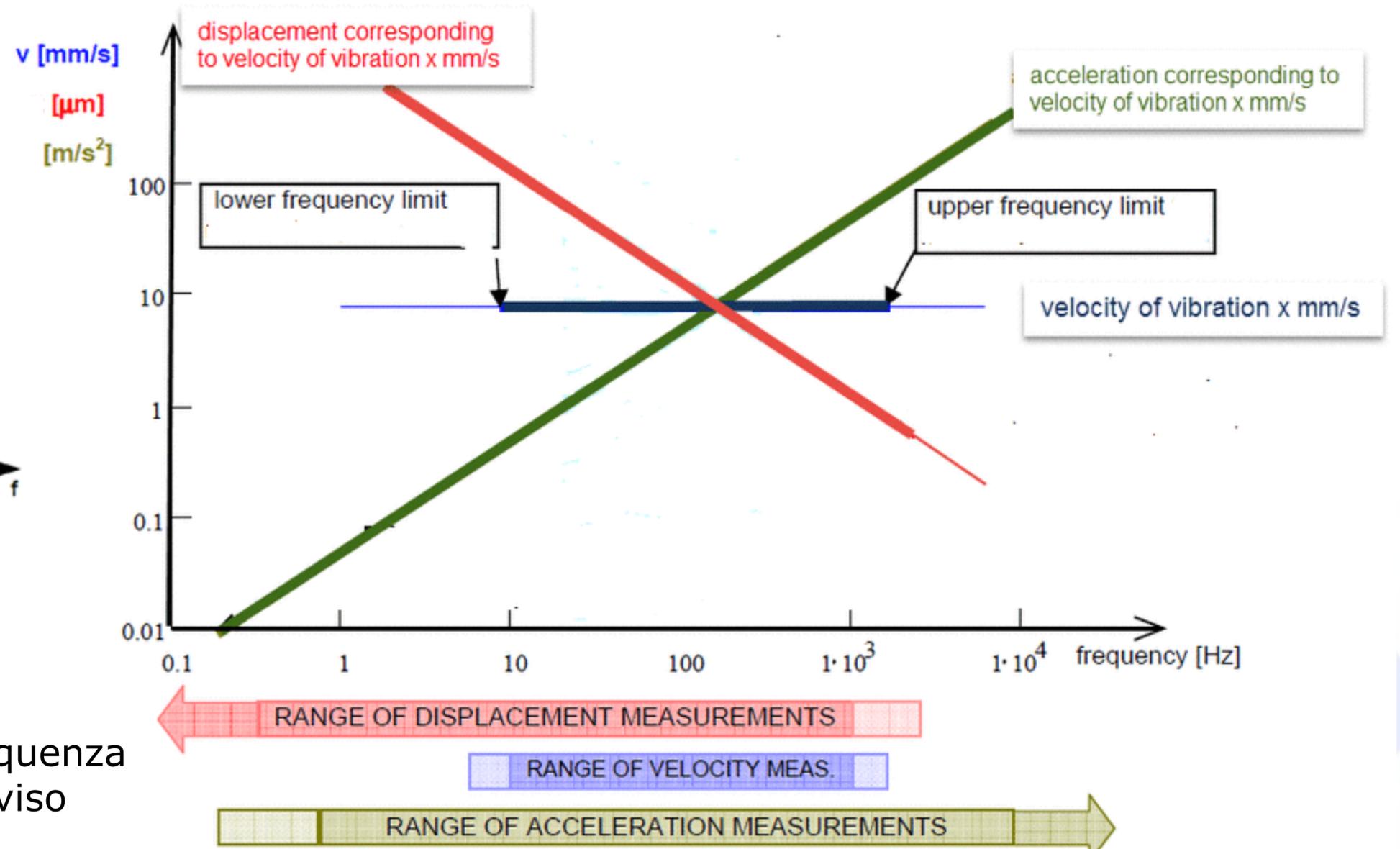
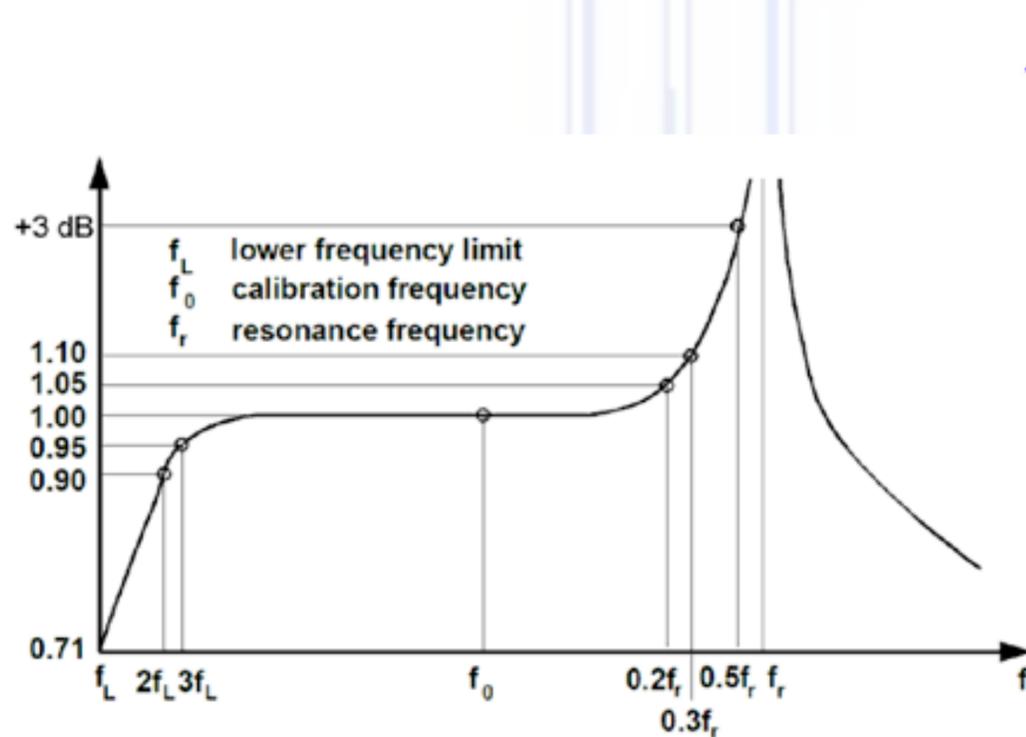


Interferometria Laser

(punto singolo / scansione)

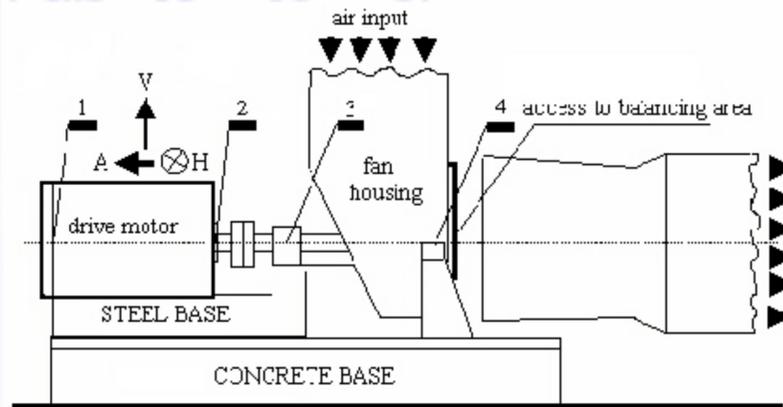
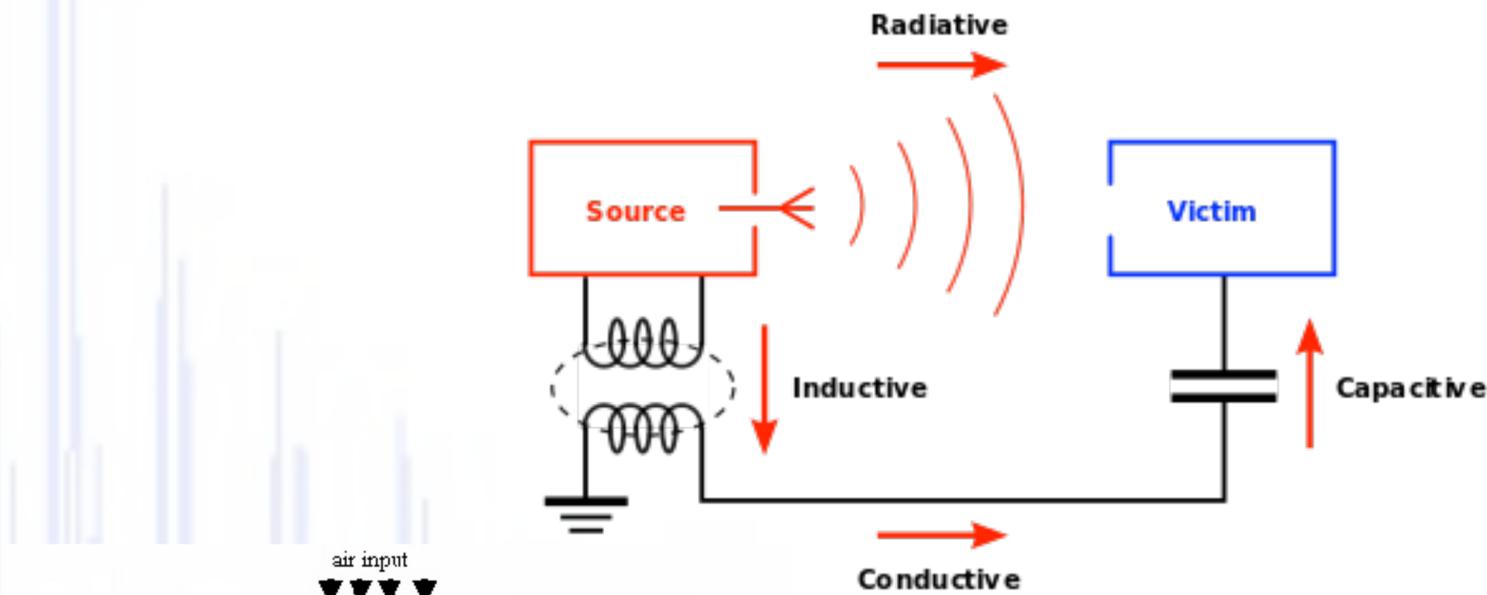
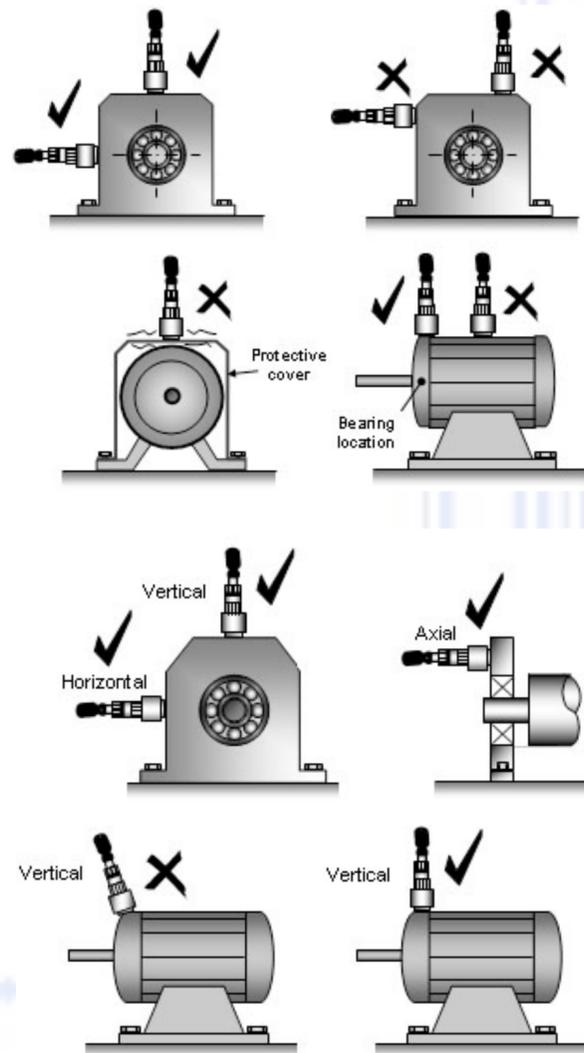
Ma si usano sempre / solo accelerometri per misure vibrazionali?

In realtà no, dipende dal range di frequenza del moto da rilevare e dalla sensibilità specifica del sensore nello stesso range
 ad es. a bassissima frequenza i sensori sismici non funzionano*!



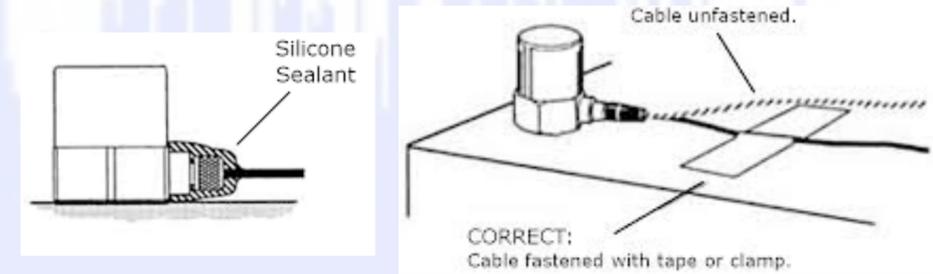
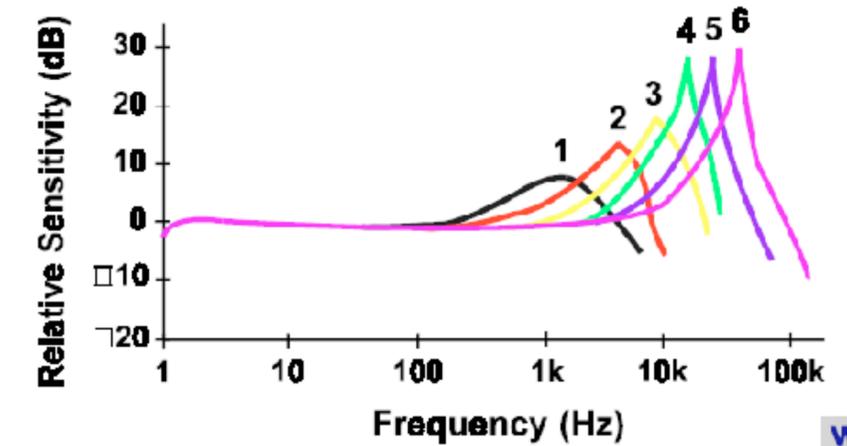
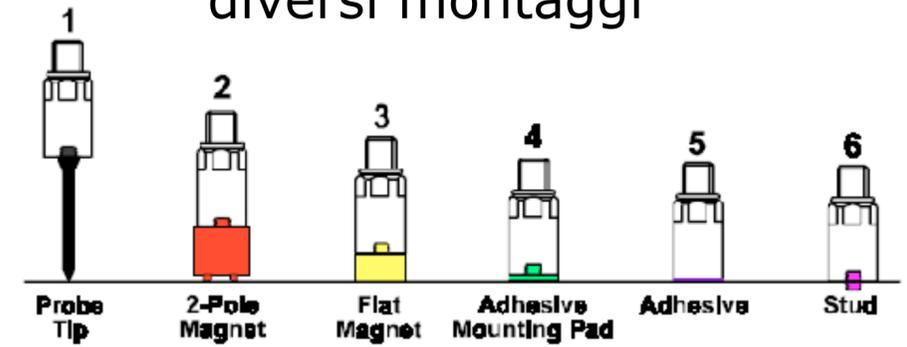
*cercare le caratteristiche a bassa frequenza nel datasheet precedentemente condiviso

I sensori devono essere opportunamente posizionati sulla macchina (per misurare cose interessanti e non problemi locali, per avere misure ripetibili quando si fanno misura ripetute durante la vita utile della macchina) e fissati per ottenere il massimo dal sensore / sistema di misura!



le norme aiutano a definire le direzioni e la designazione dei punti di misura sulle macchine

diversi montaggi

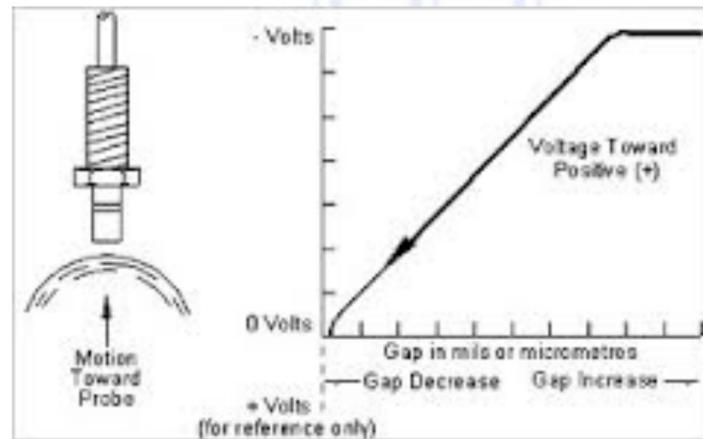


protezione umidità / elettrotribologia

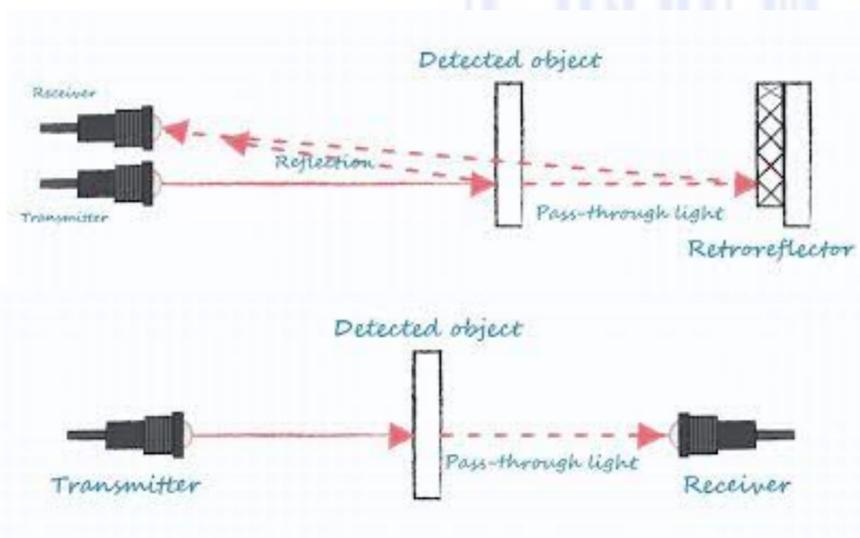
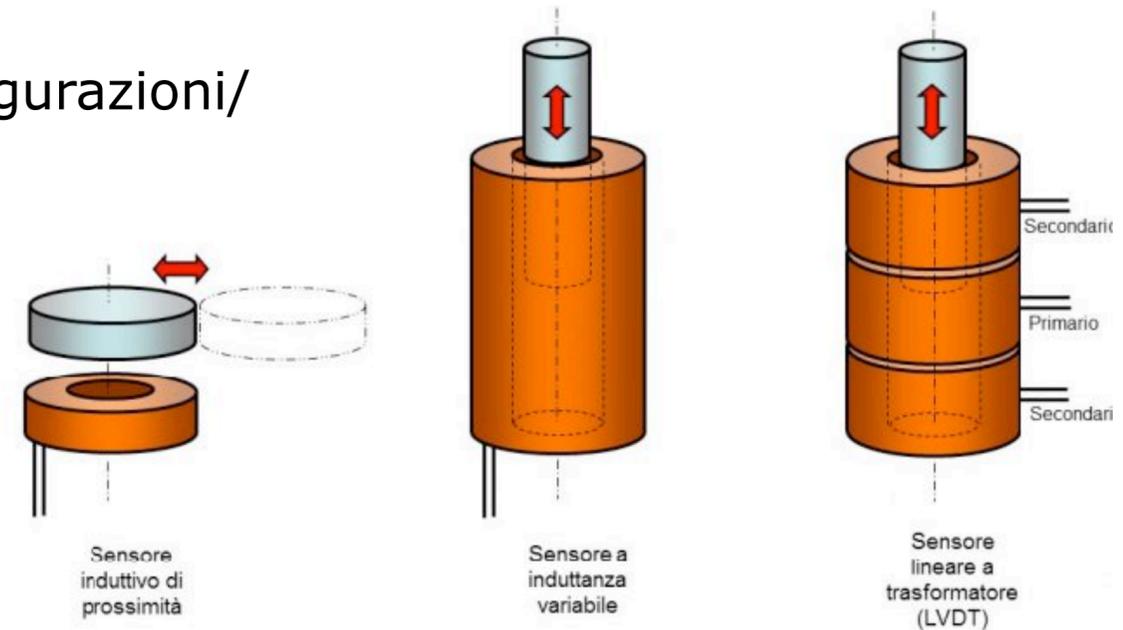
Per la misura di spostamenti (lineari/angolari) si utilizzano solitamente sonde di prossimità

Ve ne sono di diversi tipo, induttivi (variazione di riluttanza), magnetici (effetto Hall), capacitivi (variazione di capacità), ottici (variazione di luminosità)..

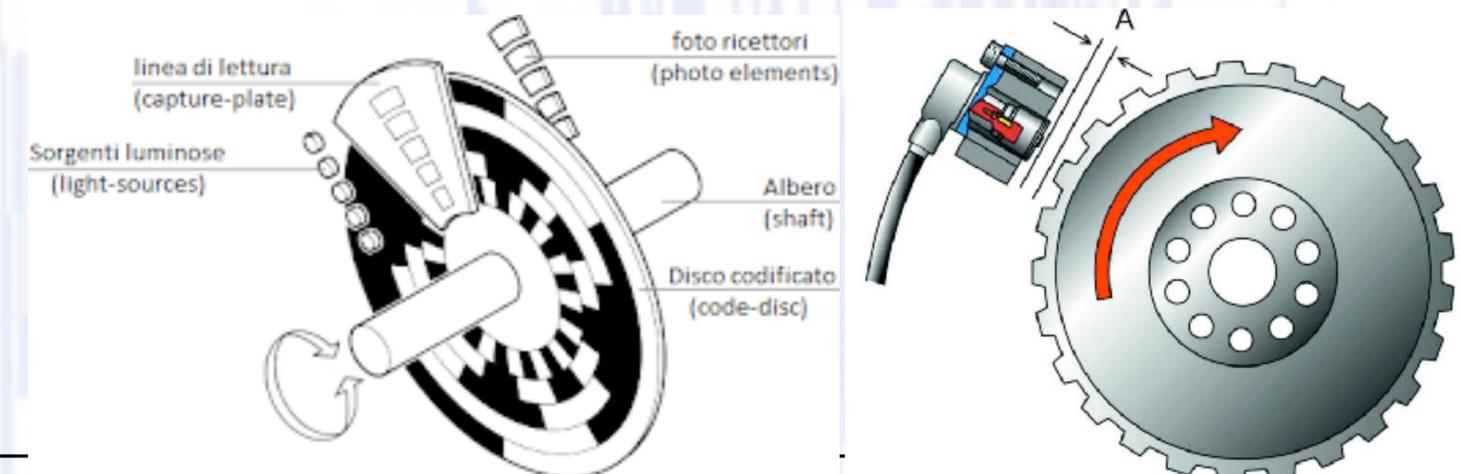
segnale proporzionale distanza



diverse configurazioni/
costruzioni



riflessione /
trasmissione



Luigi BREGANT
bregant@units.it

Anche per questi sensori i parametri di scelta sono molteplici e l'importanza dell'accurato montaggio altrettanto elevata!

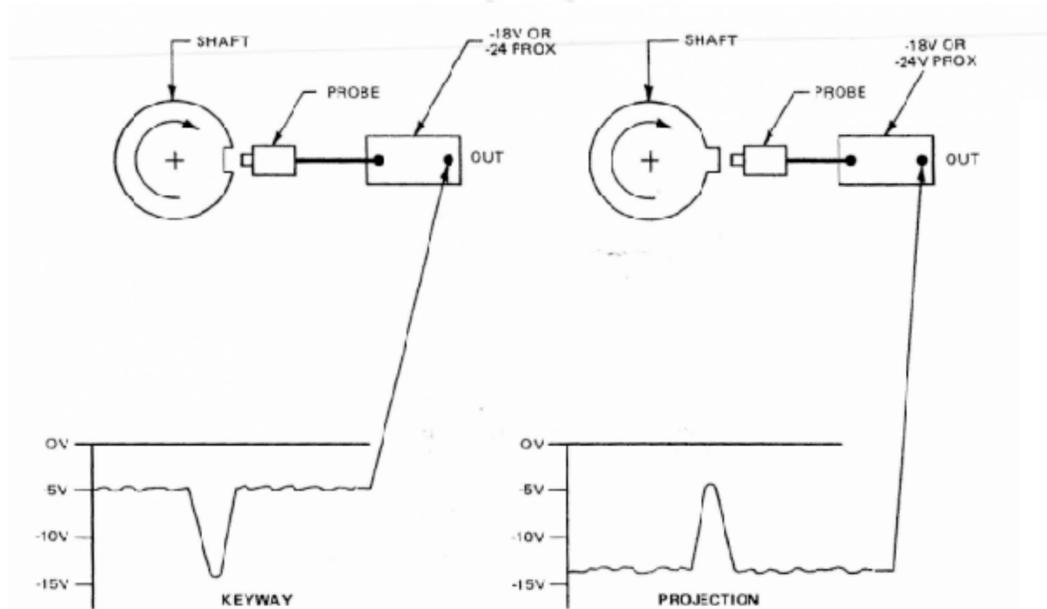
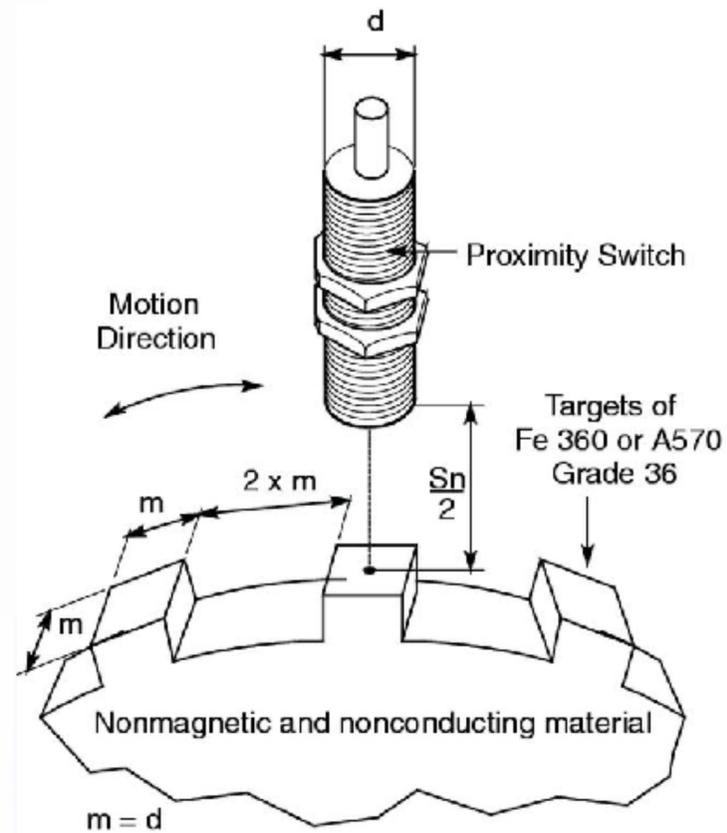
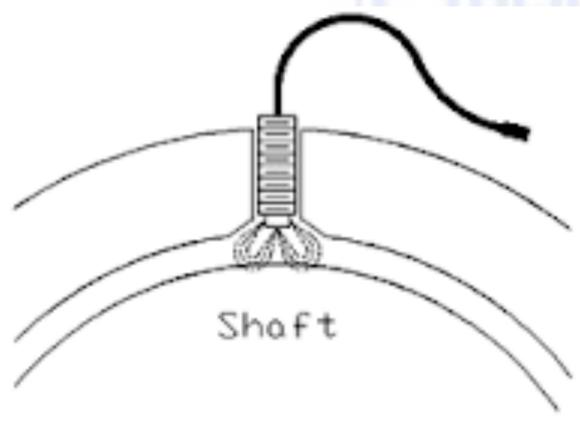
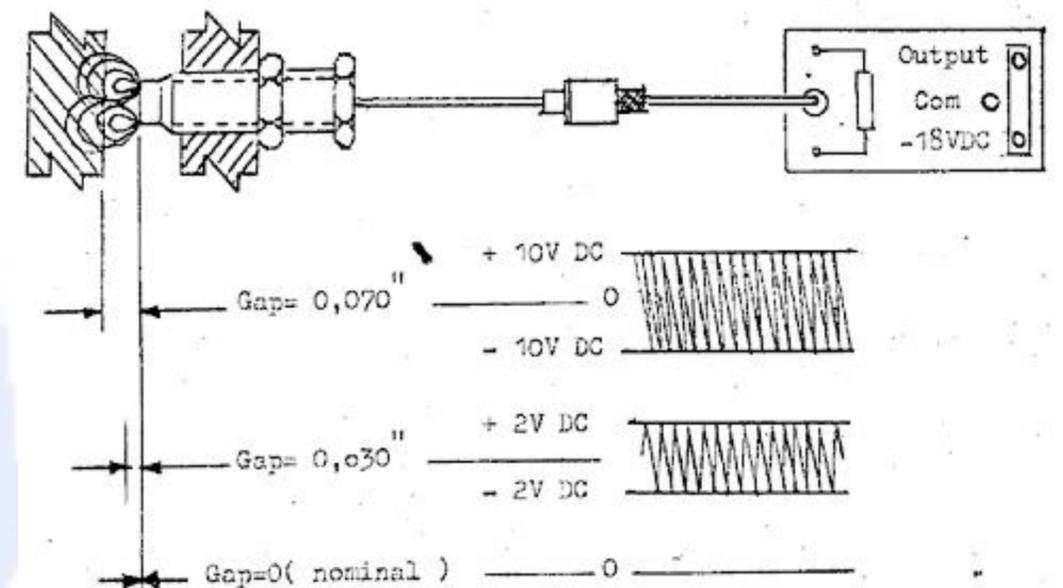
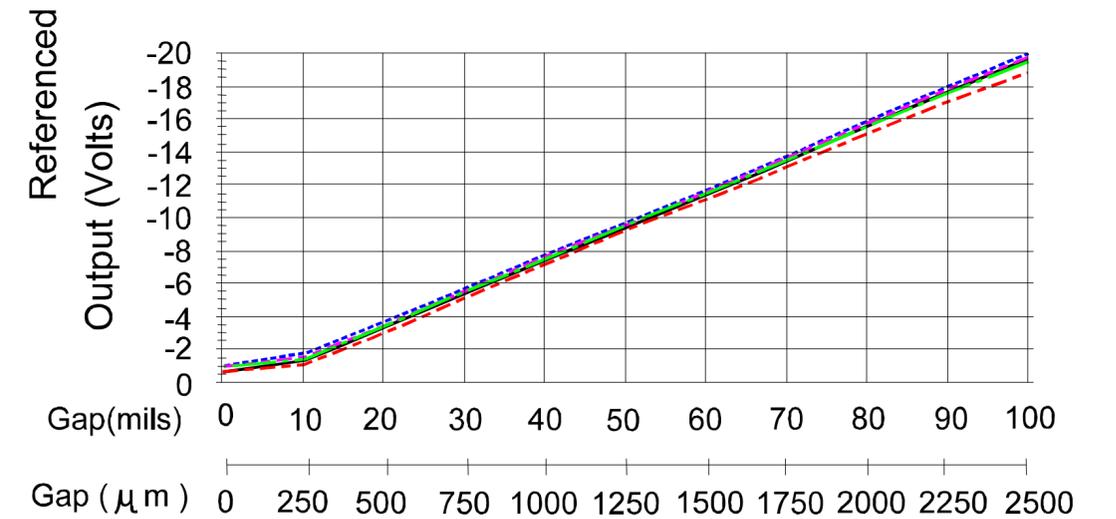


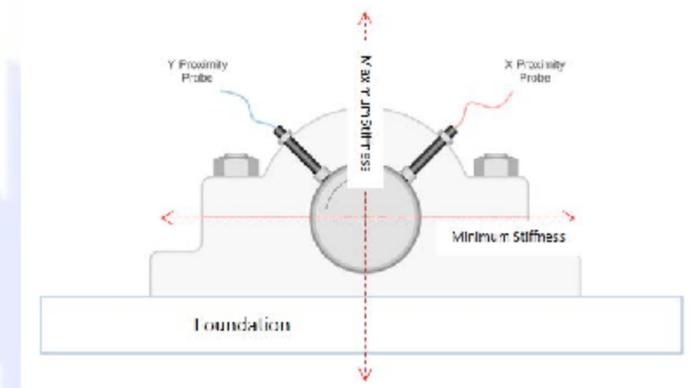
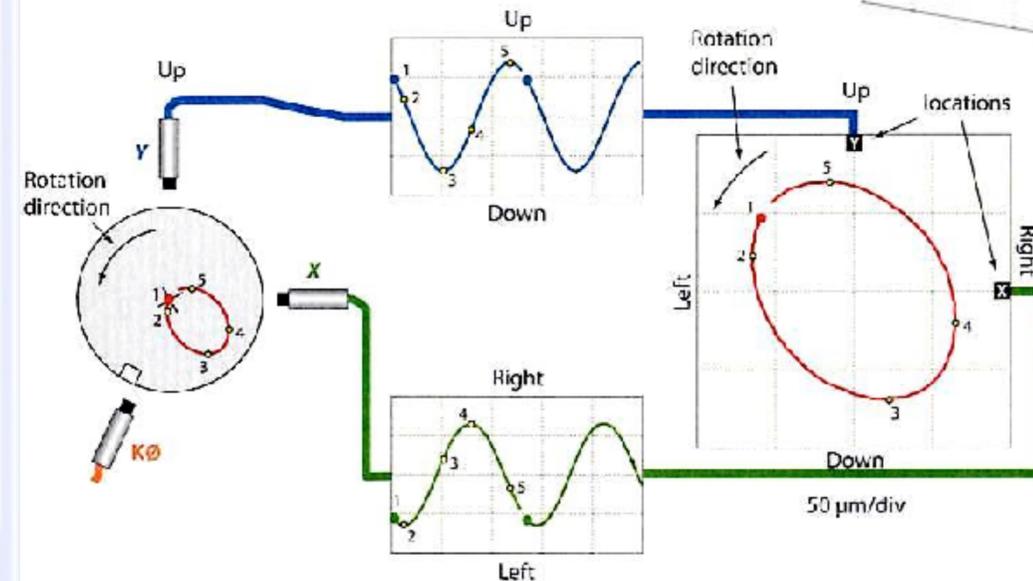
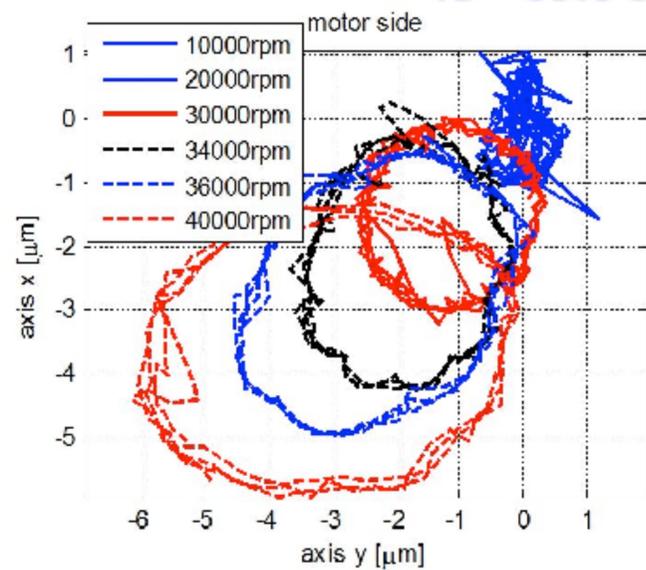
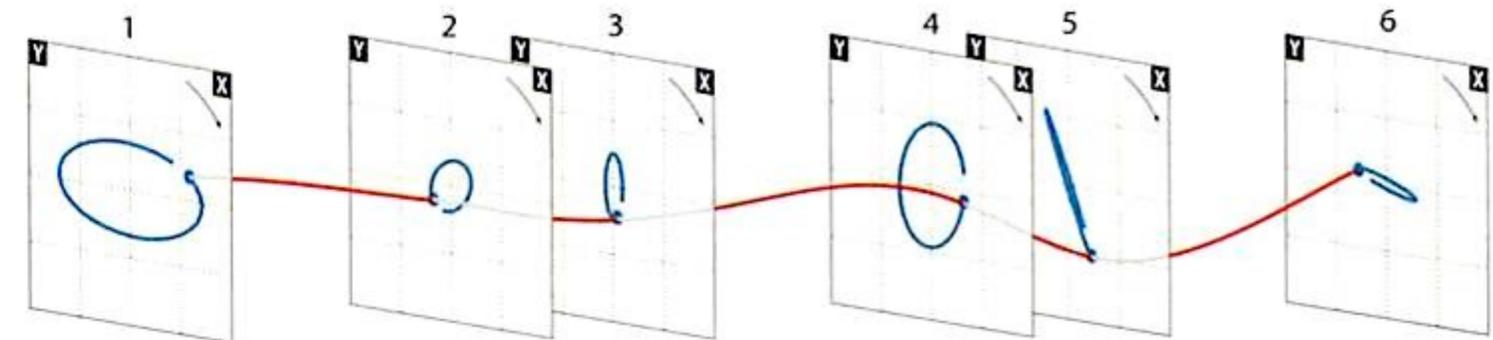
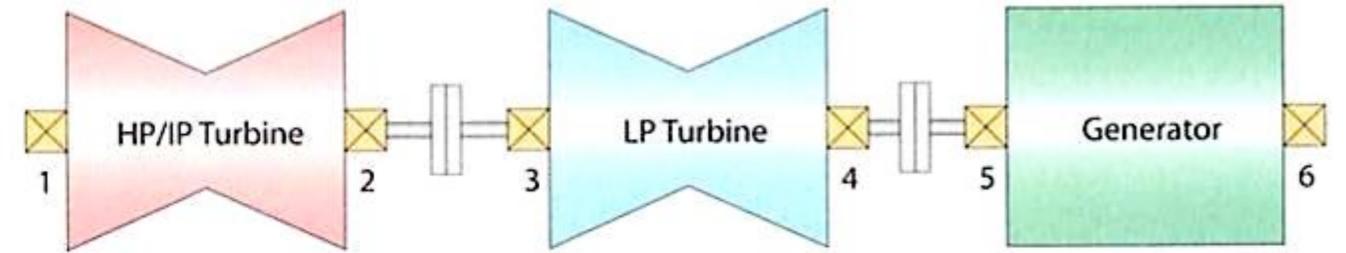
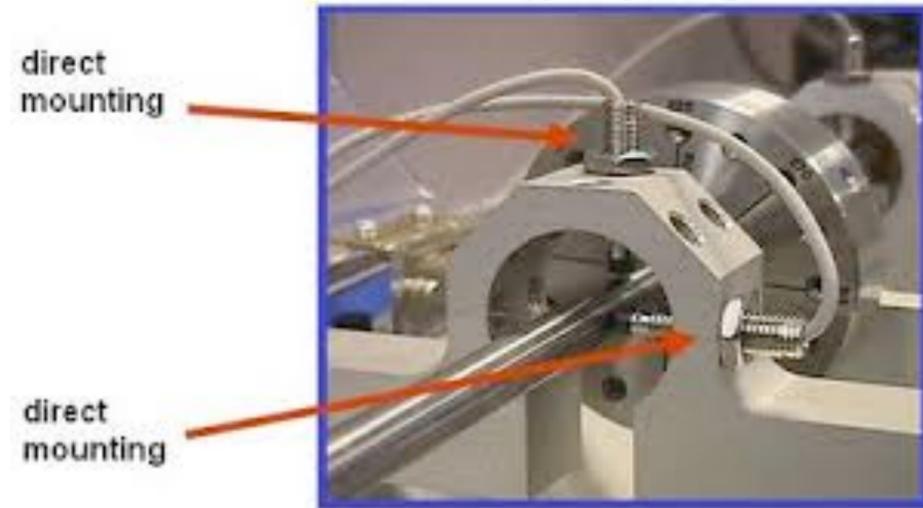
FIGURE 1. Keyphasor typical output



distanze tra le parti
tensione di alimentazione
risoluzione



Le applicazioni più tipiche di questi sensori sono la misura della posizione degli alberi all'interno di cuscinetti a strisciamento (per evitare il rubbing) e per conoscere la deformazione dell'asse (es. turbine a gas)



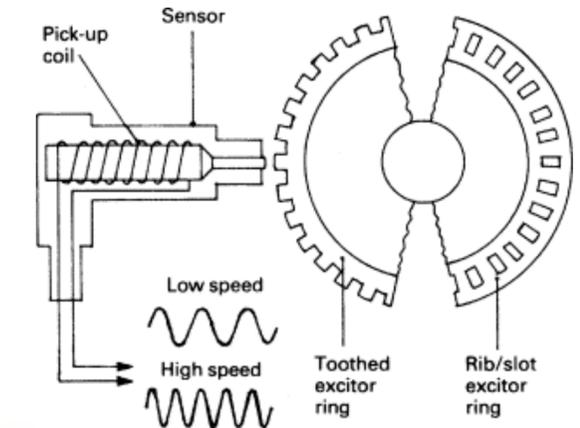
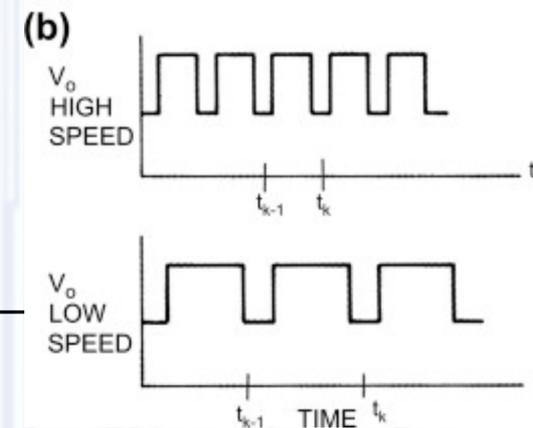
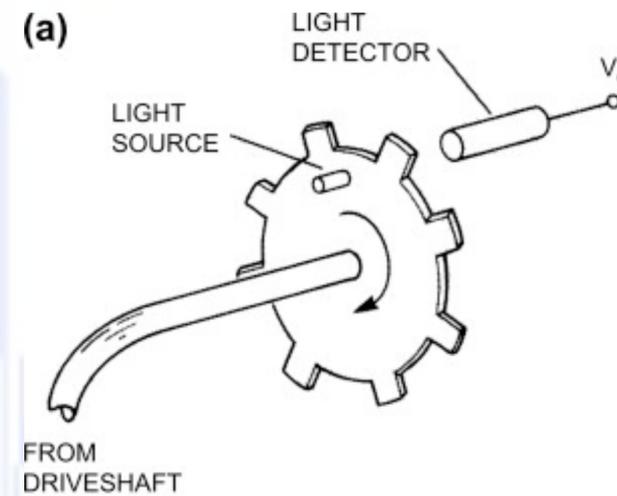
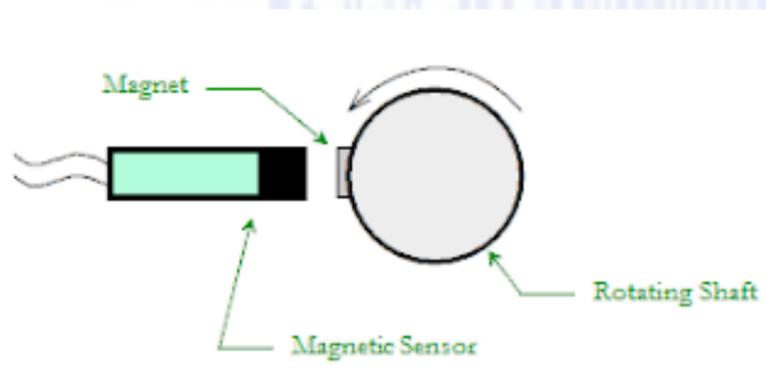
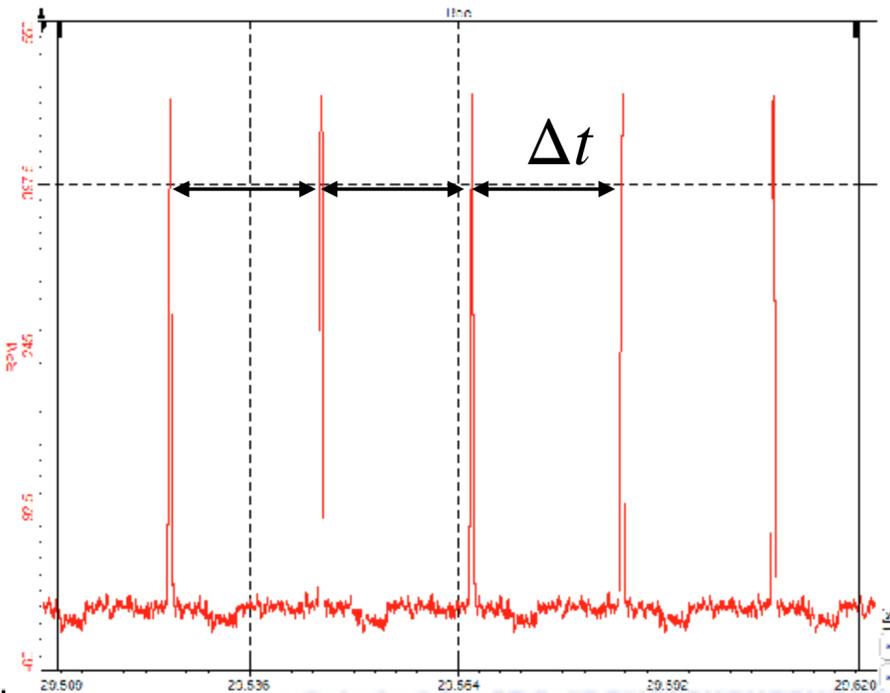
..oppure per conoscere la velocità angolare di un albero.
 Il sensore permette di misurare il tempo di volo tra due impulsi..che definiscono un intervallo angolare
 (NB la velocità derivata sarà comunque la media tra i due impulsi consecutivi)

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

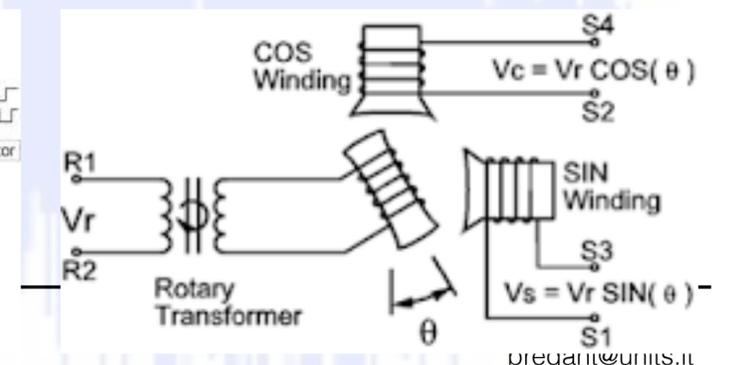
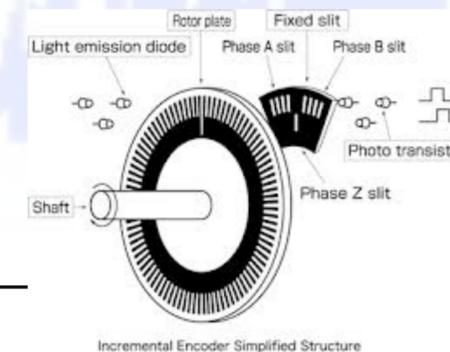
ad esempio con 1 impulso/giro

$$\omega = \frac{360^\circ}{\Delta t}$$

con più impulsi/giro la risoluzione angolare aumenta e così la stima puntuale della velocità!
 e la necessità di un alta frequenza di campionamento

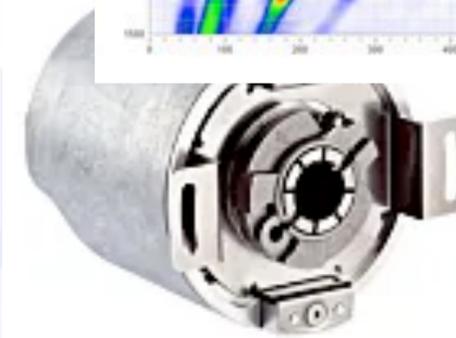
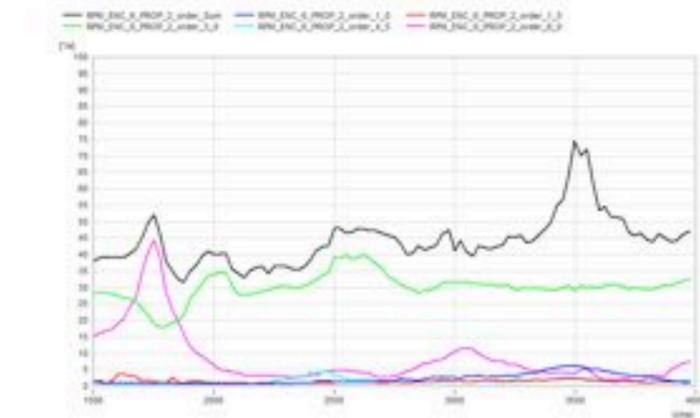
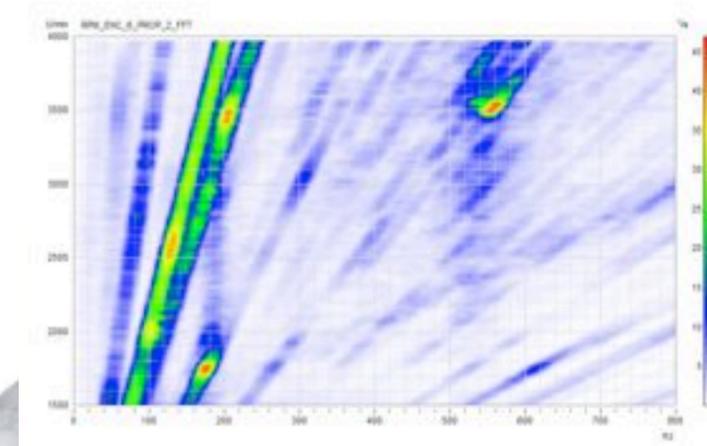
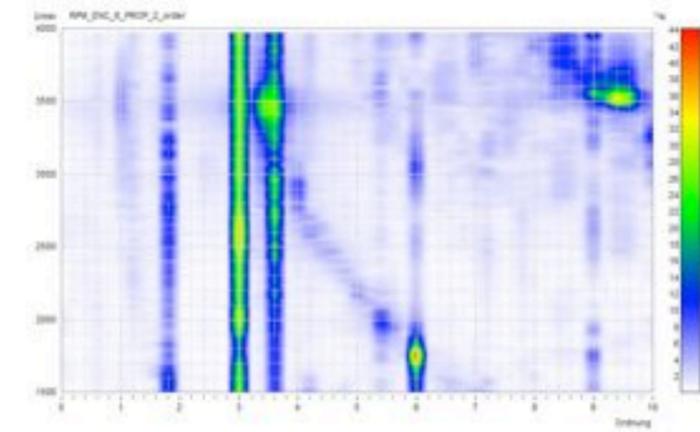
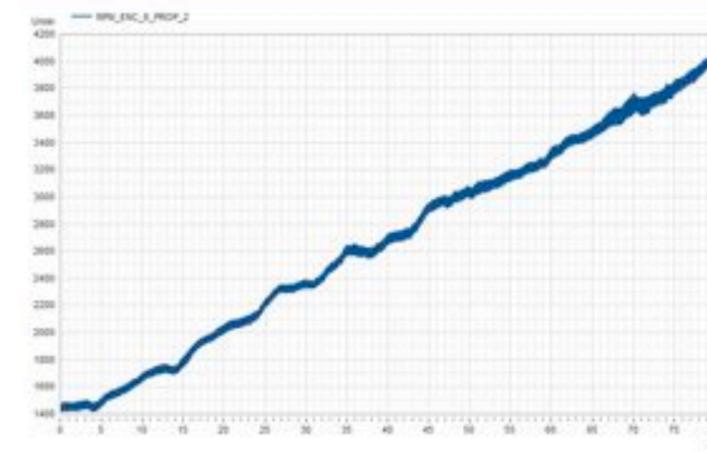
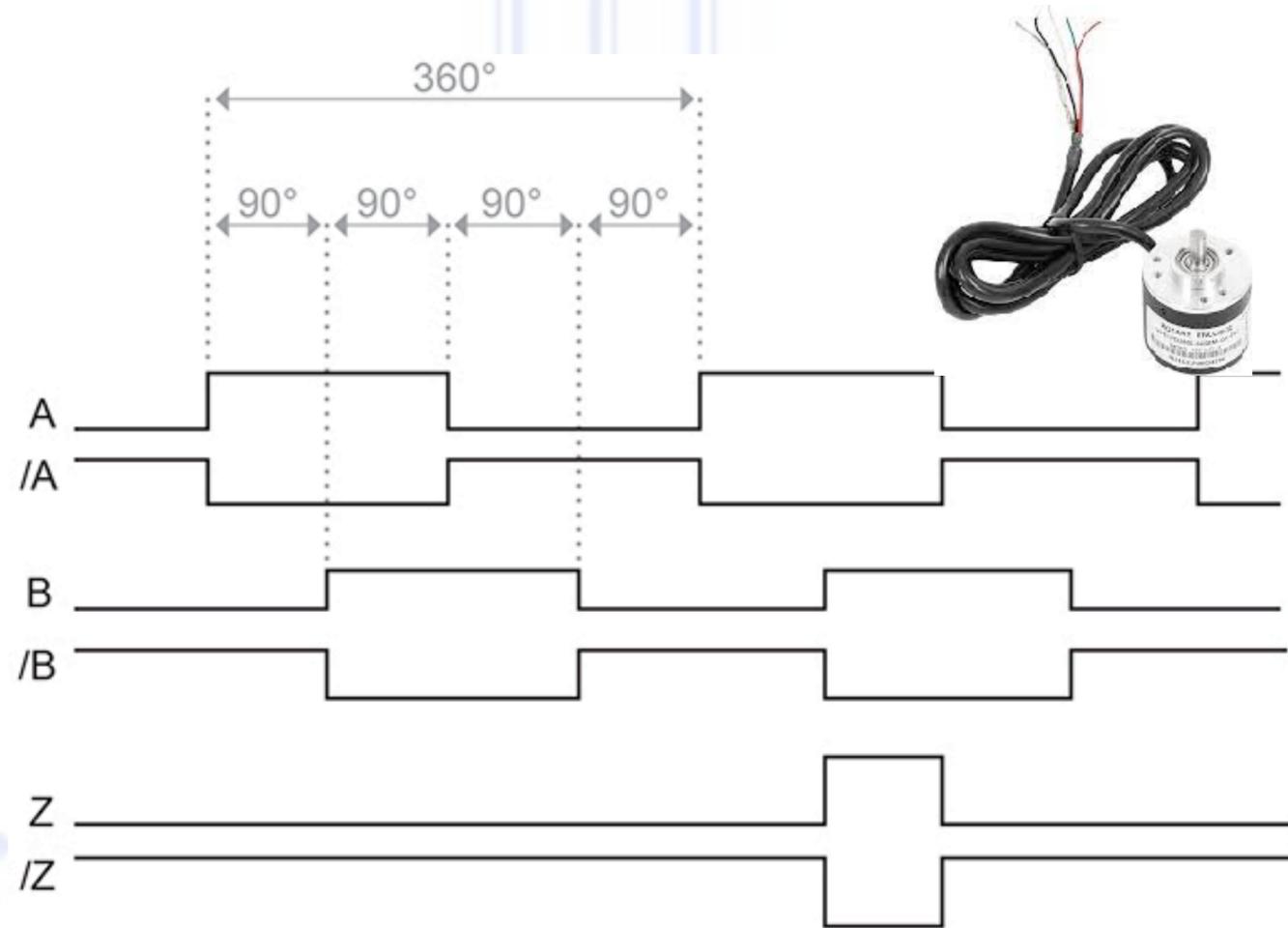


encoder e resolver sono gli strumenti più comuni per la rilevazione della posizione angolare



Da un encoder si estraggono diversi segnali (ecco perché tanti cavi!)...
 a parte l'alimentazione ci sono
 i segnali A, /A, B, /B, Z, /Z che consentono di conoscere precisamente:

la posizione dell'albero rispetto ad un riferimento
 la direzione di rotazione



262.144 impulsi/giro!

Order Tracking!

Ratings and Specifications

Item	Model	E6C3-CWZ5GH	E6C3-CWZ3EH	E6C3-CWZ3XH
Power supply voltage		12 VDC -10% to 24 VDC +15%, ripple (p-p): 5% max.	5 VDC -5% to 12 VDC +10%, ripple (p-p): 5% max.	
Current consumption*1		100 mA max.		
Resolution (pulses/rotation)		100, 200, 300, 360, 500, 600, 720, 800, 1,000, 1,024, 1,200, 1,500, 1,800, 2,000, 2,048, 2,500, 3,600		
Output phases		Phases A, B, and Z*5		Phases A, \bar{A} , B, \bar{B} , Z, and \bar{Z}
Output configuration		Complementary outputs*2	Voltage output (NPN output)	Line driver output*3
Output capacity		Output voltage: $V_H = V_{CC} - 3 \text{ V min.}$ ($I_O = 30 \text{ mA}$) $V_L = 2 \text{ V max.}$ ($I_O = -30 \text{ mA}$) Output current: $\pm 30 \text{ mA}$	Output resistance: $2 \text{ k}\Omega$ Output current: 35 mA max. Residual voltage: 0.7 V max.	AM26LS31 equivalent Output current: High level: $I_O = -10 \text{ mA}$ Low level: $I_S = 10 \text{ mA}$ Output voltage: $V_O = 2.5 \text{ V min.}$ $V_S = 0.5 \text{ V max.}$
Maximum response frequency*4		125 kHz (65 kHz when using phase Z reset)		
Phase difference between outputs		$90^\circ \pm 45^\circ$ between A and B ($1/4 T \pm 1/8 T$)		
Rise and fall times of output		1 $\mu\text{s max.}$ (Cable length: 2 m, Output current: 30 mA)	1 $\mu\text{s max.}$ (Cable length: 2 m, Output current: 35 mA)	1 $\mu\text{s max.}$ (Cable length: 2 m, $I_O = -10 \text{ mA}$, $I_S = 10 \text{ mA}$)
Starting torque		10 mN·m max. at room temperature, 30 mN·m max. at low temperature		
Moment of Inertia		$2.0 \times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \text{ max.}$; $1.9 \times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \text{ max.}$ at 500 P/R max.		
Shaft loading	Radial	80 N		
	Thrust	50 N		
Maximum permissible speed		5,000 r/min		
Protection circuits		Power supply reverse polarity protection, Output load short-circuit protection		---
Ambient temperature range		Operating: -10 to 70°C (with no icing), Storage: -25 to 85°C (with no icing)		
Ambient humidity range		Operating/Storage: 35% to 85% (with no condensation)		
Insulation resistance		$20 \text{ M}\Omega \text{ min.}$ (at 500 VDC) between current-carrying parts and case		
Dielectric strength		500 VAC, 50/60 Hz for 1 min between current-carrying parts and case		
Vibration resistance		Destruction: 10 to 500 Hz, 150 m/s^2 or 2-mm double amplitude for 11 min 3 times each in X, Y, and Z directions		
Shock resistance		Destruction: $1,000 \text{ m/s}^2$ 3 times each in X, Y, and Z directions		
Degree of protection		IEC 60529 IP65, in-house standards: oilproof		
Connection method		Pre-wired Models (Standard cable length: 1 m)		
Material		Case: Aluminum, Main unit: Aluminum, Shaft: SUS303		
Weight (packed state)		Approx. 300 g		
Accessories		Instruction manual Note: Coupling, mounting bracket and hex-head spanner are sold separately.		

Ordering Information

Encoders [Refer to Dimensions on page 4.]

Power supply voltage	Output configuration	Resolution (pulses/rotation)	Connection method	Model
12 to 24 VDC	Complementary output	100, 200,	Pre-wired (1 m) (See note.)	E6C3-CWZ5GH (resolution) 1M Example: E6C3-CWZ5GH 100P/R 1M
		300, 360, 500		
		600, 720, 800		
		1,000, 1,024, 1,200		
		1,500, 1,800, 2,000		
5 to 12 VDC	Voltage output	2,048, 2,500, 3,600		E6C3-CWZ3EH (resolution) 1M Example: E6C3-CWZ3EH 100P/R 1M
		100, 200		
		300, 360, 500		
		600, 720, 800		
		1,000, 1,024, 1,200		
5 to 12 VDC	Line-driver output	1,500, 1,800, 2,000	E6C3-CWZ3XH (resolution) 1M Example: E6C3-CWZ3XH 100P/R 1M	
		2,048, 2,500, 3,600		
		100, 200,		
		300, 360, 500		
		600, 720, 800		

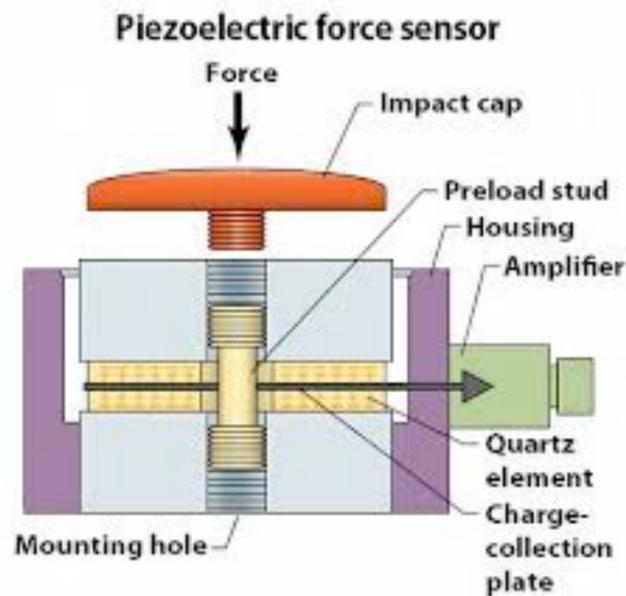
Note: Models with 2-m cable are also available. When ordering, specify the cable length at the end of the model number (example: E6C3-CWZ5GH 300P/R 2M).

Accessories (Order Separately) [Refer to Dimensions on Rotary Encoder Accessories.]

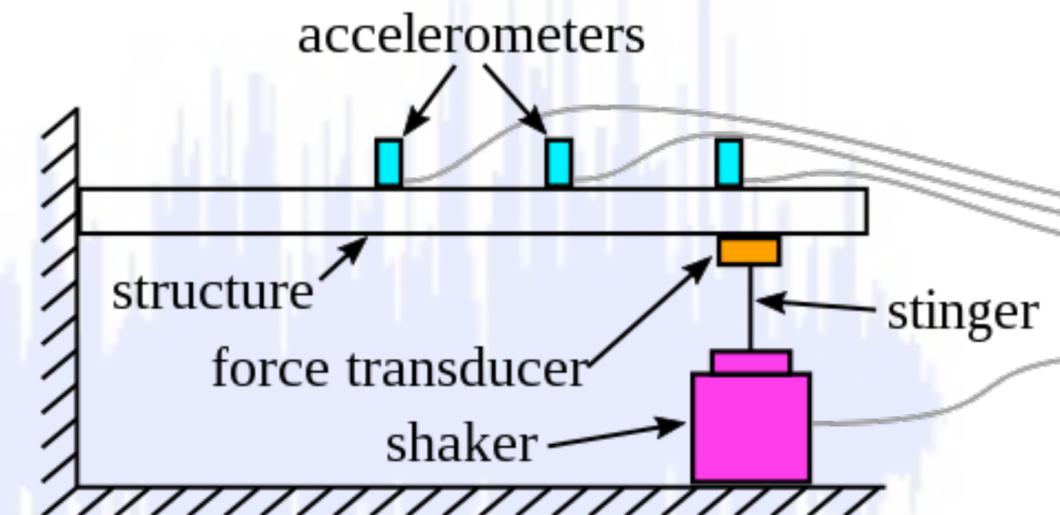
Name	Model	Remarks
Couplings	E69-C08B	---
	E69-C68B	Different end diameter (6 to 8 mm)
Flanges	E69-FCA03	---
	E69-FCA04	E69-2 Servo Mounting Bracket provided.
Servo Mounting Bracket	E69-2	Provided with E69-FCA04 Flange.

Refer to Accessories for details.

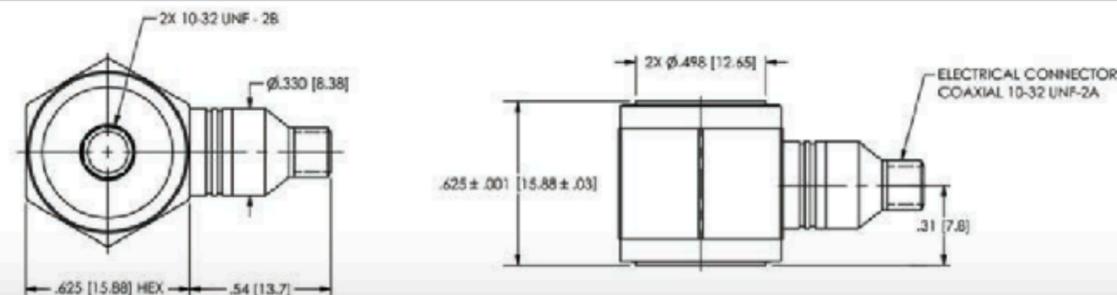
Per misurare le eccitazioni applicate alle strutture durante la misura delle funzioni di risposta in frequenza si usano celle di carico (dinamiche > impulso/shaker danno contenuti frequenziali importanti)

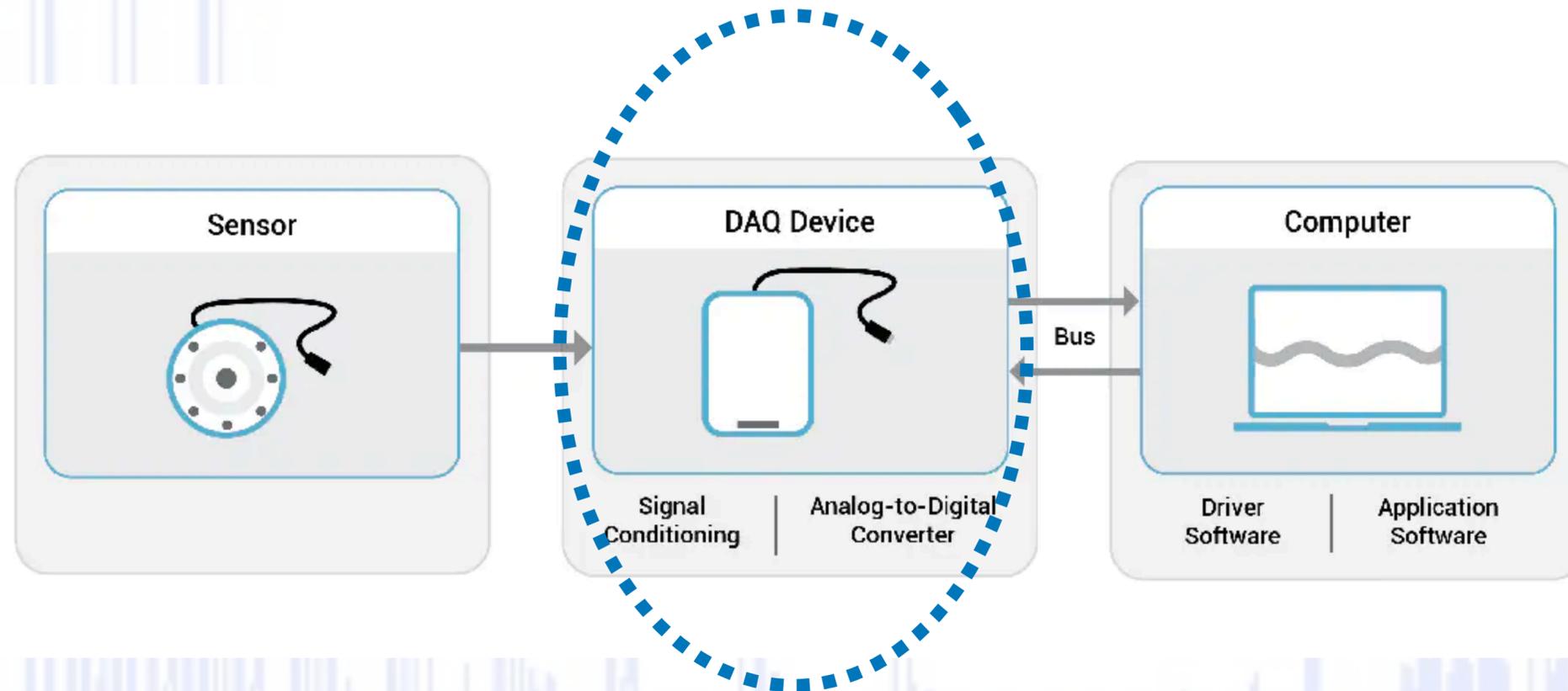


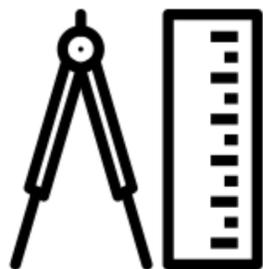
Hanno la struttura analoga ad un accelerometro piezoelettrico



SPECIFICATIONS										
Model Number	208C01		208C02		208C03		208C04		208C05	
	English	SI	English	SI	English	SI	English	SI	English	SI
Performance										
Sensitivity (±15%)	500 mV/lb	112410 mV/kN	50 mV/lb	11241 mV/kN	10 mV/lb	2248 mV/kN	5 mV/lb	1124 mV/kN	1 mV/lb	224.82 mV/kN
Measurement Range (Compression)	10 lb	0.0445 kN	100 lb	0.445 kN	500 lb	2.224 kN	1000 lb	4.448 kN	5000 lb	22.24 kN
Measurement Range (Tension)	10 lb	0.0445 kN	100 lb	0.445 kN	500 lb	2.224 kN	500 lb	2.224 kN	500 lb	2.224 kN
Maximum Static Force (Compression)	60 lb	0.27 kN	600 lb	2.669 kN	3000 lb	13.50 kN	6000 lb	26.69 kN	8000 lb	35.59 kN
Maximum Static Force (Tension)	60 lb	0.27 kN	500 lb	2.669 kN	500 lb	2.224 kN	500 lb	2.224 kN	500 lb	2.224 kN
Broadband Resolution (1 to 10000 Hz)	0.0001 lb-rms	0.0005 N-rms	0.001 lb-rms	0.004 N-rms	0.005 lb-rms	0.02 N-rms	0.01 lb-rms	0.0445 N-rms	0.05 lb-rms	0.222 N-rms
Upper Frequency Limit	36000 Hz									
Non-Linearity	≤ 1 % FS									
Environmental										
Temperature Range	-65 to +250 °F (-54 to +121 °C)									
Temperature Coefficient of Sensitivity	≤ 0.05 %/°F (≤ 0.09 %/°C)									
Electrical										
Discharge Time Constant	≥ 50 sec		≥ 500 sec		≥ 2000 sec					
Excitation Voltage	18 to 30 VDC		20 to 30 VDC							
Constant Current Excitation	2 to 20 mA									
Output Impedance	≤ 100 Ohm									
Output Bias Voltage	8 to 12 VDC		8 to 14 VDC							
Spectral Noise (1Hz)	0.0000126 lb/√Hz	0.000058 N/√Hz	0.000135 lb/√Hz	0.000603 N/√Hz	0.000211 lb/√Hz	0.000942 N/√Hz	0.000798 lb/√Hz	0.00356 N/√Hz	0.00168 lb/√Hz	0.00750 N/√Hz
Spectral Noise (10Hz)	0.00000424 lb/√Hz	0.0000189 N/√Hz	0.0000276 lb/√Hz	0.000123 N/√Hz	0.000109 lb/√Hz	0.000488 N/√Hz	0.000286 lb/√Hz	0.00128 N/√Hz	0.00112 lb/√Hz	0.00501 N/√Hz
Spectral Noise (100Hz)	0.00000149 lb/√Hz	0.0000067 N/√Hz	0.0000096 lb/√Hz	0.000043 N/√Hz	0.000039 lb/√Hz	0.000173 N/√Hz	0.000086 lb/√Hz	0.000384 N/√Hz	0.000459 lb/√Hz	0.00205 N/√Hz
Spectral Noise (1000Hz)	0.00000052 lb/√Hz	0.0000023 N/√Hz	0.0000021 lb/√Hz	0.0000095 N/√Hz	0.0000086 lb/√Hz	0.000039 N/√Hz	0.000028 lb/√Hz	0.000123 N/√Hz	0.000133 lb/√Hz	0.000592 N/√Hz
Output Polarity, Compression	Positive									
Physical										
Stiffness - typical	6 lb/μin (1.05 kN/μm)									
Weight	0.80 oz (22.7 gm)									
Housing / Connector / Mount	Hermetic stainless steel housing, side mounted 10-32 coaxial jack, 10-32 internal mounting thread									
Supplied Accessories										
084A03 Impact Cap, Qty 1 080A81 Thread Locker, Qty 1 081B05 Mounting Stud, BeCu (10-32 to 10-32), Qty 2 M081A62 Mounting stud, BeCu (10-32 to M6 x 1), Qty 2 Calibration per FCS-46, Full Scale Range in 20% intervals, compression only - certificate provided.										







Concetti che potete riprendere dal corso di Misure Meccaniche e Collaudi

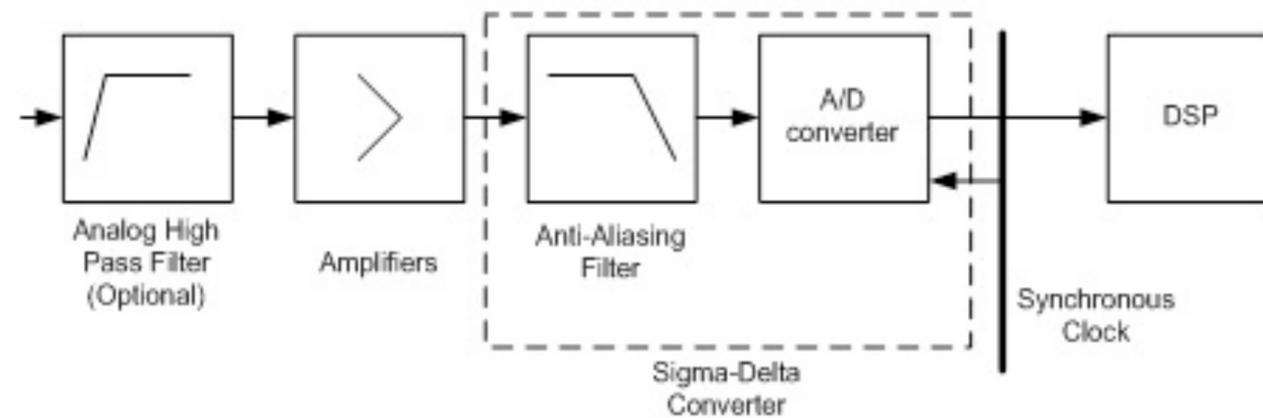
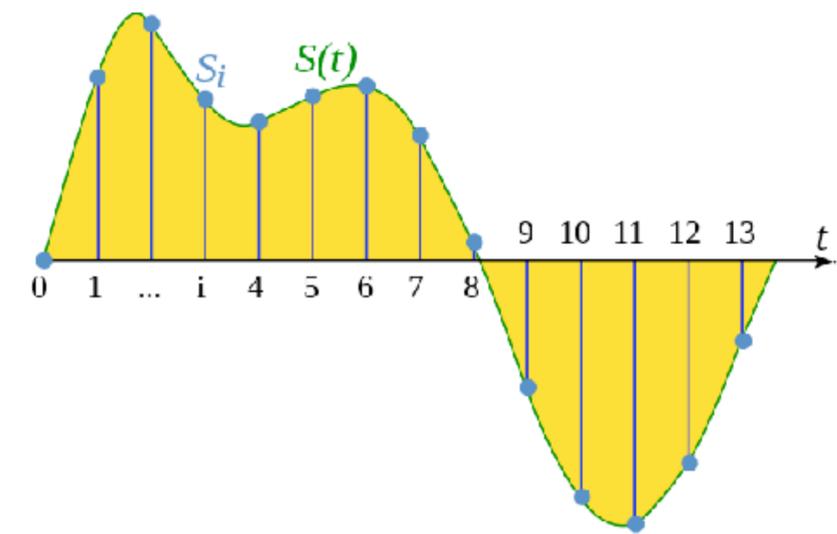
Conversione analogico-digitale

Campionamento, quantizzazione e codifica.

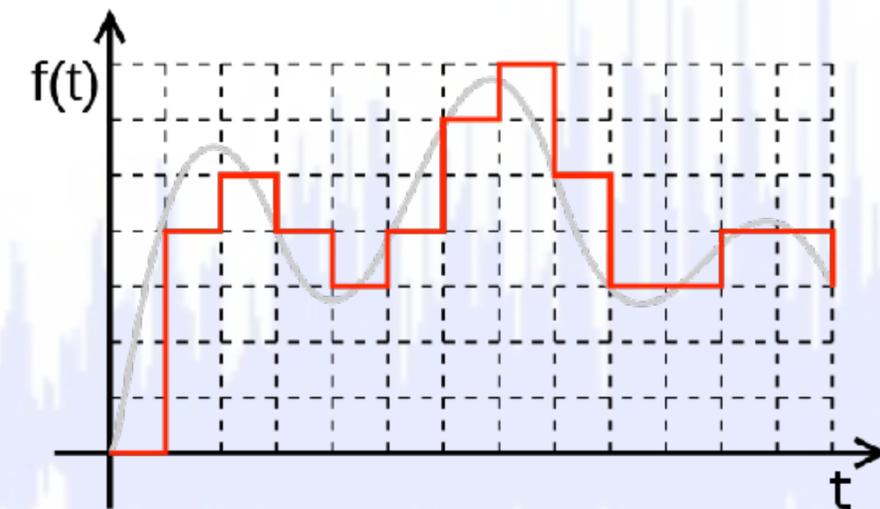
Configurazioni di conversione per acquisizioni multicanale in sequenza e simultanee.

Dai trasduttori esce un segnale analogico continuo nel **Tempo** e nell'**Ampiezza**
 bisogna convertirlo in un segnale digitale discreto nel dominio del tempo e quantizzato nel dominio dell'ampiezza!

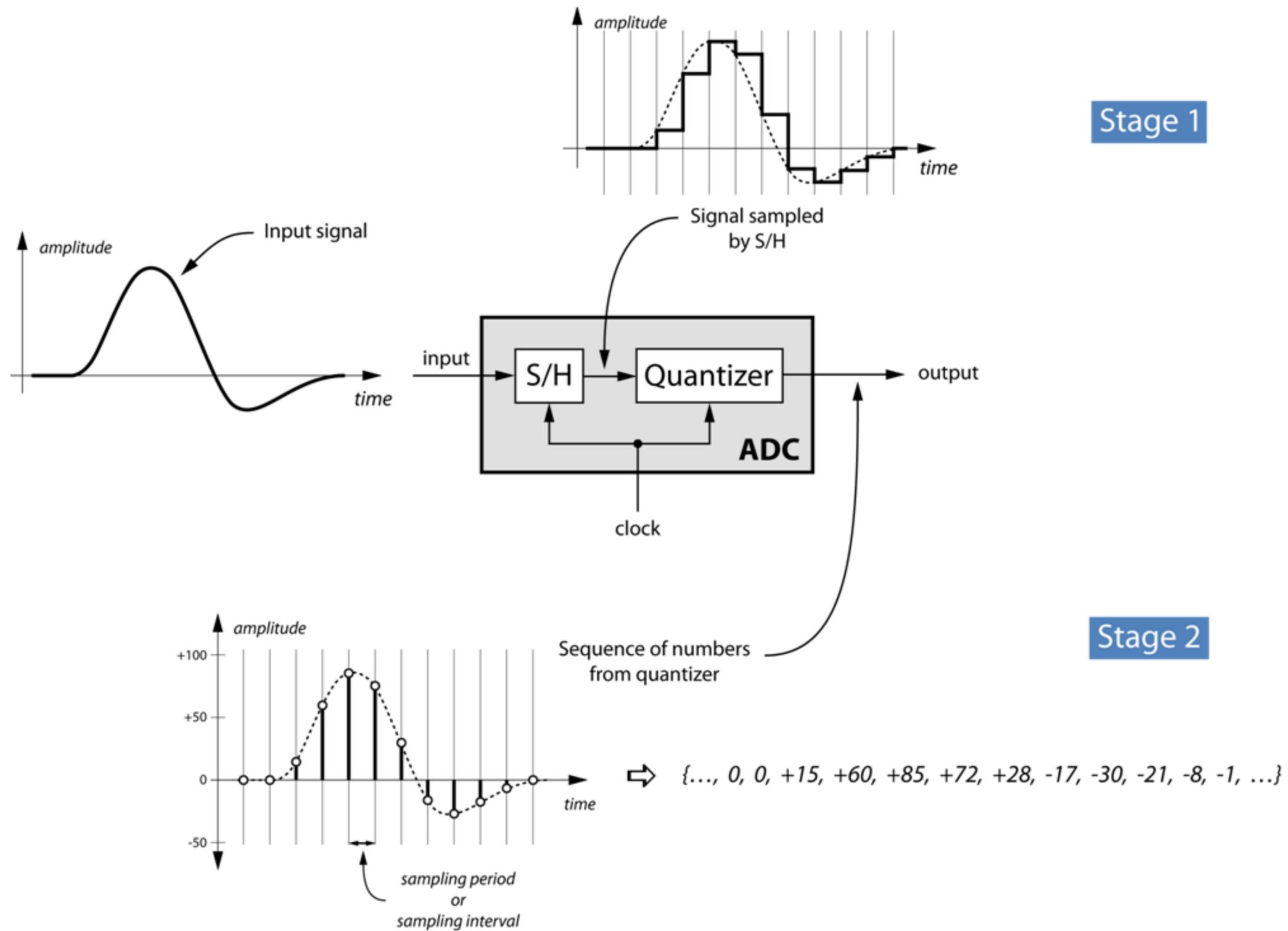
Discreto nel t -> valutazione del segnale ad intervalli finiti, campionamento (processo reversibile)



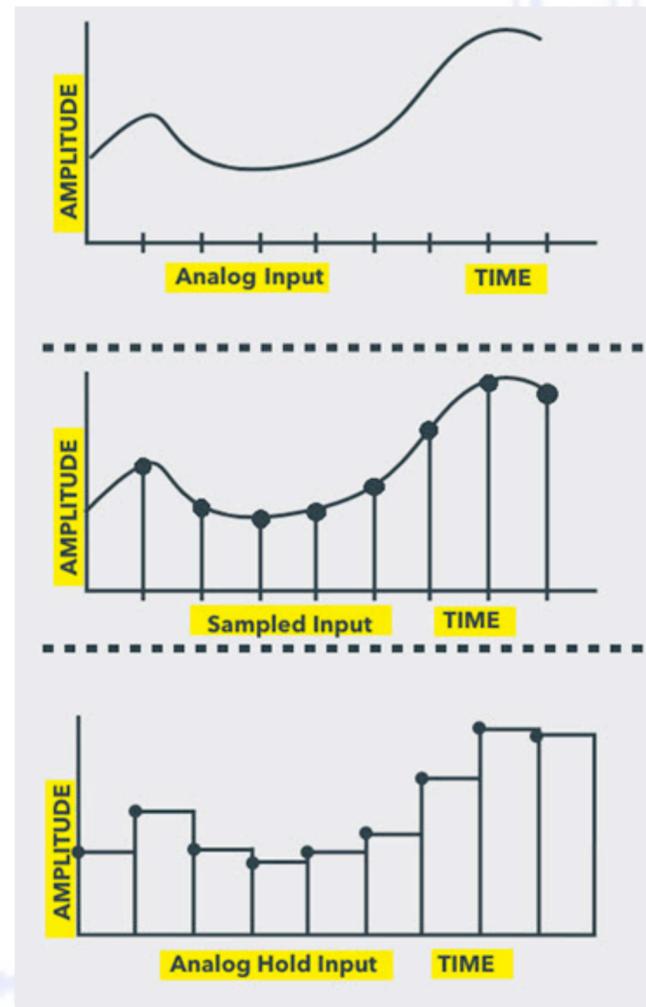
Quantizzato in A -> mappatura su un numero finito di valori (processo irreversibile! sempre una distorsione)



questi due processi avvengono nei convertitori Analogico Digitale cuore dei sistemi DAQ

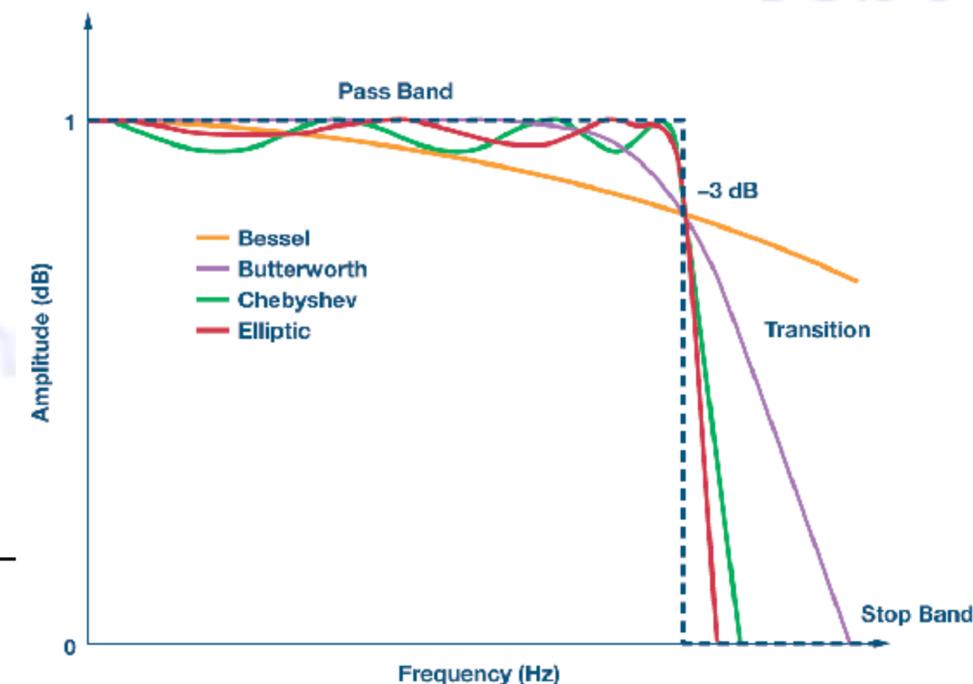


Il campionamento del segnale viene fatto solitamente con un circuito del tipo sample&hold, che fornisce all'uscita una serie di valori costanti, che nel passaggio successivo vengono discretizzati



Il campionamento del segnale deve esser fatto ricordando che definita una frequenza di acquisizione f_s , (la frequenza di sampling) le componenti del segnale al di sopra di $f_s/2$ non verranno acquisite correttamente * per l'insorgere dell'aliasing**

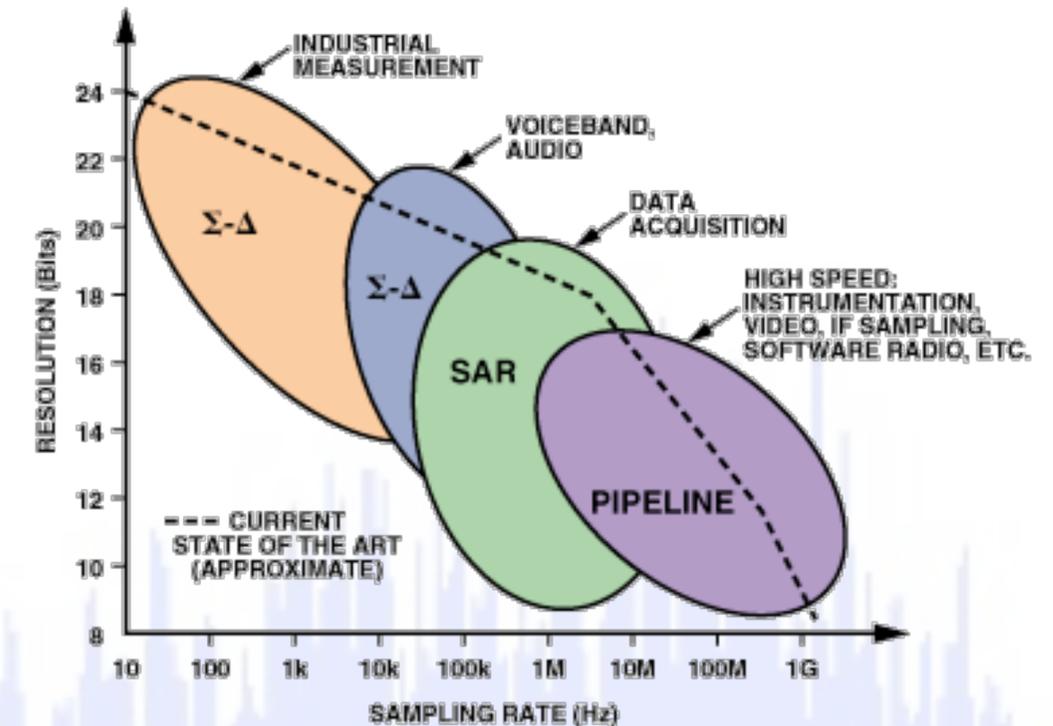
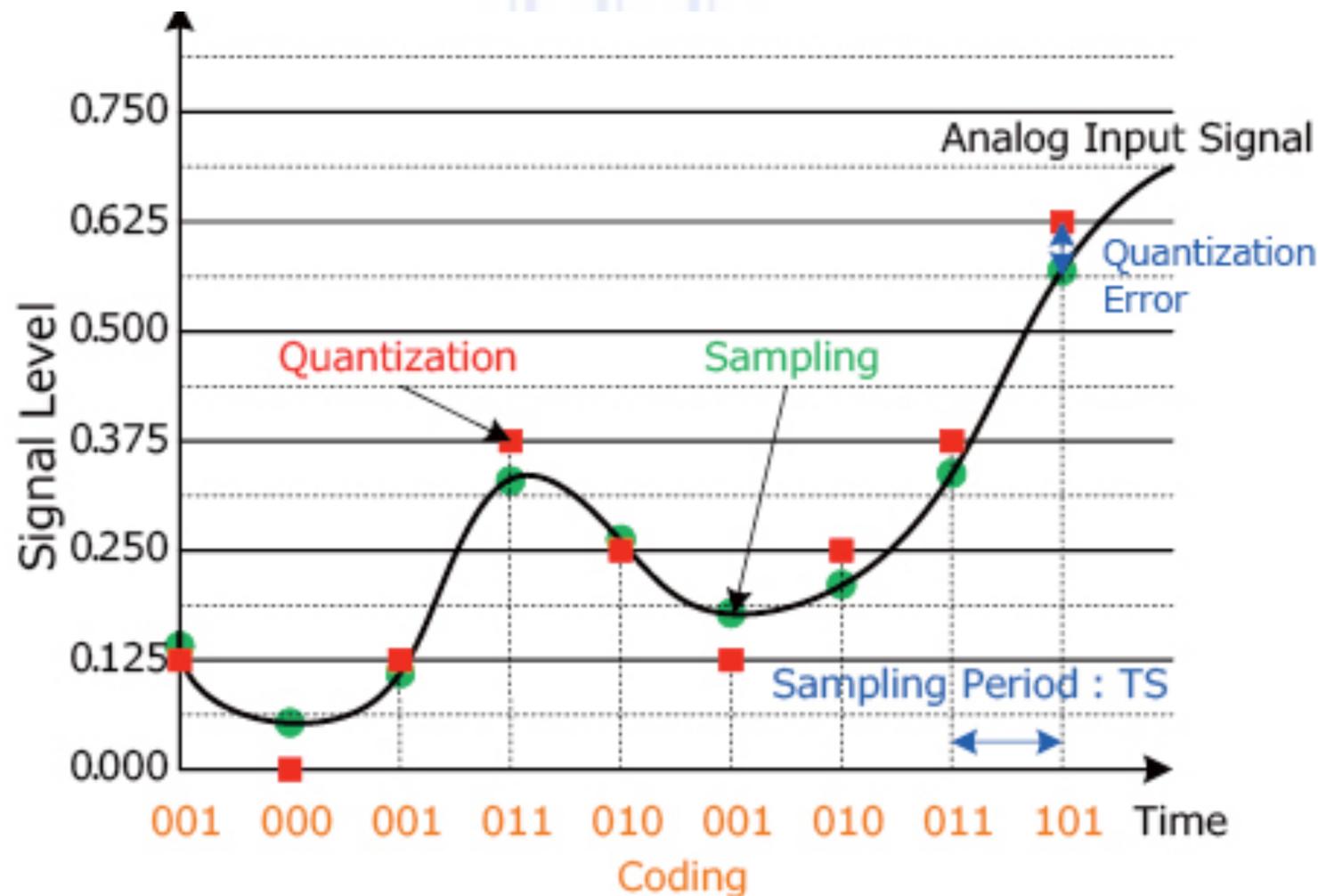
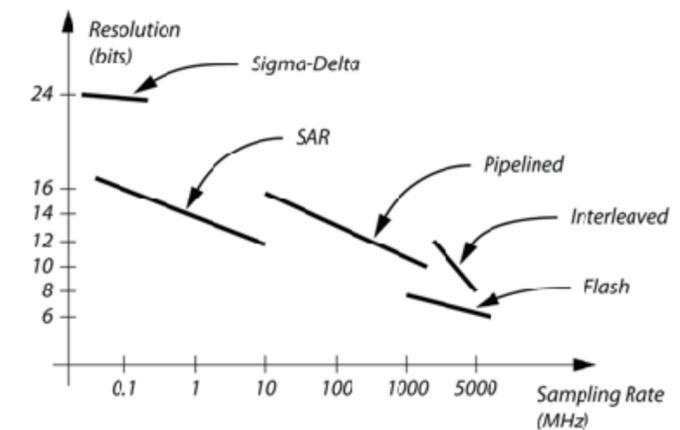
Per questa ragione nei DAQ ci sono dei filtri passa basso legati alla frequenza di campionamento scelta, questi eliminano tutte le componenti in frequenza indesiderate



*teorema di Nyquist o teorema di Shannon
 ** torneremo a breve

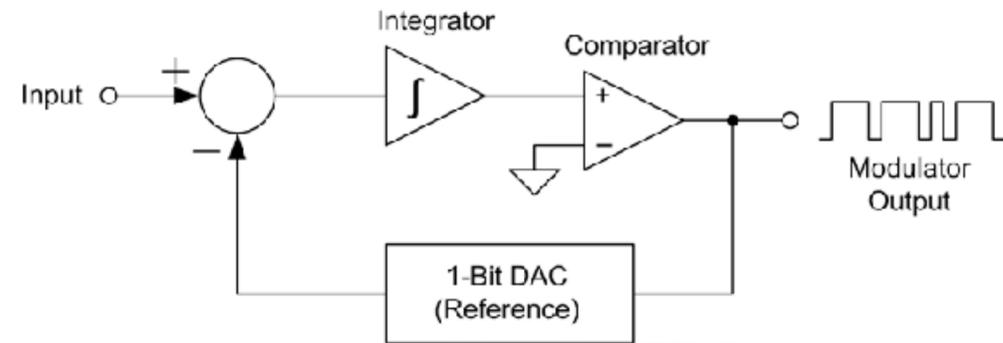
La quantizzazione dipende principalmente dal numero di bit utilizzati dal convertitore. Maggiore è il numero dei bit migliore è la rappresentazione del segnale campionato.

I "costi" della quantizzazione dipendono dalla velocità di conversione (e indirettamente dalla massima frequenza di acquisizione) e numero di bit*

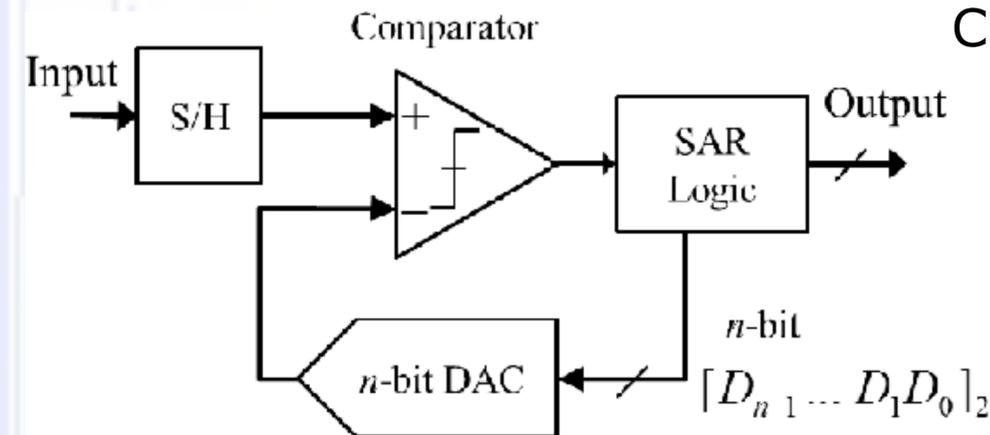


* oggi un DAQ ha facilmente convertitori a 24bit
equivalente a $2^{24} = 16.777.216$ livelli
l'intervallo 0-10V viene diviso in step di $5,96e-7$ V

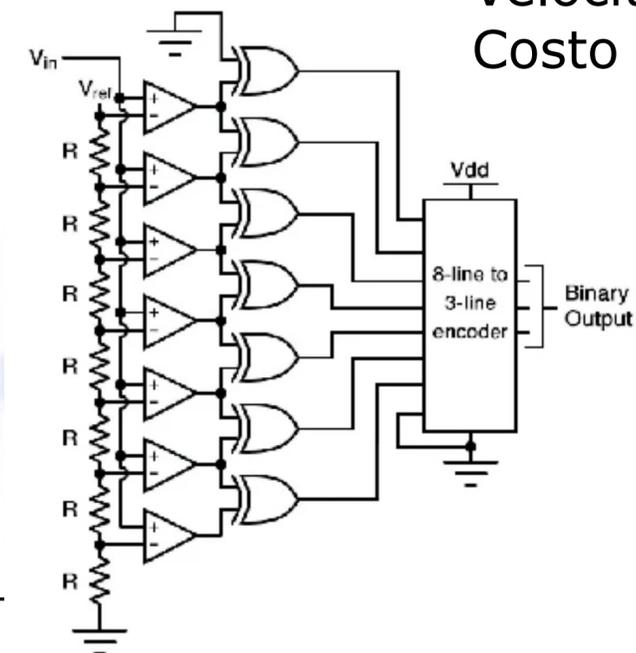
Sigma-Delta
 Accuratezza 18-20 bits
 Velocità 1-5ms
 Economico



SAR - Successive Approximation
 Accuratezza definibile
 Velocità 1-10µs
 Costo funzione accuratezza



Flash
 Accuratezza definibile
 Velocità 1ns-1µs
 Costo funzione accuratezza



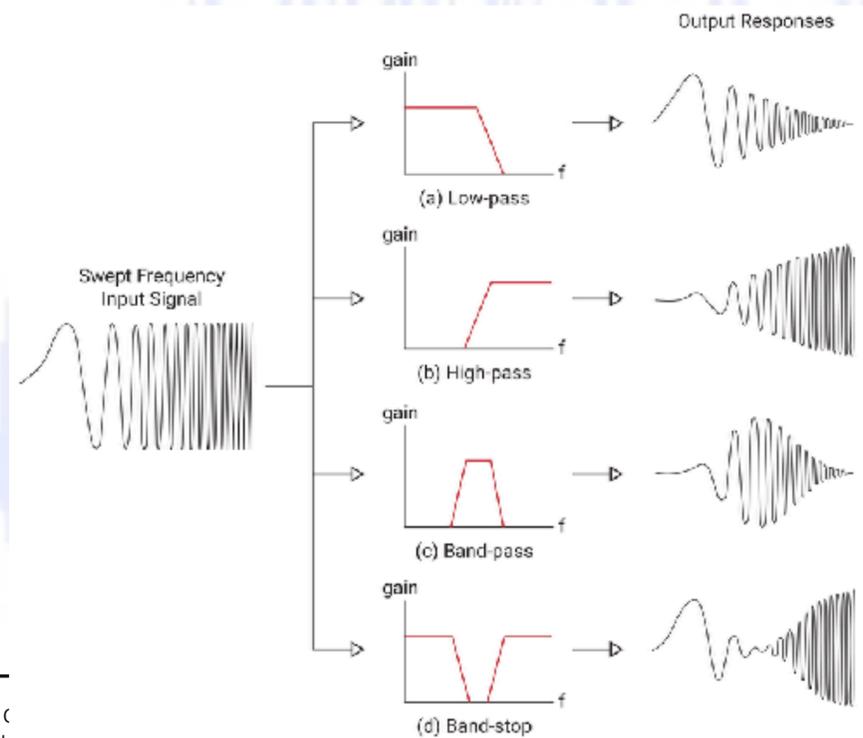
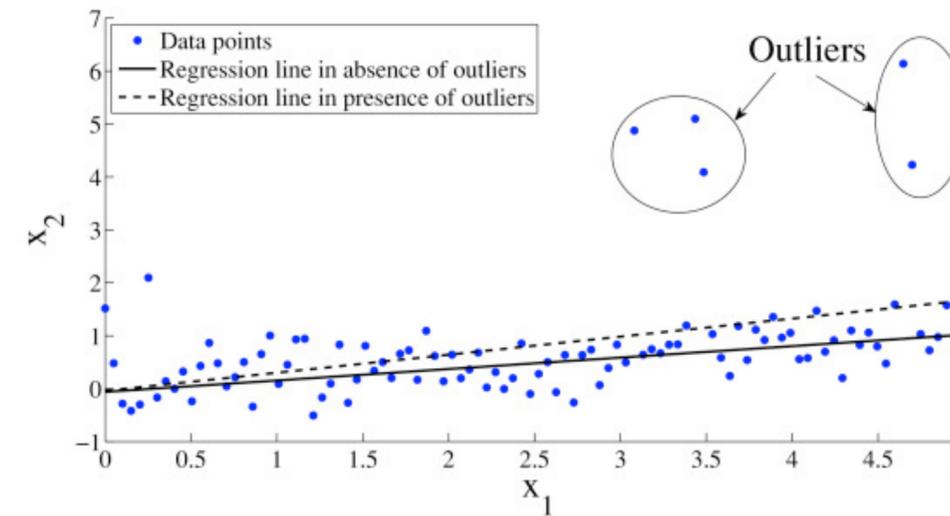
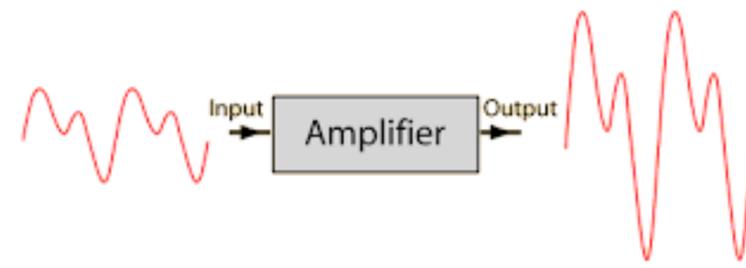
Bits	Maximum relative error	Peak-Peak noise (10V scale)	Maximum Relative error (dB)	Signal/Noise ratio (dB)
8	0.12%	39 mV	-48	50
10	0.048%	9.8 mV	-60	62
12	0.012%	2.4 mV	-72	74
14	0.003%	0.6 mV	-84	86
16	0.00076%	0.15 mV	-96	98
18	0.00019%	40 µV	-108	110
20	0.00005%	10 µV	-120	122

E' vietato ogni utilizzo diverso da quello inerente la preparazione dell'esame del corso di Meccanica delle Vibrazioni @Units
 E' espressamente vietato l'utilizzo per qualsiasi scopo commerciale e/o di lucro

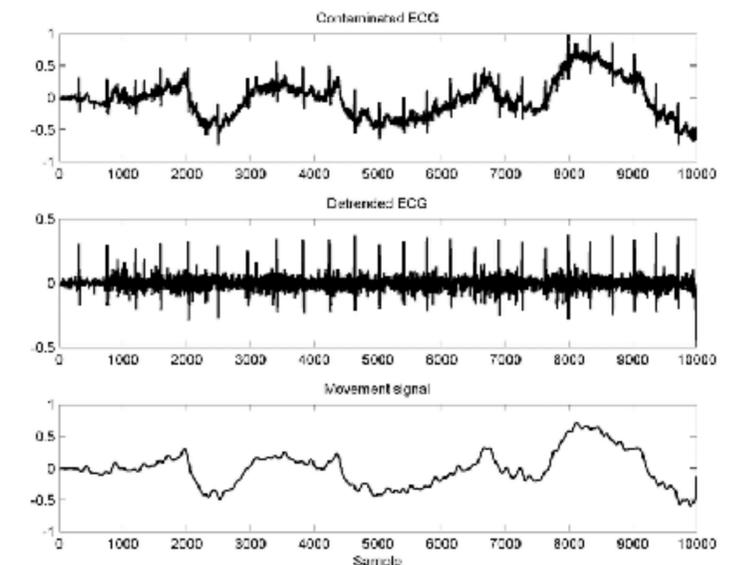
Oltre alla conversione AD nel DAQ ci sono ulteriori elementi quali amplificatori, filtri, e moduli per eliminare outliers e trends.

Bisogna sempre conoscere il sistema che si sta misurando per impostare correttamente questi elementi della catena di misura.

Engineering judgement needed!*

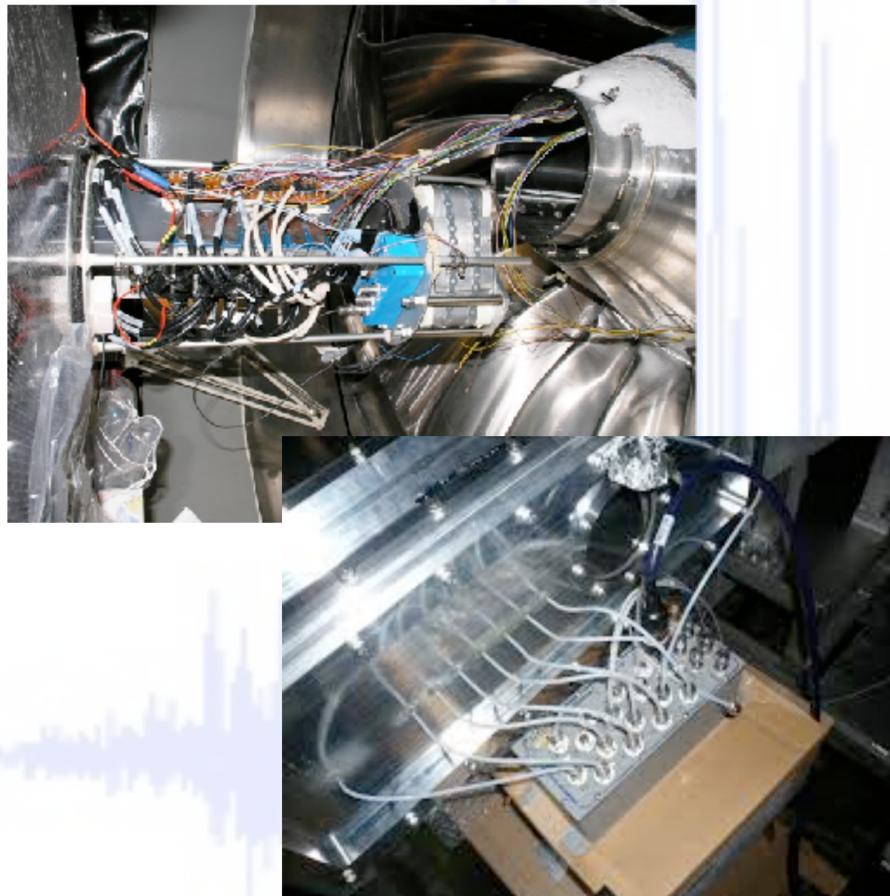


* ognuno di questi elementi modifica il segnale!
(in maniera irreversibile)



La catena di misura così descritta 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 la calibrazione
periodica 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)

Le maggiori differenze e campi di applicazione delle due soluzioni di misura:

Sistemi Portatili Integrati.



Pochissimi canali (solitamente uno solo)
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"

..

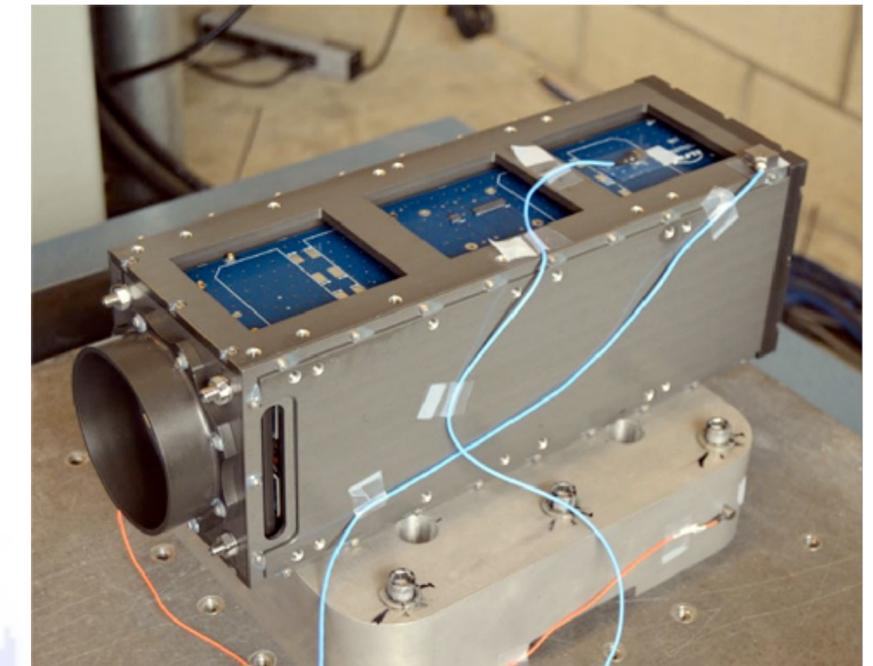
**monitoraggio puntuale
sviluppo prodotto**

Esempi di utilizzo delle due soluzioni di misura

La 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	Machine		Class I	Class II	Class III	Class IV
	in/s	mm/s	Small Machines	Medium Machines	Large Rigid Foundation	Large Soft Foundation
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71				
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80				
	0.18	4.50				
	0.28	7.10				
	0.44	11.20				
	0.70	18.00				
1.10	28.00					
1.77	45.90					



NB ci sono diverse istituzioni che si occupano di norme:
 ISO.. BS.. VDI.. API.. GOST..
 Verificare quale serve allo scopo/cliente finale

Lo sviluppo i prodotti soggetti a sollecitazioni meccaniche,
 termiche, elettromagnetiche..
 es. componenti satelliti

