

## TRASDUTTORE: TERMOCOPIA

Metalli diversi

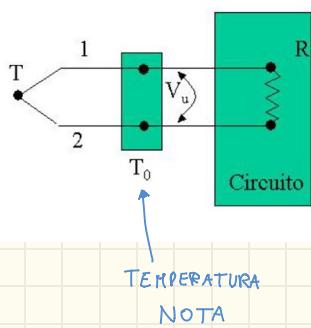
## (TRASDUTTORI RESISTIVI)

Lezione 7

E' composto da due conduttori A e B collegati in un punto ad una certa Temp; si sfrutta l' effetto Seebeck per il quale , quando si espone il giunto comune ad una certa temperatura, si genera una differenza di potenziale attraverso la quale si puo' misurare la temperatura.

### TERMOCOPPIE

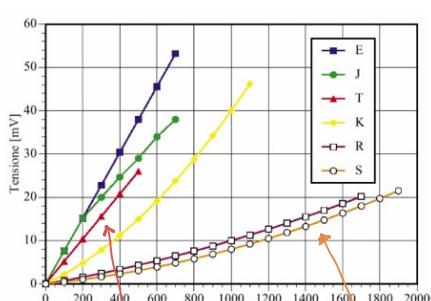
2/3



Il giunto sensibile è posto alla temperatura da misurare  $T$ , mentre i due terminali non saldati costituiscono il giunto di riferimento, e vanno tenuti ad una opportuna temperatura di riferimento  $T_0$ . La resistenza  $R$  costituisce il carico della termocoppia e rappresenta l'impedenza d'ingresso del dispositivo di misura. Se  $T_0$  è diverso da  $T$  e se  $R$  è sufficientemente elevata allora  $V_u$  è descritto da:



Molto piccolo



Lineare ma  
range s.f.  
stretto

Range elevato  
ma basso sensibilità  
e non più lineare.

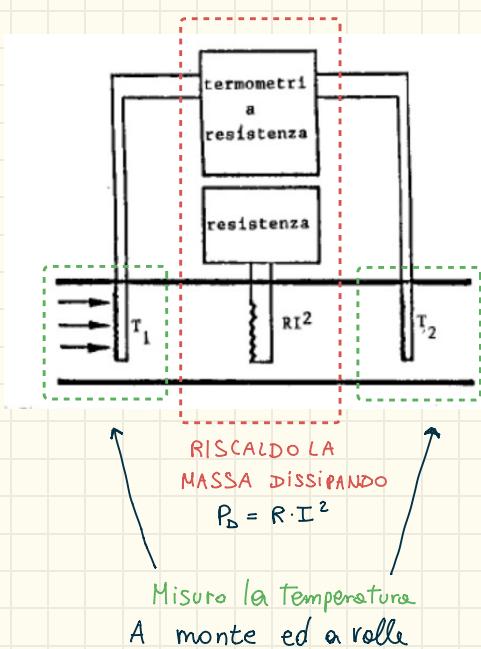
A seconda della coppia di metalli usate, la sensibilità cambia.

Inoltre la variazione per grado °C è di pochi mV  
⇒ Dobbiamo amplificare.

## TRASDUTTORE DI PORTATA

### MASSICA

Misura la massa  
a partire da un  
FLUSSO



NON NOTO

Sapendo che

$$Q_m \cdot C_p (T_1 - T_2) = R I^2$$

NOTI / MISURATI

Potenza dissipata per riscaldare la massa

Forma di Potenza Termica (?)

⇒ Risolviamo alle quantità di misura da quanto risciacquo a riccalorche (conoscendo la  $P_d = RI^2$ )

## EFFETO PIROELETTRICO

## PIROELETTRICO

Alcuni materiali tendono a creare una differenza di potenziale per accumulo di cariche opposte sulle facce parallele.

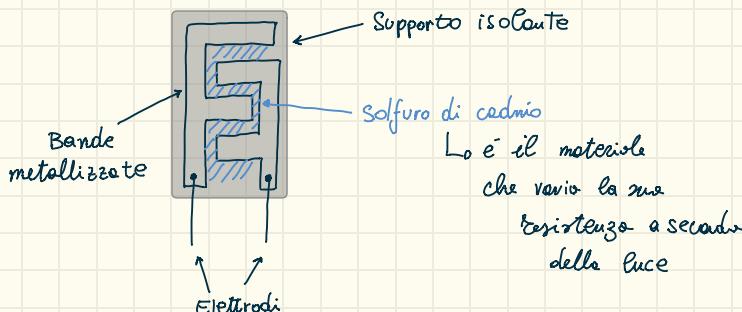
Sono diversi dalle termocouple perché in questo caso la ddp viene creata spontaneamente dal materiale e **non necessita di alimentazione esterna**.

## SENSORI SENZA CONTATTO

Questo tipo di sensore convoglia la radiazione emessa dal materiale tramite un sistema ottico su di un sensore termoelettrico che ne rileva poi la temperatura.

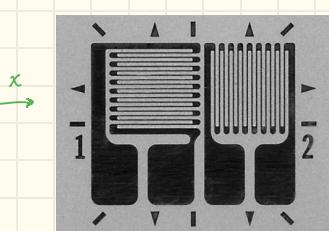
## FOTORESISTIVI

Sono fatti di materiali che cambia la sua resistenza quando viene colpito da luce.

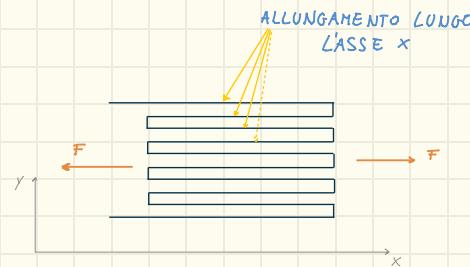


## TRASDUTTORI DI DEFORMAZIONE ED ESTENSIMETRI

Hanno numero sissime applicazioni



- Peso
- Forza
- Deformazione
- Accelerazione
- Inclinazione



Il funzionamento è semplice: allungandosi longitudinalmente il materiale cambia la sua resistività perché la resistenza è inversamente proporzionale alla sezione del conduttore.

Non è sensibile per forze lungo y

Gli estensimenti vengono solitamente applicati su di un materiale tramite un collante molto potente. Quando il materiale si piega, si riesce a misurare la variazione di resistenza.

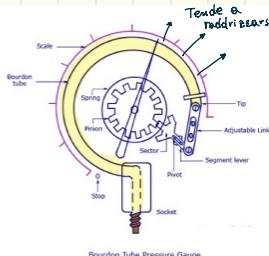
Possiamo applicare il concetto nei **sensori di forza** o **celle di carico** utilizzati nelle bilance: si applica un estensimetro su di un oggetto metallico agente una determinata geometria e si misura quindi la variazione di resistenza.

L'oggetto metallico deve avere una determinata geometria e deve essere composto da un materiale particolare in modo da essere **estremamente elastico**: questo perché deve recuperare il prima possibile le dimensioni iniziali.

## TRASDUTTORE DI PRESSIONE



$$p_i - p_e = p_r = \frac{K}{S} x$$

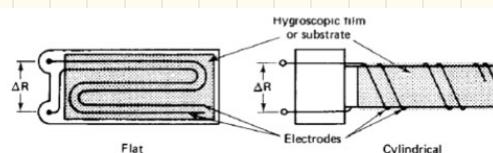


All'interno del manometro è presente un tubicino che all'aumentare della pressione tende ad una forma rettilinea (normalmente è "arrotolato"). Su di questo tubicino è applicato un estensimetro che capisce se il tubo si sta contraendo o meno.

→ POTREBBE ESSERE FALSO

Nel caso particolare non c'è nessun estensore ma il sensore è completamente meccanico.

## IGROMETRO RESISTIVO



Il concetto importante è che questo tipo di trasduttore è composto da due fili (gli elettrodi) posti ad una certa distanza tra di loro. Questi sono adagiati su di un film di materiale **igroscopico** (che varia la sua resistenza a seconda dell'umidità).

FINE TRASDUTTORI RESISTIVI

## TRASDUTTORI CAPACITIVI

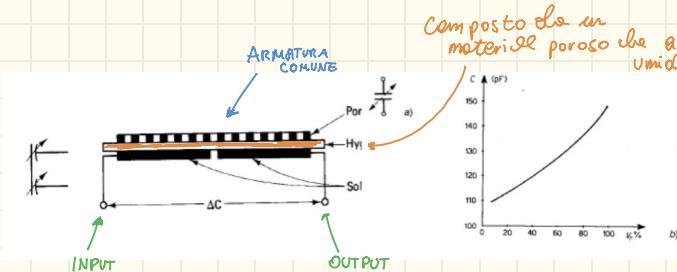
$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

Superficie Armature  
distanza tra le armature  
Dielettrico isolante

Variando i parametri che determinano la capacità, possiamo creare dei sensori capacitivi.

Bisogna notare che seppur la capacità è una grandezza elettrica, non è leggibile dal computer; dobbiamo quindi trasformarla in tensione per poterla utilizzare!

## IGROMETRO CAPACITIVO



Il trackpad del computer è un sensore capacitivo:  
spostando il dito sul trackpad variamo la capacità di una determinata casella della matrice di condensatori.

$\Rightarrow$  Cambia la capacità

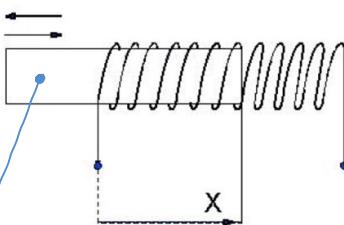
Il materiale isolante due "asciugarsi" molto velocemente!

$\Rightarrow$  NON DEVE AVERE MEMORIA (isteresi)

## TRASDUTTORI INDUTTIVI

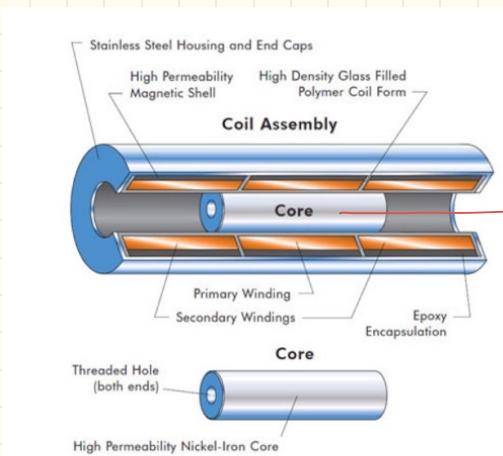
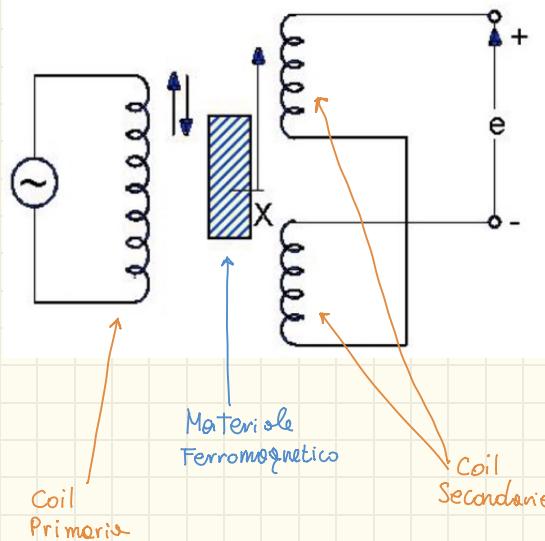
$$L = \mu_0 \cdot n^2 \cdot \frac{A}{l}$$

AREA  
lunghezza induttore  
numero di spire  
Materiale intorno alle spire



Il materiale interno si sposta  $\Rightarrow$  Varia l'induttanza.

## TRASDUTTORE A VARIAZIONE DI RILUNTANZA (LVDT)



Questi trasduttori sono estremamente LINEARI!

Quando il nucleo è al centro, i due induttori secondari ricevono lo stesso segnale. Se il nucleo si sposta in alto (a destra) l'induttore a destra riceve un segnale più forte perché il dielettrico è di materiale ferromagnetico, mentre quello a sinistra (che come dielettrico ha della semplice aria, non buona) ha un segnale più debole.

Siccome abbiamo collegato i due induttori secondari in modo da fare la differenza degli output avremo un output un segnale positivo.

Quando invece il nucleo si sposta verso sinistra, succede il contrario: avremo un segnale negativo in uscita.

Questo tipo di trasduttore ci dà informazioni anche sul segno, che indica se ci stiamo spostando verso l'alto o verso il basso.

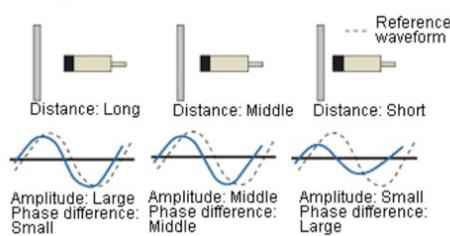
# TRASDUTTORI MAGNETICI

(Parte II)

Dalla legge di Faraday

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{e} = - \frac{d}{dt} \int B \cdot dS$$

## TRASDUTTORI A CORRENTI PARASSITE



Questi dispositivi sono composti da una **bobina** in cui scorre della corrente; la corrente genera un campo magnetico. Quando si avvicina la bobina (trasduttore) su di una superficie, il campo magnetico induce una corrente nella superficie (che deve essere conduttrice!) che a sua volta genera un ulteriore campo magnetico che si oppone al campo che l'ha generato.

Se la superficie è **liscia** allora il campo magnetico indotto è in fase e generalmente molto simile a quello che lo ha creato (generato dalla corrente nella bobina); in altre parole il segnale in ingresso è uguale a quello in uscita (non proprio esatto).

Se invece sono presenti microfrazioni il trasduttore lo rileva.

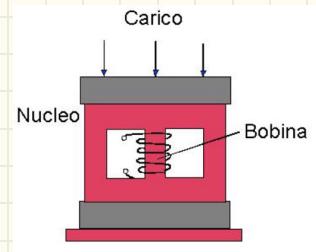
## TRASDUTTORI MAGNETOSTRITTIVI E MAGNETOELASTICI

↓

Presentano variazioni delle proprietà ferromagnetiche in presenza di campi magnetici esterni.

↓

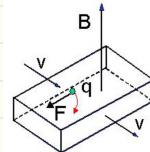
Presentano variazioni delle proprietà ferromagnetiche al variare della **forma e geometria** del materiale



## TRASDUTTORI MAGNETORESISTIVI

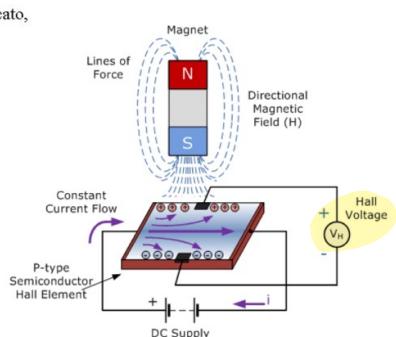
## → TRASDUTTORI AD EFFETTO HALL

Sfruttano l'**effetto Hall**: se ad una carica in movimento all'interno di un conduttore è applicato un campo magnetico  $B$ , su questa carica agirà una forza chiamata **Forza di Lorenz**



$$F = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$$

cato,



Le cariche in moto all'interno del conduttore (in questo caso della piastra di metallo a cui è applicata una corrente continua (batteria) sono soggette a un campo magnetico generato dal magnete. La forza di Lorenz le fa quindi spostare (a seconda che siano elettroni o protoni, e quindi del loro segno) perpendicolamente a destra o sinistra della direzione della corrente che attraversa la piastra.

In maniera semplice: tutte le cariche positive si dispongono a destra e tutte quelle negative a sinistra; si crea quindi un **voltage di Hall** che possiamo misurare.

$$E = \frac{K \cdot B \cdot I}{S}$$

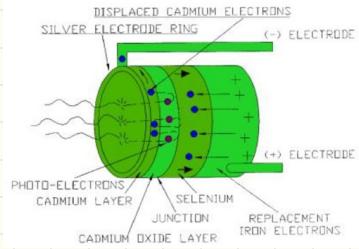
Costante di Hall

Campo Magnetico

Corrente (batteria)

Superficie piastra

# TRASDUTTORI OTICI



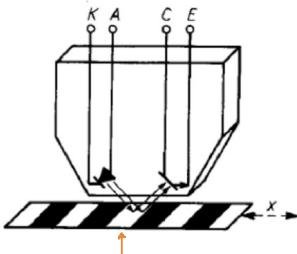
Alcuni materiali come il silicio, quando vengono colpiti dalla luce producono una piccola differenza di potenziale ai capi della giunzione.

## TRASDUTTORI DI POSIZIONE OTICI

Sono molto interessanti perché non c'è bisogno di contatto, e quindi hanno una vita più lunga.

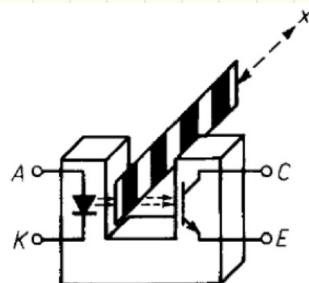
Possiamo avere un diodo emittente (led) da un lato, ed una foto rilevatore dall'altro lato: questo conduce o meno a seconda del fatto che è colpito o meno da luce. Possiamo inserire in mezzo una lastra che blocca la luce; si capisce che se questa lastra viene rimossa, possiamo capire se la striscia è presente o meno.

Possiamo estendere la funzionalità andando ad usare una striscia che alterna sezioni forate a sezioni piene: quando questo striscia si muove in avanti o indietro, possiamo contare i fori e capire la posizione della striscia stessa.



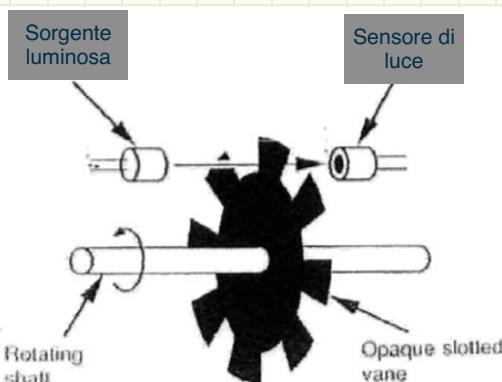
Sensore ottico a riflessione

so i punti bianchi  
riflettono e vengono rilevati

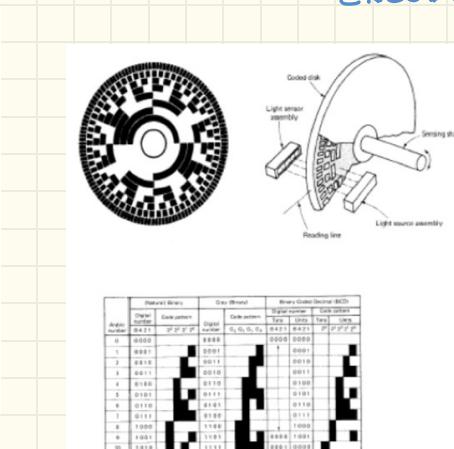


Sensore a FORCELLA

## ENCODER OTICI



possiamo contare le volte in cui il sensore rileva della luce in un lasso di tempo e capire a che velocità sta ruotando l'albero



## ENCODER ASSOLUTI

Possiamo codificare un codice binario su questa piastra rotante perforata.  
Abbiamo un sensore ed un emittore per ogni "bit".

In uscita leggiamo un codice digitale: trasformiamo una grandezza analogica (la rotazione della piastra) in codice.

**Questo tipo di trasduttore fornisce direttamente un'uscita in digitale.**

Usiamo il codice gray perché ha la particolarità di avere **due posizioni fisse che differiscono di un solo bit**.

Questo perché lavorando in un **ambiente rumoroso** se abbiamo più di un bit diverso dal precedente siamo sicuri di aver avuto errore di lettura.

Decimal	Binary Code	Gray Code
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

IL CODICE BINARIO  
È DIVERSO DAL  
COD. GRAY!

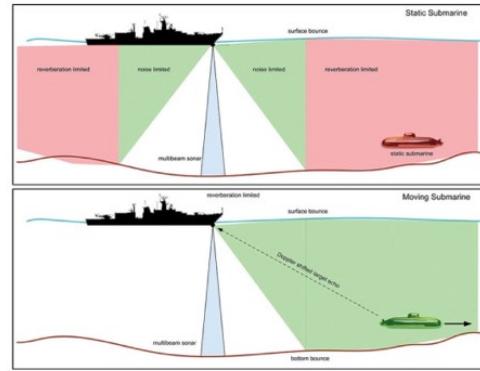
Decimal	Binary Code	Gray Code
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

# TRASDUTTORI A TEMPO DI VOLO

$$d = \frac{v \cdot t}{2}$$

Velocità onda nel mezzo  
tempo onda e ritorno  
DISTANZA

Vengono usate particolarmente gli **ultrasuoni**, ovvero le onde meccaniche di frequenza superiore ai 20kHz

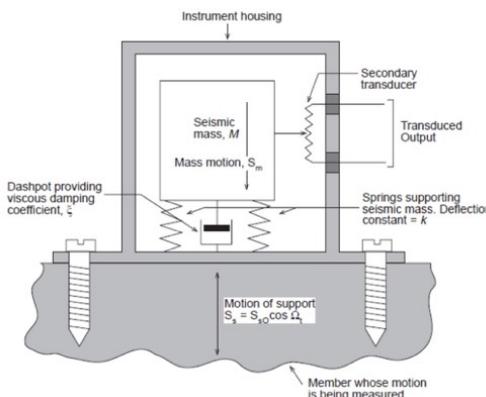
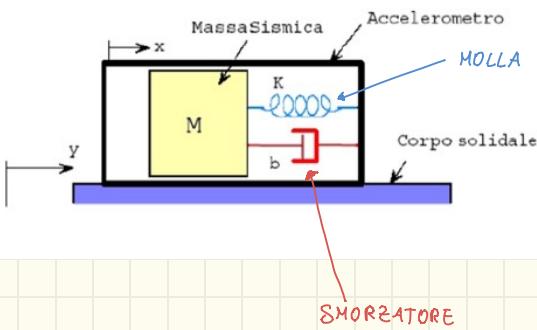


Da cosa sono prodotti gli ultrasuoni?

Gli ultrasuoni sono prodotti dai cristalli piezoelettrici: in condizioni normali sono stabili; nel momento in cui questo cristallo viene compresso, questo si deforma; facendo ciò le cariche che prima erano disposte simmetricamente, vengono riarrangiate in maniera da produrre una differenza di potenziale.

Se invece siamo noi ad applicare una ddp al cristallo, questo si deforma meccanicamente; se la ddp applicata è una sinusoide riusciamo ad usarlo essenzialmente come uno speaker.

## ACCELEROMETRI

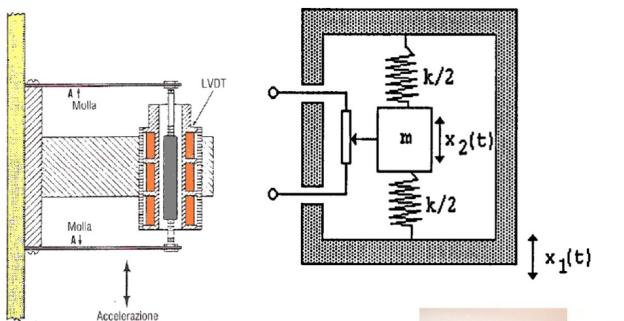


quando avviene un movimento, la massa tende a muoversi, ma è trattenuta (in parte) dalle molle.

La massa ha un cursore fisso ad essa che si sposta su di un resistore: in uscita avremo un'uscita che è funzione delle vibrazioni (per via del resistore che varia).

## ACCELEROMETRI A PARTIRE DA LVDT

(Visti prima)

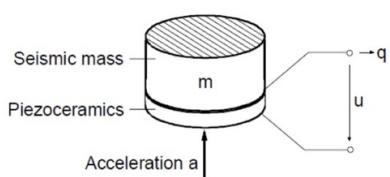


Il nucleo è fissato tramite delle molle, mentre gli avvolgimenti primario e secondari sono collegati direttamente al sistema vibrante (di cui vogliamo misurare l'accelerazione).

Nel momento in cui il sistema vibra, il nucleo vibra e quindi possiamo misurare le accelerazioni.

N.D.S. Secondo me in realtà il nucleo tende a restare fermo per via della sua inerzia visto che è collegato al sistema tramite delle molle, sono gli avvolgimenti che gli si muovono attorno.

## ACCELEROMETRI PIEZO ELETTRICI



Abbiamo una massa posta al di sopra del materiale **piezoceramico** che quando viene compresso genera una differenza di potenziale.

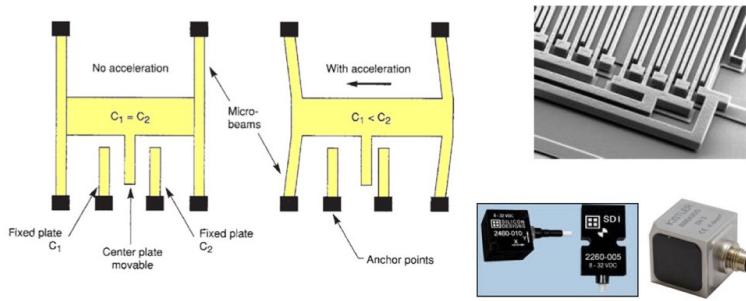
Possiamo quindi misurare la ddp.

# MEMS : Micro Electro Mechanical Systems

Sono dei sistemi **meccanici** che vengono realizzati in silicio (sono circuiti integrati "stampati" nel silicio).

Per struttura meccanica intendiamo una struttura molto simile a quelle che abbiamo visto finora, ma integrate in un circuito composto da silicio e **microscopico**.

Possiamo quindi realizzare una grande quantità di trasduttori integrati, ad esempio un trasduttore capacitivo MEMS è composto nel seguente modo:



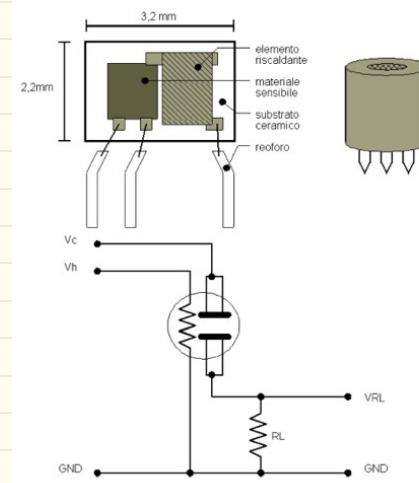
Nel momento in cui c'è un'accelerazione, la capacità del condensatore cambia e possiamo misurarla.

Quando ci si riferisce ai MEMS, ci riferiamo sicuramente a strutture microscopiche presenti all'interno di dispositivi come cellulari ed elettronica miniaturizzata.

## RIVELATORI DI GAS

Per questi trasduttori si sfrutta la proprietà di un elemento composto da **biossido di stango** che in presenza di gas particolari (come l'idrogeno o monossido di carbonio) varia la sua **conducibilità elettrica**.

Per cui nel momento in cui il materiale viene esposto ad uno di questi gas, la sua conducibilità aumenta anche di 20 volte; possiamo quindi rivelare la presenza di gas.



37

FINE