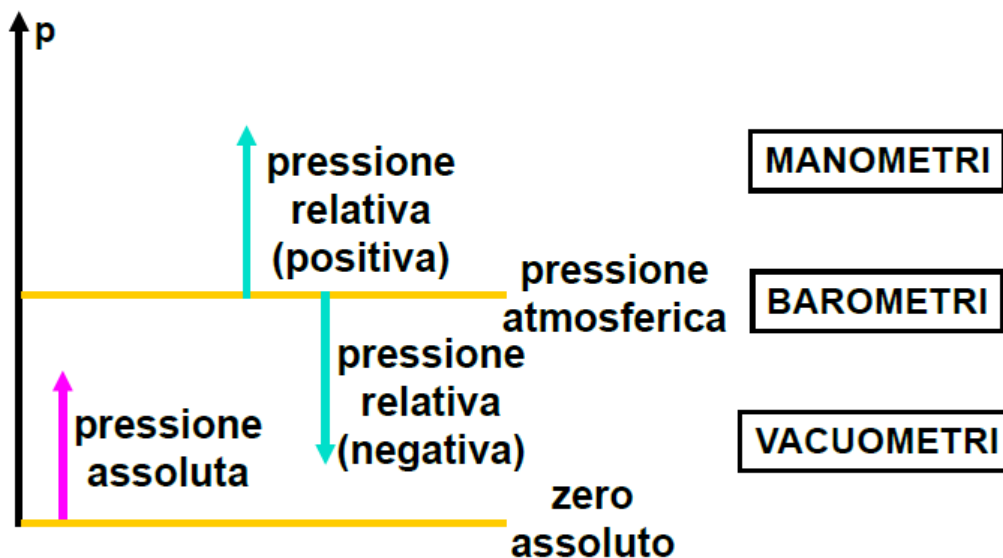


MISURE DI PRESSIONE

Introduzione

La pressione è una grandezza derivata e di stato. Nelle misure di pressione si ragiona in termini di differenza di pressione. Le misure di pressione si possono suddividere in tre categorie, prendendo come riferimento la pressione atmosferica:

- Manometri = misure di pressione relativa positiva quindi maggiore di quella atmosferica
- Barometri = misure a pressione atmosferica
- Vacuometri = misure di pressione relativa negativa quindi minore di quella atmosferica



Un sensore di pressione effettuare misure di:

- Pressione assoluta: vuoto - pressione incognita
- Pressione relativa: pressione atmosferica - pressione incognita
- Pressione differenziale a riferimento variabile: pressione riferimento variabile - pressione incognita
- Pressione differenziale a riferimento fisso: pressione di riferimento fissa - pressione incognita

Ricordiamo che la pressione atmosferica decresce mediamente di 12,5 Pa per ogni metro di altitudine sul livello del mare. La pressione può essere espressa mediante diverse unità di misura:

$$1 \text{ atm} = 1.01325 * 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$$

$$1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bar}$$

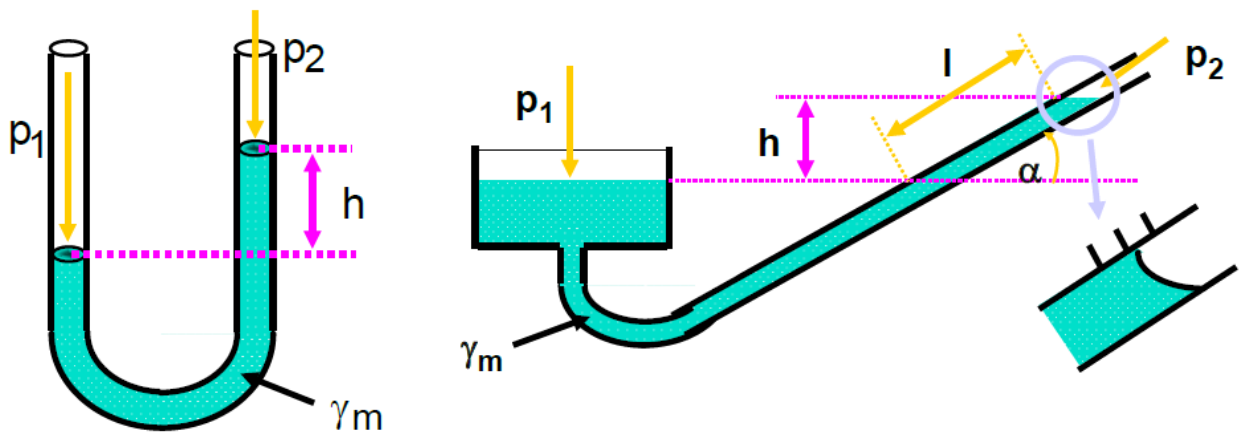
Un aspetto interessante da tener conto rispetto alle unità di misura anglosassoni è che queste prevedono nel nome l'aggiunta di una lettera che indica se la misura è assoluta (A) o relativa (G).

Manometri

Ne esistono di diversi tipi:

- Colonna di liquido = sono costituiti da un tubo a U riempito di liquido. Quando la pressione che agisce sulle due superfici è la medesima i menischi si trovano alla stessa altezza. Quando invece la pressione varia anche le due altezze varieranno. Un particolare tipo di manometri a tubo è quello inclinato. Inclinando il tubo permette di ottenere una sensibilità crescente; minore sarà l'angolo di inclinazione maggiore sarà la sensibilità. La sensibilità dipende anche ovviamente dalla densità del liquido manometrico. I liquidi generalmente usati sono il mercurio che ha densità elevata e permette di avere a pari differenza di pressione una differenza dei menischi più ridotta. Si usa però anche l'acqua, l'olio, il toluolo e miscele di alcol e benzina poiché densità minori permettono di avere sensibilità maggiori. I manometri

a colonna sono quindi adatti soprattutto alla misura di pressioni differenziali piccole. Sono economici e hanno sensibilità alta se il prodotto tra pressione relativa e altezza è inferiore.



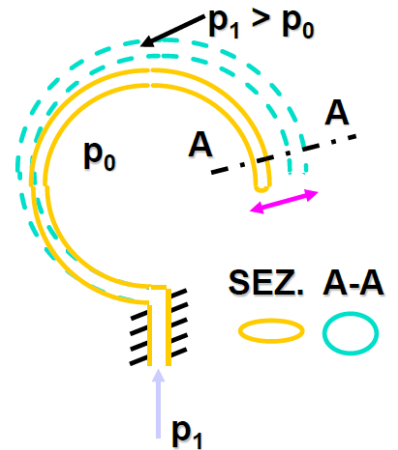
- A deformazione: sfruttano la deformazione di un elemento elastico dunque sono costituiti da un elemento interno deformabile che si deforma a causa della pressione; la deformazione muove un indicatore che permette così di conoscere il valore della pressione.

Ne esistono diversi tipi:

- Tubo Bourdon = è caratterizzato da un tubo a sezione ellittica, piuttosto piatta, disposto a forma di "punto interrogativo". Nel momento in cui viene attraversato dalla pressione la sezione diventa circolare e il tubo tende a srotolarsi. Non necessitando di alimentazione è estremamente facile da usare. Oltre alla geometria a punto interrogativo il tubo può avere anche diverse forme geometriche come ad esempio a spirale o a elica. Variando la forma si può aumentare la lunghezza del tubo; aumentando la lunghezza del tubo si aumenta anche la sensibilità dello strumento. La sensibilità può anche essere variata modificando:

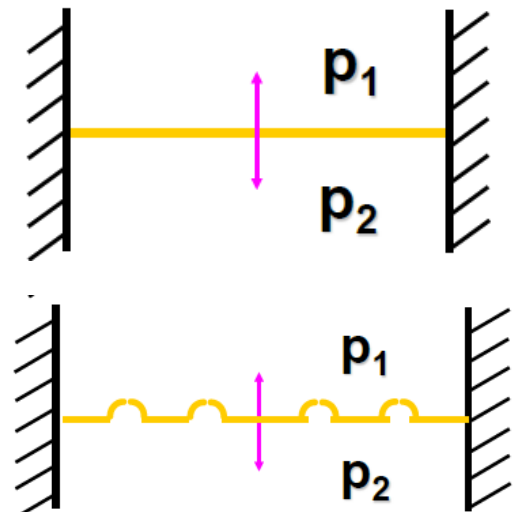
- o modulo di elasticità del materiale
- o forma della sezione
- o angolo di svolgimento
- o spessore del tubo

La configurazione del tubo può essere assimilata a quella di una trave con un incastro e un punto libero. Mettendo pressione la barra cioè il tubo si deforma. Un elemento sensibile tendenzialmente si danneggerà prima, si avrà di conseguenza un fondo scala inferiore.



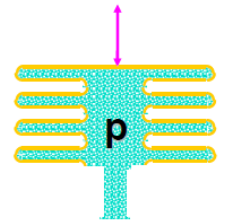
- Manometri a membrana = la membrana divide due aree aventi pressione differente. Esistono diversi tipi di membrane:

- o Lisce = la membrana ha spessore costante. Hanno una deflessione massima pari al 30% dello spessore della membrana stessa. Al centro sono un pochino rafforzate a causa dell'effetto di carico del trasduttore appoggiato. È possibile utilizzare gli estensimetri come trasduttori secondari
- o Corrugate = la membrana non ha spessore costante ma presenta geometrie diverse con corrugamenti che servono per avere risposte opportune quindi più o meno lineari. Sono generalmente di diametro maggiore rispetto a quelle lisce quindi sono più grandi, hanno un'inerzia rilevante e quindi hanno prontezza inferiore. Possono avere linearità anche con deformazioni maggiore del 30%. Vengono spesso utilizzati in applicazioni statiche.



Sono strumenti meno ingombranti dei tubi di Bourdon. Sensibilità e fondo scala sono legati al campo di misura del trasduttore,

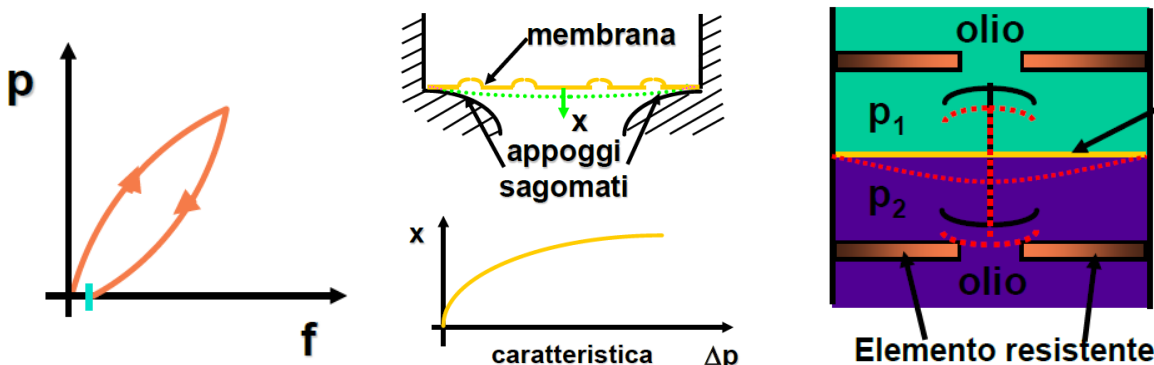
- Manometri a soffietto = realizzati con una struttura meccaniche che quando si fornisce pressione tende ad alzarsi, misurando la variazione di altezza della parte superiore del soffietto si può dedurre la pressione esercitata



Problemi legati all'elemento sensibile

Analizziamo ora i problemi legati all'elemento sensibile:

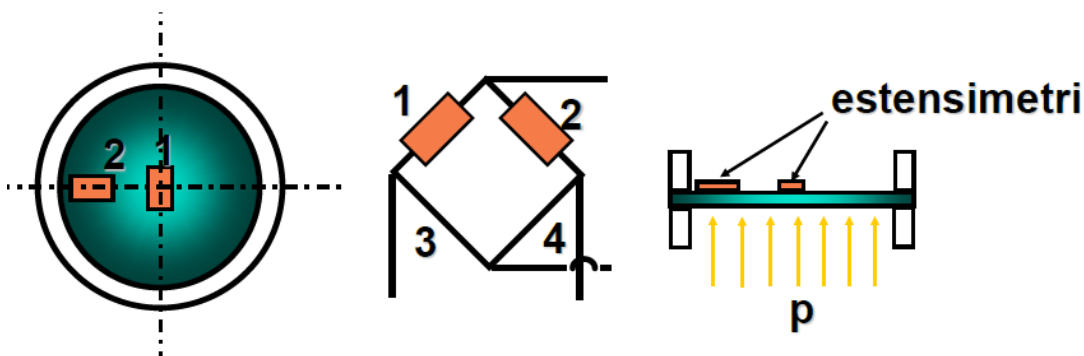
- Isteresi = problema che consiste nel non ritorno nella posizione iniziale. Dopo un ciclo la membrana può non ritornare nella posizione iniziale a causa del fatto che si hanno diversi andamenti delle deformazioni tra la fase di carico e quella di scarico
- Non linearità = possono anche essere volute. Si verifica ad esempio quando l'area laterale della membrana si adagia agli appoggi sagomati quindi l'area della membrana che rimane deformabile si riduce al crescere della pressione
- Resistenza meccanica = possibile rottura della membrana in presenza di variazione di pressione eccessive. Per ovviare a questo problema si usa una membrana collegata un oggetto che chiude il foro del trasduttore inferiore; in questo modo se si ha una variazione di pressione eccessiva si rischia molto meno la rottura della membrana.

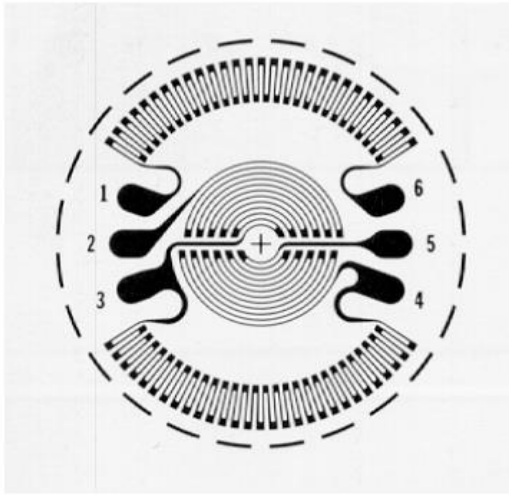


Trasduttore di pressione

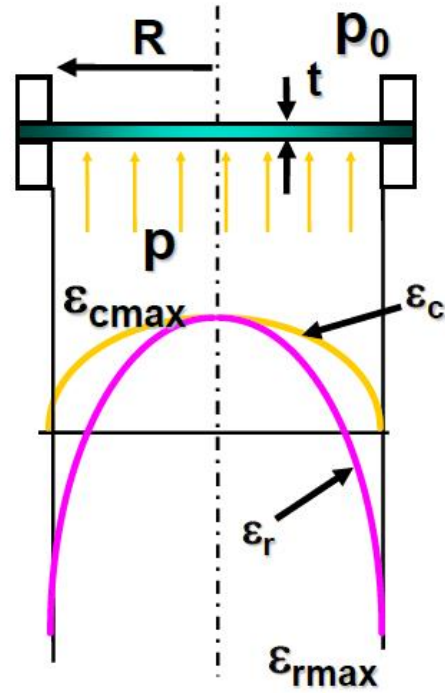
Vediamo ora come solitamente vengono trasdotti gli spostamenti o le deformazioni degli elementi sensibili per ottenere un'uscita elettrica dal trasduttore. La misura della deformazione può essere fatta mediante:

- Estensimetri = membrana liscia munita di estensimetri. Nel momento in cui la membrana si gonfia a causa di una pressione derivante da sotto le fibre al suo centro tendono ad allungarsi mentre quelle periferiche ad accorciarsi. Creando un ponte di Wheatstone è possibile misurare tale deformazione. È possibile raffinare lo strumento usando delle griglie estensimetriche circolari e specifiche costituito da 4 griglie: 2 vicino al centro che misurano le deformazioni circonferenziali e 2 griglie vicino alla periferia che misurano le deformazioni radiali. Analizzando l'andamento delle deformazioni analizzate da questo estensimetro si può notare che la deformazione circonferenziale (linea gialla) è nulla in periferia e massima al centro. La deformazione radiale invece risulta essere negativa in periferica, fibre che si accorciano, e massima al centro, fibre che si allungano.

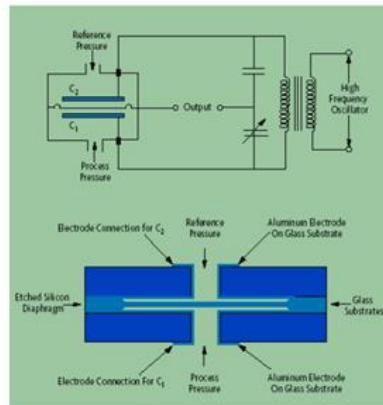




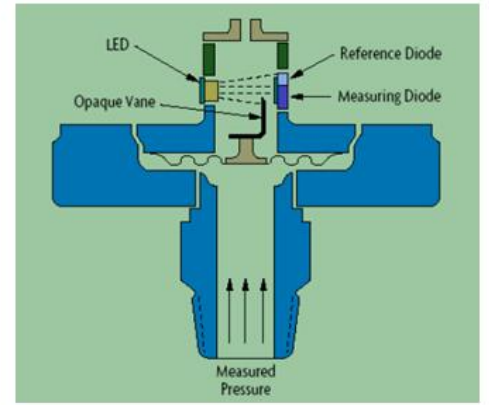
$$\frac{\Delta V}{V} = 820 \frac{(p-p_0)R^2(1-\nu^2)}{Et^2}$$



- Sensore secondario LVDT = trasduttore di spostamento molto sensibile. In questo tipo di sensori la membrana viene usata come una delle armature di un trasduttore capacitivo: quando la pressione muove la membrana si crea una variazione di capacità nel trasduttore capacitivo e quindi si ottiene una uscita elettrica. Sono strumenti molto pronti perché danno segnale per movimenti piccolissimi della membrana.
- Sensore secondario ottico = il trasduttore di pressione ha la presa di pressione nella zona inferiore. La membrana è corrugata e sopra c'è un oggetto opaco. Nella parte superiore c'è un led e nella parte opposta c'è un diodo. Massima luce corrisponde alla pressione minima. Quando la pressione aumenta l'oggetto opaco sale e quindi chiude il passaggio della luce dal led al diodo.



b.

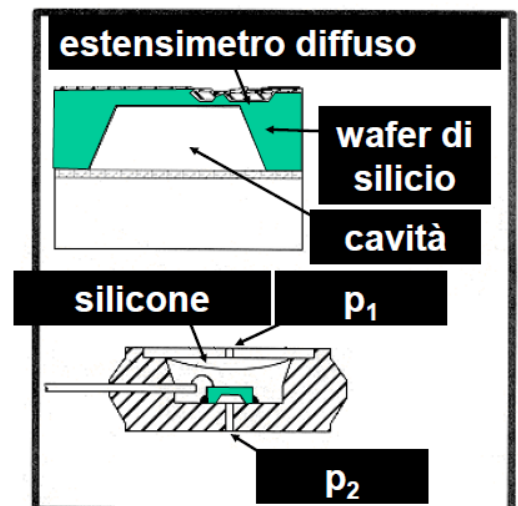


c.

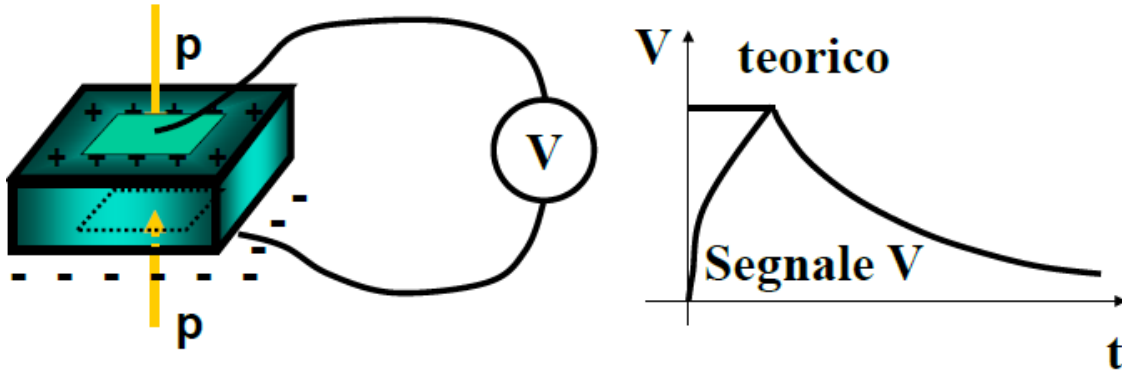
Misura diretta della pressione

Esistono però anche dei trasduttori in grado di effettuare direttamente la pressione. I due principali sono:

- Trasduttori piezoelettrici = la pressione generata dal fluido comprime il quarzo creando una forza. Essendo basti sul quarzo non possono misurare pressioni costanti perché il quarzo si scarica quindi se la forza è costante non può essere misurata. Sopra il quarzo è generalmente posta una lamina che lo protegge dall'ambiente esterno. Se lo si fa vibrare misurerà un'uscita che influenzerà la misura; per ovviare a questo problema si pone sull'oggetto di misura oltre che al trasduttore piezoelettrico anche un accelerometro così da conoscere l'accelerazione del corpo ed eliminare questo contributo dalla misura di pressione.



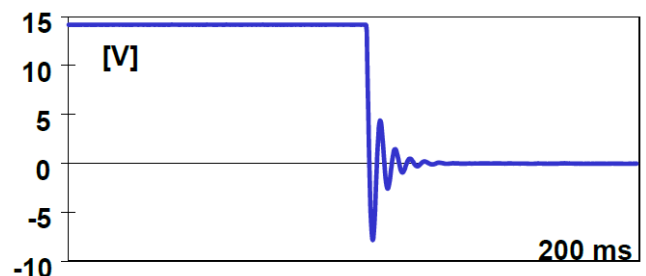
- **Trasduttori piezoresistivi** = sono trasduttori che quando sono sottoposti a una forza variano la loro resistenza elettrica. La caratteristica piezoresistiva funziona bene anche per misure statiche. Generalmente è realizzato come blocchetto sottoposto a pressione oppure come lastra di silicio su cui per diffusione viene ricavato un ponte completo di resistenza ed un termistore per la compensazione termica. Dal punto di vista operativo lavorano come delle membrane estensimstrate. Hanno in generale una sensibilità anche alla temperatura quindi o si utilizzano alle temperature a cui sono state tarate oppure si provvede a compensare questo effetto con tecnica analoga a quanto visto per gli estensimetri elettrici.



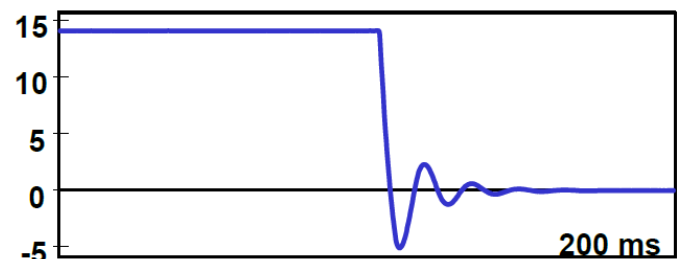
Problemi di misure di pressione dinamiche

Il sistema che effettua misure dinamiche della pressione è costituito da due componenti che pongono alcuni problemi per la misura stessa:

- Strumento di misura: problema della prontezza del traduttore in pressione
- Sistema di collegamento: problema dell'effetto dinamico dei tubi di collegamento fra il punto di misura e il trasduttore. L'effetto dinamico dei tubi di collegamento consiste nel fatto che le variazioni di pressione generano degli spostamenti di una parte del fluido all'interno del condotto di lunghezza L . Si ha un effetto dinamico del tubo di collegamento e della camera dello strumento, generando eventuali amplificazioni ai valori di frequenza della risonanza e abbattimento delle frequenze più elevate. Questa struttura può essere studiata come sistema del secondo ordine a un grado di libertà in cui la massa M è la massa della membrana e della parte di fluido che si muove con essa, la costante k è la rigidità del tubo della membrana e la costante r è lo smorzamento legato alle forze viscoso. Gli spostamenti generati dalle variazioni di pressione sono molto più importanti nel caso di misurandi comprimibili quindi se la pressione di, in funzione del tipo di fluido presente è possibile ricavare il valore della frequenza propria:
 - Liquido come olio o acqua questi problemi sono meno sentiti. Nel caso di fluido incompressibili le frequenze propria crescono molto questo perché aumentando la pressione il volume diminuisce pochissimo proprio a causa del fatto che si sta lavorando con fluidi incompressibili e di conseguenza il moto del fluido dentro al tubo sarebbe molto molto piccolo e dovuto solo alla deformazione del tubo stesso e a quella della membrana. Si possono usare dunque molti tubi di collegamento perché la perdita dinamica sarà minima.
 - Gas il movimento di fluido nel condotto e nella camera dello strumento di misura sono importanti. Nel caso di fluido comprimibili le frequenze propria sono tendenzialmente più basse perché aumentando la pressione la quantità di materia che si muove nel tubo è comunque elevata. Il problema dinamico in questo caso è molto elevato.



seniore piezoresistivo + tubo in rame



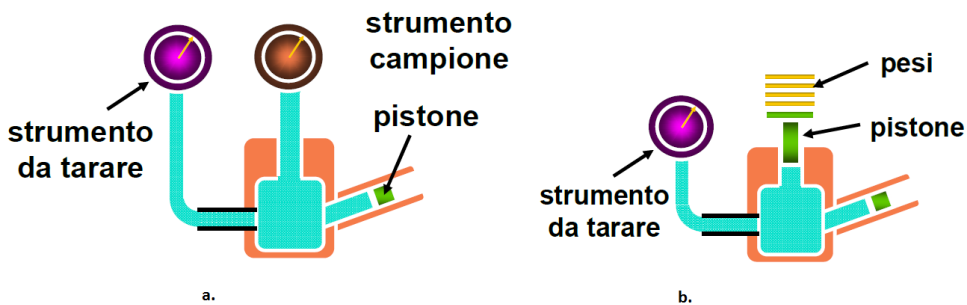
seniore piezoresistivo + tubo di

Un'altra cosa da tener presente è che la risposta dinamica cambia anche in funzione del tipo di materiale del tubo di collegamento. Un tubo di plastica perde molto in termini di dinamica; la risposta dinamica è infatti scesa molto in frequenza rispetto a quella di un tubo di rame. Occorre dimensionare i tubi di collegamento.

Taratura dei trasduttori di pressione

I trasduttori di pressione possono essere tarati in due modi:

- a. Per confronto = si confronta il trasduttore da tarare con uno di riferimento. Nello specifico si collega il trasduttore da tarare e quello di riferimento alla stessa camera. Partendo da pressione nulla mediante un pistone laterale si riduce il volume interno allo strumento mettendo così in pressione i due trasduttori. Si confrontano le uscite dei due strumenti e si effettua la taratura. Affinché tale procedimento sia effettuato correttamente lo strumento campione deve avere un'incertezza di almeno 4 volte migliore dell'incertezza dichiarata o presunta dello strumento da tarare.
- b. A peso = in questo caso non si ha un trasduttore di riferimento ma si hanno delle masse campione che vengono appoggiate su un pistone che comprime il fluido presente nella camera generando così una pressione nota. Le masse vengono supportate dalla pressione interna del fluido. Confrontando la pressione nota con quella misurata si tara il trasduttore. In questo tipo di metodo di taratura bisogna prestare attenzione alle cause di incertezza:
 - Attrito cilindro pistone
 - Incertezza sull'area del pistone
 - Incertezza sui pesi campione



Misure di un campo di pressione

Molto spesso è interessante misurare la pressione di molti punti e dunque può risultare utile definire un campo di pressione. Affinché si possa effettuare tale tipo di misura occorrono delle prese di pressione collegate mediante dei tubi al sistema di misura. Più nello specifico la misura di pressioni multiple si può effettuare in due modi:

1. Un trasduttore per ogni canale = ogni trasduttore è collegato al tubo che porta la pressione da misurare
2. Un solo trasduttore e un commutatore meccanico = avere un solo trasduttore che si collega a una presa alla volta. Il motore passo-passo controlla meccanicamente il commutatore che collega uno alla volta i tubi che provengono dalle prese di pressione, all'unico trasduttore di pressione. È un metodo utile e che può essere usato quando le pressioni non hanno variazioni dinamiche rilevanti. È più economico poiché occorre un unico trasduttore ed è quindi anche più compatto.