



Università degli Studi di Genova
Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale



Corso di Laurea in Chimica e Tecnologie Chimiche

FONDAMENTI DI TECNOLOGIE CHIMICHE PER L'INDUSTRIA E PER L'AMBIENTE
(modulo II)

MISURE DI PRESSIONE

Aldo Bottino
e-mail : bottino@chimica.unige.it
Tel. : 010 3538724 - 3538719

Definizioni

La pressione è definita come *rapporto* tra la forza F e la superficie A su cui agisce:

$$P = \frac{F}{A}$$

In altre parole la pressione è la forza che agisce sulla superficie unitaria.

Dalla formula si vede che la pressione diventa tanto *più grande*, quanto *più piccola* diventa la superficie sulla quale agisce una uguale forza.

Unità di misura

Sistema internazionale (SI)

Nel sistema internazionale (SI) la pressione si esprime in *pasca*:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Il Pa è una unità di misura molto piccola e così normalmente si adoperano dei multipli, per esempio il *kilopascal* ($1 \text{ kPa} = 1000 \text{ Pa}$) oppure il *megapascal* ($1 \text{ MPa} = 1000000 \text{ Pa} = 10^6 \text{ Pa}$).

Altre unità di misura della pressione

Di fatto il Pa è l'ultimo nome di una lunga lista di unità di pressione ancora oggi ampiamente usate.

Le relazioni tra il Pa e le varie altre unità di pressione sono elencate di seguito:

$$1 \text{ bar} = 100000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 101300 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 98\,100 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ torr} = 133 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mm Hg} = 133 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mm H}_2\text{O} = 9.81 \text{ Pa}$$

Tra le unità indicate quella più usata è il bar.

Nei paesi anglosassoni si usano come unità di misura anche i *psi*, (pounds/square inch, cioè libbre/pollice quadrato).

Le relazioni che legano i psi alle unità precedenti sono:

$$1 \text{ psi} = 6894 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ psi} = 0.07 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ psi} = 0.069 \text{ atm}$$

Per ricavare queste relazioni (per esempio, $1 \text{ psi} = 0.07 \text{ kg/cm}^2$) basta ricordare che:

$$1 \text{ pollice (inch)} = 2.54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ libbra (pound)} = 0.453 \text{ kg}$$

quindi:

$$1 \text{ psi} = \frac{\text{pound}}{\text{square inch}} = \frac{\text{libbra}}{\text{pollice quadrato}} = \frac{0.453 \text{ kg}}{2.542 \text{ cm}^2} = 0.07 \text{ kg/cm}^2$$

Pressione idrostatica

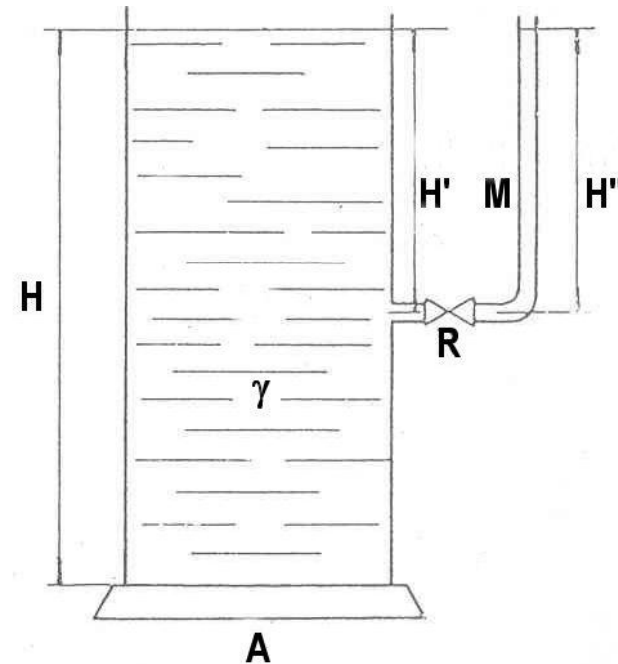
Consideriamo il recipiente schematizzato in Figura riempito con il liquido.

Se chiamiamo con F il peso del liquido, con H l'altezza del liquido dal fondo del recipiente, con γ il peso specifico del liquido e con A la superficie del fondo del recipiente avremo:

$$F = A \cdot \gamma \cdot H \quad \text{dato che}$$

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{si ha}$$

$$P = \frac{A \cdot \gamma \cdot H}{A} = \gamma \cdot H$$



Cioè la pressione dovuta al peso di un liquido, chiamata anche *pressione idrostatica*, è, in un punto qualsiasi, pari al prodotto della sua distanza dal pelo libero (chiamata altezza) per il peso specifico del liquido stesso.

La pressione *dipende solo dall'altezza* del liquido nel recipiente e dal suo peso specifico ed è indipendente dalla sezione retta del recipiente che la contiene.

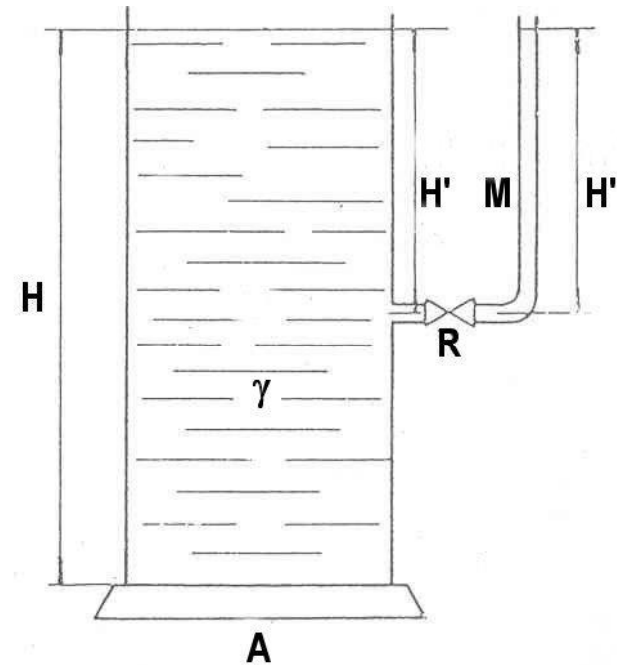
Così ad un'altezza H' la pressione è:

$$P' = \gamma \cdot H'$$

Se apriamo il rubinetto R, il liquido spinto dalla pressione $\gamma \cdot H'$ sale per il tubo M fino a raggiungere un'altezza H'' tale che:

$P' = P''$ cioè:

$$\gamma \cdot H' = \gamma \cdot H'' \quad \text{e quindi} \quad H' = H''$$



Pressione assoluta e relativa

La *pressione assoluta* è quella che si misura rispetto al vuoto assoluto.

Il *vuoto perfetto* (od assoluto) ha ovviamente *pressione zero*, essendo privo di qualsiasi particella materiale. In pratica tale condizione non si raggiunge mai, ma ci si può avvicinare entro limiti piccolissimi.

La *pressione relativa* è quella misurata rispetto alla pressione atmosferica, cioè la pressione esercitata dal *peso dell'aria*.

La pressione atmosferica varia con le condizioni meteorologiche e con l'altitudine. Di conseguenza è stato stabilito di prendere come valore di pressione atmosferica base, quella a 0°C al livello del mare.

Tra pressione assoluta e relativa esiste quindi la relazione:

$$atm (absolute) = atm (relative) + 1$$

$$atm (relative) = atm (absolute) - 1$$

In pratica tutte le pressioni superiori a quella atmosferica si misurano in *valori relativi* considerando come zero della scala il valore della pressione atmosferica.

In generale le indicazioni: Pa, bar, kg/cm² se non accompagnate dal termine “assoluta” si riferiscono a pressioni relative

Per quanto concerne le unità di misura anglosassoni:

- quando la pressione è indicata in psi o in psig, la si intende come relativa
- quando la pressione è indicata in psia la si intende come assoluta

Tenuto conto che $1\text{atm} = 14.7\text{ psi}$, la relazione che lega psi (o psig) e psia è:

$$\text{psi (psig)} = \text{psia} - 14.7$$

Misura della pressione atmosferica

Prendiamo un tubo piegato ad U come nella Figura contenente del mercurio.

Se dal lato A lato facciamo il vuoto mediante una pompa aspirante, per effetto della pressione atmosferica, il mercurio sarà spinto ad assumere una posizione di equilibrio come indicato nella Figura.

Poichè il mercurio dopo aver raggiunto un dislivello H si ferma, ciò vuol dire che la pressione idrostatica del mercurio nella parte A, è equilibrata dalla pressione atmosferica agente nella parte B.

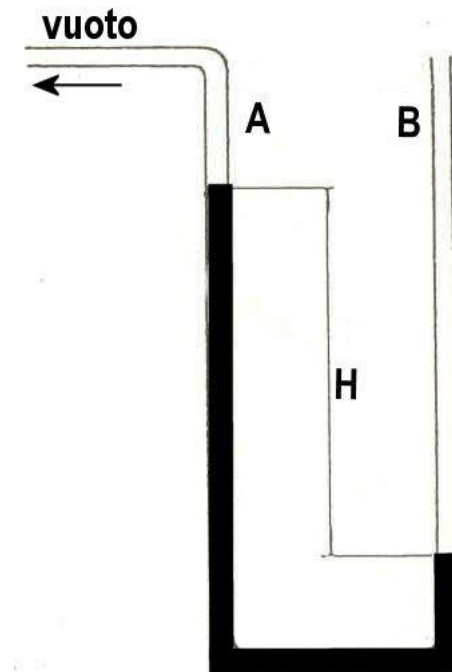
Mediamente H risulta essere pari a 76 cmHg.

Quindi: $1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg}$

Poiché $P_{\text{atm}} = \gamma_m \cdot H$

(dove, $\gamma_m = 0.01359 \text{ kg/cm}^3$ e $H = 76 \text{ cm}$)

Si ottiene $P_{\text{atm}} = 0.01359 \text{ kg/cm}^3 \cdot 76 \text{ cm Hg} = 1.0332 \text{ kg/cm}^2_{\text{ass}}$
 $= 10,332 \text{ mH}_2\text{O}$



Misuratori di pressione

Classificazione

I misuratori di pressione, detti *manometri*, possono essere classificati in due categorie, a seconda del funzionamento.

- *strumenti primari*
- *strumenti secondari*

Gli *strumenti primari* sono quelli che possono essere calibrati senza doverli confrontare con altri strumenti misuratori di pressione.

Nel loro funzionamento sfruttano gli effetti della forza di gravità ed il fatto che essa è, per ogni latitudine, costante nel tempo.

Gli *strumenti secondari* sono quelli che per quanto riguarda la scala, forma, ecc. possono essere calibrati solo con altri misuratori considerati campioni (strumenti primari)

Un'altra classificazione dei misuratori di pressione può essere fatta tenendo conto del loro impiego:

- *strumenti da laboratorio*
- *strumenti industriali*

Gli *strumenti da laboratorio* sono generalmente sono strumenti primari, molto precisi e molto delicati che richiedono particolari attenzioni per il loro uso, limitato a prove di laboratorio.

Gli *strumenti industriali*: generalmente sono strumenti secondari che per il loro impiego (impianti di produzione) debbono avere particolari doti di robustezza, semplicità, facilità di taratura e calibrazione, accessibilità, sicurezza di funzionamento e sufficiente precisione.

Manometro a U

E' uno *strumento primario* e può essere costruito sia per uso di laboratorio (strumento campione) sia per impieghi industriali (più raramente).

Può servire per misurare pressioni maggiori o minori della pressione atmosferica.

In quest'ultimo caso viene denominato anche *vuotometro*.

Nella sua forma più semplice è costituito, come già visto, da un tubo di vetro sufficientemente robusto e di conveniente lunghezza piegato a forma di U e contenente un liquido detto *liquido manometrico* (di solito acqua o mercurio).

In condizioni di riposo il liquido manometrico si dispone al medesimo livello nei due rami del tubo ad U.



Se nei due rami A e B del manometro applichiamo pressioni P_1 e P_2 diverse dall'atmosfera, ma uguali fra loro, il liquido manometrico continua a mantenere gli stessi livelli $h_1 = h_2$ (Figura a sinistra).

Ma se applichiamo sul ramo B una pressione $P_2 > P_1$ il liquido sale nel ramo A fino alla posizione di equilibrio (Figura a destra).

Se γ_m è il peso specifico del liquido manometrico, la pressione totale è:

$$P_A = P_1 + \gamma_m \cdot h_1 \quad \text{nel ramo A}$$

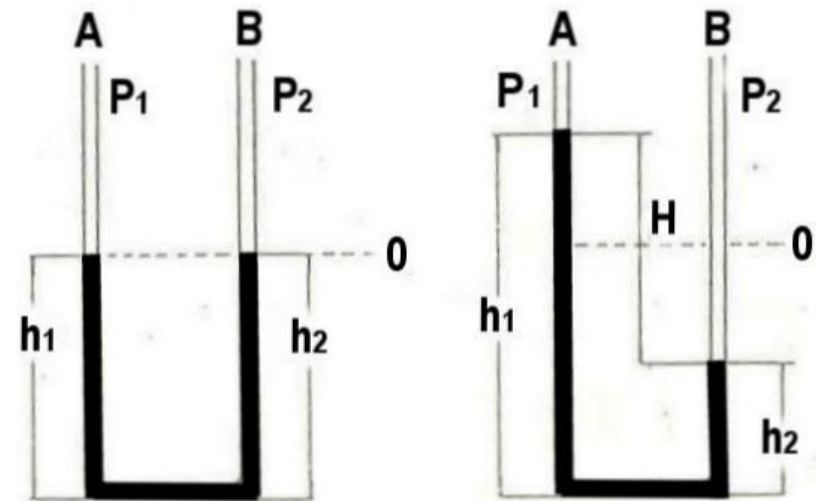
$$P_B = P_2 + \gamma_m \cdot h_2 \quad \text{nel ramo B}$$

Poichè il sistema ha assunto una forma di equilibrio sarà:

$$P_A = P_B \quad \text{cioè}$$

$$P_1 + \gamma_m \cdot h_1 = P_2 + \gamma_m \cdot h_2 \quad \text{quindi}$$

$$P_1 - P_2 = \gamma_m \cdot (h_1 - h_2) = \gamma_m \cdot H$$



L'equazione

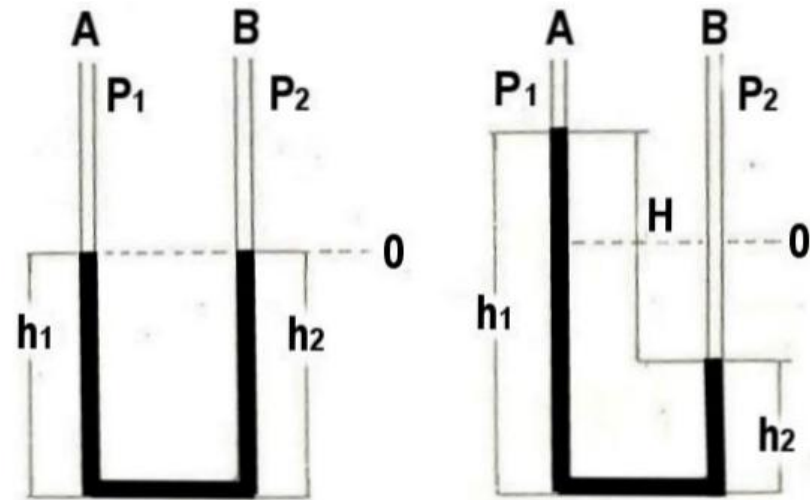
$$P_1 - P_2 = \gamma_m \cdot (h_1 - h_2) = \gamma_m \cdot H$$

indica che la differenza fra le due pressioni P_1 e P_2 è uguale al prodotto del peso specifico del liquido manometrico per il dislivello, H , del liquido stesso nei due rami A e B.

Se nella Figura, il ramo A è libero all'atmosfera, la pressione (relativa) P_1 è zero, quindi:

$$P_2 = \gamma_m \cdot H$$

Misurando il dislivello H si ha quindi la misura di P_2 .



Strumenti industriali

I manometri a mercurio finora considerati trovano principalmente impiego nelle misure di laboratorio perché:

- nell'industria *non è generalmente* richiesta la loro elevata precisione
- sono alquanto delicati da maneggiare, essendo solitamente costituiti in vetro e quindi facilmente soggetti a rotture.
- non sono logicamente adatti per misurare *alte pressioni*

Per questi motivi sono stati costruiti misuratori di pressione che permettono di risolvere tutti i problemi di *robustezza e funzionalità* per misure in un ampio intervallo di pressioni.

Tra i manometri industriali, quelli principalmente usati sono quelli il cui funzionamento è basato sulla *deformazione elastica* di un metallo.

Manometri a deformazione elastica

A seconda dei campi di impiego questi si manometri si distinguono in :

- *manometri a molla Bourdon*. Sono usati per campi di pressione vastissimi: da 760 mmHg di pressione a più di 1000 bar (se la scala comprende valori sia di vuoto che di pressione, essi prendono anche il nome di manovuotometri).
- *manometri a membrana*. Questi manometri si dividono in:
 - *manometri a membrana doppia o a capsula*, usati per misure di vuoto e pressioni fino a circa 5 m di acqua
 - *manometri a membrana semplice*, usati per pressioni fino a 50 bar ed eccezionalmente con speciali accorgimenti fino a 500 bar.

Manometri a molla Bourdon

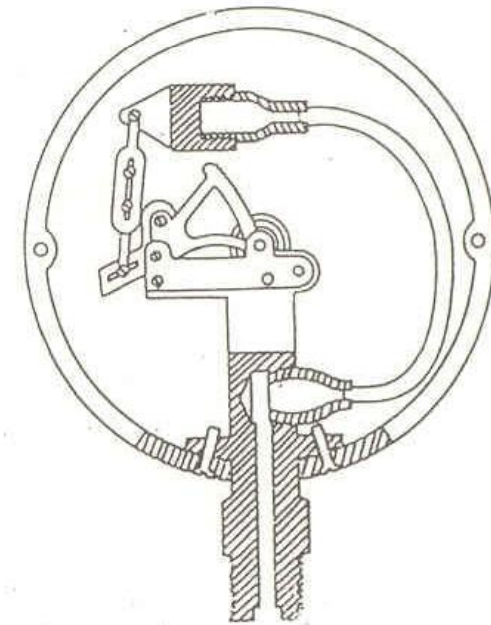
La Figura illustra la struttura di un *manometro Bourdon*.

Un tubo (*molla di Bourdon*) di sezione ovale e piegato ad arco di cerchio (o a spirale) riceve la pressione attraverso l'attacco al quale è saldato.

L'altra estremità della molla è chiusa e porta una levetta articolata avente la funzione di trasmettere ogni spostamento del tubo al sistema di amplificazione collegato a sua volta con un indice che si sposta su una scala graduata (non visibile nella Figura).

Sotto l'azione della pressione la molla Bourdon è sollecitata a *deformarsi elasticamente*, flettendosi verso l'alto e quindi determinando uno spostamento nell'indice sulla scala.

La pressione però non deve raggiungere valori tali per cui la molla rimanga deformata permanentemente.



Manometri a membrana doppia

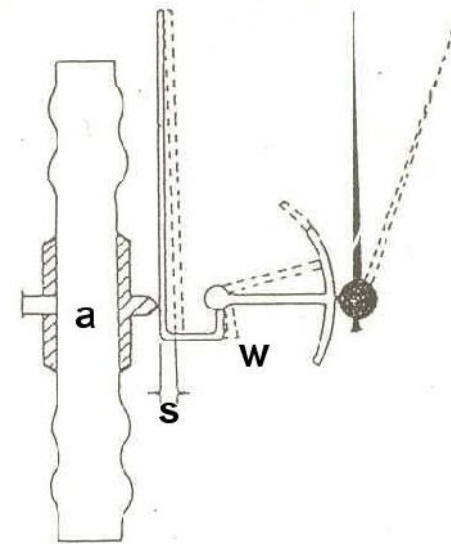
Schematicamente sono costruiti come in Figura.

Comprendono una capsula metallica (a) costituita dall'insieme di due sottili *membrane elastiche* ondulate, che sotto l'azione della pressione si dilata di un valore (s).

La dilatazione viene trasmessa, tramite una levetta e un sistema di amplificazione (w) ad un indice.

Il tutto è contenuto in una cassa attraverso la quale fuoriesce il perno di attacco.

E' necessario invece usare la massima precauzione nel suo impiego, dato che la capsula resiste male ad eventuali sovraccarichi,



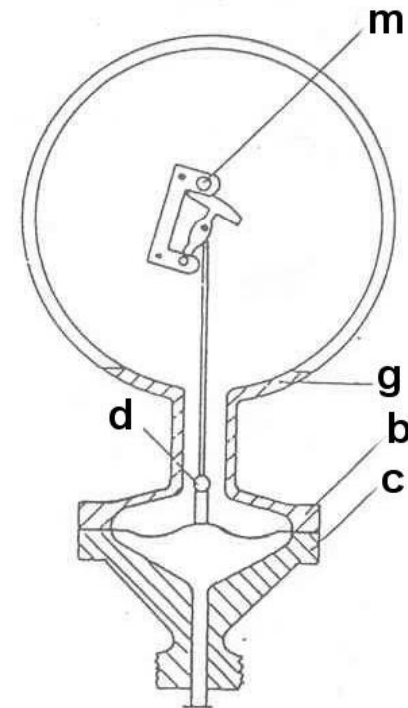
Manometri a membrana semplice

La Figura illustra uno di questi manometri.

Una membrana, di acciaio normale oppure inossidabile, è rinchiusa tra due flange, una inferiore (c) e l'altra superiore (b) che costituisce la cassa con tutti gli altri organi.

La membrana è collegata, mediante una leva snodata (in d) ad un meccanismo di amplificazione (m).

La pressione agisce sulla faccia inferiore della membrana, la costringe a dilatarsi verso l'alto, provocando così lo spostamento dell'indice.



Questi manometri sono usati in special modo con fluidi corrosivi, o che abbiano tendenza a solidificare o comunque a formare tappi lungo i condotti delle molle Bourdon.

Quando è possibile però è sempre meglio usare manometri Bourdon perchè più sicuri e più resistenti.

Infatti le membrane tendono a deformarsi permanentemente con sovraccarichi e si starano facilmente.

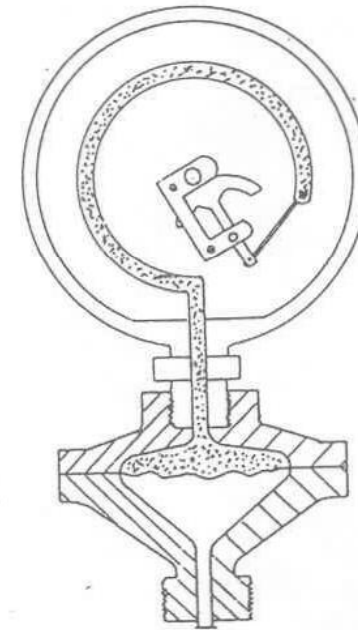


Manometri a membrana con trasmissione idraulica

Una variante è costituita dal manometro a membrana con trasmissione idraulica, illustrato nella Figura.

Come si vede una normale molla Bourdon riceve la pressione da una membrana elastica, attraverso il liquido col quale è riempita.

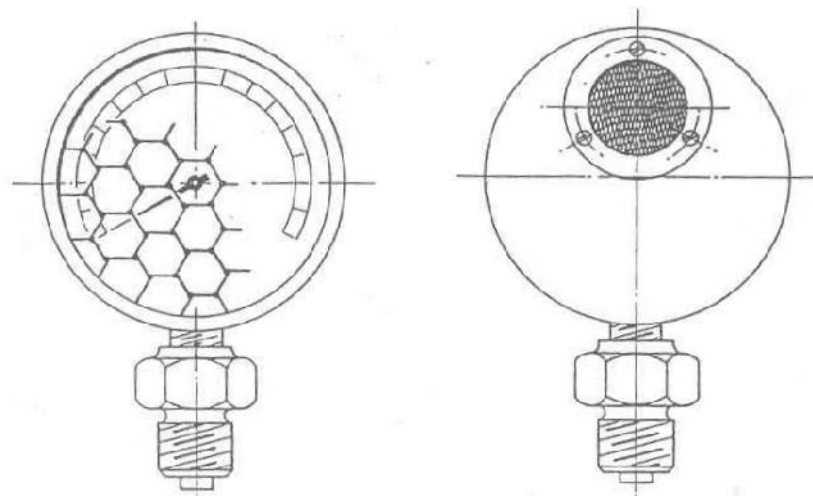
In tal caso si ha il vantaggio che la molla non viene a contatto diretto con il fluido da misurare e quindi può essere costruita con materiale poco costoso



Cassa (o custodia) e quadrante dei manometri

Le casse dei manometri da sistemare sulle tubazioni o sugli apparecchi in sito sono cilindriche con quadrante circolare (può raggiungere anche 200 mm di diametro).

Per alte pressioni, allo scopo di garantire l'incolumità del personale in caso di rottura dell'elemento sensibile, la cassa presenta delle aperture di sfogo posteriormente al quadrante, e portare anteriormente una rete di protezione, come mostrato nella Figura a destra.



Montaggio dei manometri

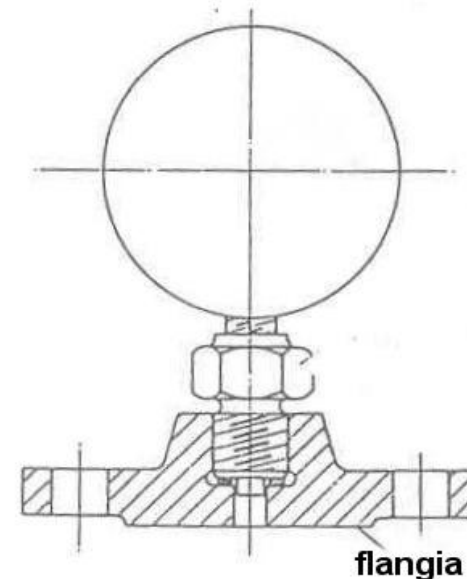
Generalmente i manometri sono corredati di attacco inferiore o posteriore del tipo a maschio filettato (DN più comune, ½ “).

Il raccordo filettato è munito di dado esagonale sul quale si deve agire con la *chiave fissa* per il montaggio (o lo smontaggio) dello strumento sull'apparecchio al quale è destinato.

Si deve evitare in modo assoluto di *agire con le mani* sulla custodia del manometro.

In certi casi il raccordo presenta l'inconveniente di ossidarsi e di corrodarsi facilmente per cui si incontra difficoltà, dopo un certo periodo di esercizio, a togliere un manometro che richiede manutenzione.

Si ricorre in questi casi, all'applicazione di una flangia, come mostra la Figura

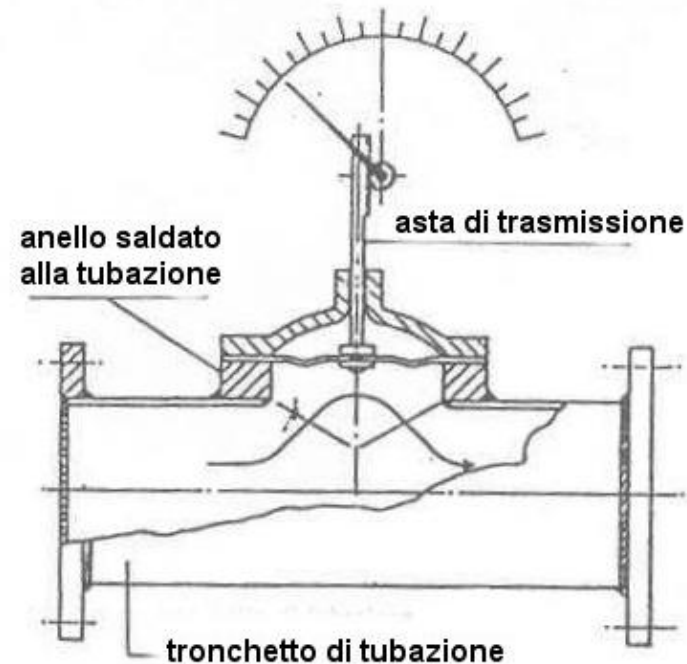


Protezione dei manometri da deposizioni solide

Talvolta il fluido ha la caratteristica di formare sedimenti solidi se resta stagnante nel tubo che collega il manometro al bocchello di presa della pressione.

Impiegando un manometro a membrana, la sistemazione più adatta è schematicamente indicata in Figura.

In questo caso il manometro è montato su un *tronchetto di tubazione* da collegare alla tubazione del inserire nel processo.



Protezione dell'elemento sensibile e dei levismi dalle pulsazioni

Quando la pressione è *pulsante*, l'elemento sensibile e i levismi amplificatori sono soggetti a continui movimenti oscillatori che abbreviano la durata del manometro.

Un liquido in movimento in una tubazione può anche generare dei colpi di pressione di tale intensità da mettere fuori servizio lo strumento.

Si rimedia all'inconveniente inserendo, fra bocchello di presa ed il manometro, un dispositivo smorzatore detto comunemente *paracolpi*.

Il paracolpi funziona in questo modo.

Ad ogni colpo di pressione il cilindretto mobile si sposta verso l'alto e chiude la luce A in modo imperfetto; è così consentita la trasmissione della pressione, ma con un forte smorzamento.

Il movimento del cilindretto ha anche il vantaggio di mantenere sempre pulita la camera in cui agisce.

Sono infatti sconsigliati i dispositivi di strozzamento con rubinetto a spillo perchè troppo spesso si ostruiscono, generando talvolta anche pericolose situazioni.

Molto spesso la cassa del manometro viene riempita con un liquido trasparente molto viscoso (ad esempio glicerina) per ridurre le vibrazioni e le oscillazioni dell'ago.

