

Milano, Marzo 2014

**Università degli Studi di Milano
Corso di Laurea in Chimica Industriale**

**Laboratorio di Processi e Impianti Industriali Chimici I
(Dr. Carlo Pirola, D.ssa Ilenia Rossetti, Dr. G. Chiarello)**

ESERCITAZIONE

**Valutazione sperimentale dei
coefficienti globali di trasferimento di massa
per la fase liquida $K_c \cdot a$
e per quella gassosa $K_g \cdot a$
mediante colonne di assorbimento**

SCOPI DELL'ESERCITAZIONE

Gli scopi dell'esercitazione sono:

- I. Verifica del bilancio molare dell'impianto
- II. Valutazione dei coefficienti globali di trasferimento di massa per la fase gassosa (K_g) e per la fase liquida (K_c) moltiplicati per la superficie interfascica per unità di volume (a) per le differenti portate di liquido (L) e gas (G)

ELABORAZIONE DEI DATI SPERIMENTALI

I. Verifica del bilancio molare

Questa verifica è possibile determinando sperimentalmente, oltre alle portate di liquido e gas puri -rispettivamente L_s e G_s in kmoli/h oppure kmoli/(h·m²)-, anche le frazioni molari $y_1, Y_1, y_2, Y_2, x_1, X_1, x_2, X_2$; nel nostro caso $x_2 = X_2 = 0$

Dal bilancio globale sulla colonna risulta:

$$L_s \cdot X_1 + G_s \cdot Y_2 = L_s \cdot X_2 + G_s \cdot Y_1 \quad \text{ovvero:}$$

$$L_s \cdot (X_1 - X_2) = G_s \cdot (Y_1 - Y_2) \quad (1)$$

Si dovrà pertanto determinare il valore dei termini al primo e al secondo membro e valutarne il rapporto, pari a:

$$R = \frac{L_s \cdot (X_1 - X_2)}{G_s \cdot (Y_1 - Y_2)} \quad (2)$$

Tale valore R sarà poi da confrontare con l'unità.

II. Valutazione dei coefficienti globali di trasferimento di massa per la fase gassosa (K_g) e per la fase liquida (K_c) moltiplicati per la superficie interfascica per unità di volume (a) per le differenti portate di liquido (L) e gas (G)

a) Calcolo diretto di $K_c \cdot a$ (1/h)

- 1) Eseguire analisi gas-cromatografiche sul liquido in uscita dalla colonna e, tramite le rette di taratura, calcolare X_1 .
- 2) Calcolare $x_1 = X_1 / (1 + X_1)$.
- 3) Suddividere l'intervallo $X_2 = 0 \rightarrow X_1$ in 50 parti, pertanto:

$$\Delta X = \frac{(X_1 - X_2)}{50}$$

- 4) Ricalcolare x per ogni valore di X corrispondente ad ogni suddivisione effettuata al punto 3, con l'equazione:

$$x = X / (1 + X).$$

Questo calcolo viene effettuato per tutti gli intervalli ΔX tra X_1 e $X_1 - 45 \Delta X$; gli ultimi cinque intervalli vengono nuovamente suddivisi in altre 50 parti. Per questi ultimi cinque intervalli si procede pertanto con una ulteriore suddivisione $\Delta X' = \Delta X / 50$

- 5) Calcolare Y per ogni valore di X dell'intervallo $X_2 \rightarrow X_1$ tramite un bilancio di massa tra una sezione generica e la testa della colonna di assorbimento; da tale bilancio risulta:

$$Y = L_s / G_s (X - X_2) + Y_2 \quad (3)$$

- 6) Calcolare $y = Y / (1 + Y)$.
- 7) Calcolare il valore di equilibrio x^* con l'equazione:

$$x^* = y / m \quad (4)$$

8) Il valore di m – coefficiente di Henry dell'acetone in acqua– si può calcolare per ogni temperatura della colonna con l'equazione:

$$m = \gamma(x,T) p^\circ (T) / P \quad (5)$$

$$\rightarrow \text{Log} (p^\circ) = 8,005 - (1687 / T_{\text{colonna}}) \quad (6)$$

E' tuttavia meglio l'equazione di Antoine

:

$$\text{Log}(p^\circ) = 7.23967 - (1279.870 / (t(^{\circ}\text{C}) + 237.500)) \quad (6\text{bis})$$

[Hala, p. 230]

dove:

- x sono le frazioni molari da cui dipendono i γ e sono quelle calcolate al punto 4)
- $p^\circ (T)$ è la tensione di vapore dell'acetone espressa in mmHg,
- T è la temperatura espressa in gradi Kelvin
- P è la pressione totale (mmHg)
- $\gamma(x,T)$ è il coefficiente di attività dell'acetone (pedice 1) in acqua (pedice 2) calcolabile con l'equazione NRTL (Non Random Two Liquids)

$$\ln \gamma_1 = x_2^2 \left(\tau_{21} \frac{\exp(-2\alpha_{12}\tau_{21})}{[x_1 + x_2 \exp(-\alpha_{12}\tau_{21})]^2} + \tau_{12} \frac{\exp(-\alpha_{12}\tau_{12})}{[x_2 + x_1 \exp(-\alpha_{12}\tau_{12})]^2} \right) \quad (7)$$

$$\text{dove: } \tau_{12} = \frac{C_{12}}{RT} \quad \text{e} \quad \tau_{21} = \frac{C_{21}}{RT} \quad (7 \text{ bis})$$

$$C_{12} = C_{12}^C + C_{12}^T (T - 273.15)$$

$$C_{21} = C_{21}^C + C_{21}^T (T - 273.15)$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{21} = \alpha_{12}^C + \alpha_{12}^T (T - 273.15)$$

} (7 ter)

In 6 ter T è espresso in gradi Kelvin, in 6 bis $R = 1.987 \text{ cal}/(\text{mole K})$

I valori numerici per il sistema acqua-acetone sono:

$$C_{12}^C = 564 \qquad C_{21}^C = 475 \qquad \alpha_{12}^C = 0.1676$$

$$C_{12}^T = -11.71 \qquad C_{21}^T = 19.27 \qquad \alpha_{12}^T = -0.000409$$

Per l'equazione (7)-(7 bis)-(7 ter) si veda:

H. Renon et al: Calcul sur ordinateur des équilibres liquido-vapeur et liquide-liquide

Ed. Technip-Paris (1971).

In alternativa :

$$\text{Log} \gamma_1 = \frac{0.8660x_2^2}{\left(x_1 \left(\frac{0.8660}{0.7458} \right) + x_2 \right)^2}$$

[Hala, p.230 per $T=25^\circ\text{C}$ Acetone (1)/ H_2O (2)]

- 9) Noto x^* per ogni suddivisione $X_1 - X_2$, costruire la funzione da integrare

$1 / [(x^* - x) \cdot (1 - x)^2]$ in funzione di x variabile tra $x_2 = 0$ e x_1 .

- 10) Calcolare $K_c \cdot a$ dall'equazione:

$$K_c \cdot a = \left[\frac{L_s}{Z \cdot C_{media}} \right] \cdot \int_{x_2=0}^{x_1} \frac{1}{[(x^* - x) \cdot (1 - x)^2]} dx \quad (8)$$

dove C_{media} è la concentrazione media del liquido in colonna tra le sezioni 1 e 2 - testa e coda - ed è pari a :

$$C = (C_1 + C_2) / 2$$

con $C_2 = 55,5 \text{ Kmoli H}_2\text{O} / \text{m}^3$ e $C_1 = C_2 \cdot (1 + X_1)$

mentre Z è l'altezza del riempimento ed è pari a 0.39 m per il riempimento SULZER e 0.90 m per il riempimento RASCHIG". Il diametro della colonna, da cui ricavare la sezione, è di 43 mm.

b) Calcolo diretto di $K_g \cdot a$ [Kmoli/(m³·h·atm)]

Questa procedura è effettuabile solo se l'analisi gas-cromatografica, tramite retta di taratura, dà un risultato certo sia per Y_2 che per Y_1 .

- 11) Calcolare $y_1 = Y_1/(1+Y_1)$ e $y_2 = Y_2/(1+Y_2)$
- 12) Suddividere l'intervallo $Y_1 - Y_2$ in 50 parti, pertanto:

$$\Delta Y = \frac{(Y_1 - Y_2)}{50}$$

Come già detto per il calcolo di $K_c a$ gli ultimi cinque intervalli da $Y_1 - 45\Delta Y$ a Y_2 vengono suddivisi in ulteriori 50 parti, pertanto il nuovo intervallo assume il valore di $\Delta Y' = \Delta Y/50$.

- 13) Calcolare il valore di X per ogni valore di Y dell'intervallo $Y_1 - Y_2$ con l'equazione:

$$X = (G_s/L_s) \cdot (Y - Y_2) + X_2 \quad (X_2 = 0 \text{ per questa esperienza}) \quad (9)$$

Ovvero:

$$X = X_1 - (G_s/L_s) \cdot (Y_1 - Y) \quad (10)$$

L'uso di queste due equazioni non è identico, anche se entrambe sono formalmente corrette.

Per la (9) infatti quando $Y = Y_2$, risulta $X = X_2 = 0$, com'è corretto

Per la (10) invece quando $Y = Y_2$, non è detto che risulti $X = X_2 = 0$ poiché, per errori sia nella misurazione dei flussi (G_s , L_s) che di determinazione di Y_1 e X_1 , può verificarsi che $X_1 - (G_s/L_s) \cdot (Y_1 - Y) \neq 0$

Si consiglia pertanto l'utilizzo dell'equazione (9).

Tuttavia, sempre a causa di errori sperimentali nelle misure sopra citate, può risultare che X (e quindi anche x) calcolato nella (9) generi un valore di $y^* = mx$ (vedi sotto punto 15) tale che $(y - y^*) < 0$ (vedi punto 17)

- 14) Calcolare $x = X/(1+X)$.

15) Calcolare il valore di equilibrio y^* con l'equazione:

$$y^* = mx$$

16) Il valore di m – coefficiente di Henry – si calcola come al punto 8, pag. 3)

17) Noto y^* per ogni suddivisione $Y_1 - Y_2$, costruire la funzione da integrare

$$1/[(y-y^*) \cdot (1-y)^2] \text{ in funzione di } y \text{ variabile tra } y_2 \text{ e } y_1 .$$

18) Calcolare $K_g \cdot a$ dall'equazione:

$$K_g \cdot a = \left[\frac{G_s}{Z \cdot P_{\text{media}}} \right] \cdot \int_{y_2}^{y_1} \frac{1}{[(y-y^*) \cdot (1-y)^2]} dy \quad (11)$$

$$P_{\text{media}} = (P_1 + P_2)/2 \quad (\text{atm})$$

P_1 e P_2 sono le pressioni alle due estremità della colonna ; P_2 è la pressione atmosferica mentre P_1 è data da

$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

ΔP rappresenta la perdita di carico misurata in colonna, cioè la differenza dei due rami del tubo a U contenente olio di silicone. Se Δh è il dislivello in mm di olio di silicone, allora ΔP sarà:

$$(\Delta h_{\text{mm olio}}) / (\Delta h_{\text{mm Hg}}) = (\rho_{\text{Hg}} / \rho_{\text{olio}})$$

$$\text{da cui } (\Delta h_{\text{mm Hg}}) = (\rho_{\text{olio}} / \rho_{\text{Hg}}) \cdot \Delta h_{\text{mm olio}}$$

Quindi:

$$(\Delta P)_{\text{atm}} = \Delta h_{\text{mm Hg}} \cdot (1 / 760 \text{ mm Hg})$$

La formula finale da applicare è allora :

$$(\Delta P)_{\text{atm}} = \Delta h_{\text{mm olio}} \cdot (\rho_{\text{olio}} / \rho_{\text{Hg}}) \cdot (1 / 760 \text{ mm Hg}) \quad (12)$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13,59 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{olio}} = 0,91 \text{ g/cm}^3$$

In alternativa alla (11) è più corretto usare la seguente equazione derivata dalla teoria della diffusione attraverso gas stagnante:

$$K_g a = \left[\frac{G_s}{Z P_{\text{media}}} \right] \int_{y_2}^{y_1} \frac{(1 - y^*)_{\text{mlg}}}{(y - y^*)(1 - y)^2} dy \quad (11 \text{ bis})$$

essendo $(1 - y^*)_{\text{mlg}} = [(1 - y^*) - (1 - y)] / \ln[(1 - y^*) / (1 - y)]$

c) Calcolo indiretto di $K_g \cdot a$

Il valore del coefficiente globale di trasferimento di massa per la fase gassosa $K_g \cdot a$ si può calcolare dall'equazione :

$$K_g \cdot a = K_c \cdot a / H \quad (15)$$

noto ovviamente $K_c \cdot a$,

$$\text{ove } H = (m \cdot P_{\text{media}}) / C_{\text{media}} \quad (16)$$

mentre P_{media} è la stessa calcolata al punto precedente.

Naturalmente poiché $m = m(x, T, P)$ (Eq.4, pag.2), ne deriva che H non ha un valore unico. Pertanto si dovrebbe mediare m tra x_1 e x_2 e poi calcolare un valore medio di H da utilizzare nell'equazione 16

d) Calcolo indiretto di $K_c \cdot a$

Il valore del coefficiente globale di trasferimento di massa per la fase liquida $K_c \cdot a$ si può calcolare dall'equazione :

$$K_c \cdot a = (K_g \cdot a) \cdot H \tag{17}$$

noto ovviamente $K_g \cdot a$.

Anche per l'equazione (17) vale l'osservazione fatta riguardo ad H medio per il calcolo di $K_g \cdot a$

E' possibile a questo punto confrontare i risultati ottenuti dai metodi diretti con quelli indiretti:

	METODO DIRETTO	METODO INDIRETTO	L (l/h)	G (NI/h)	T (°C)
$K_c \cdot a$ (1/h)					
$K_g \cdot a$ (Kmol/ (m³ h atm)					

SIMBOLOGIA

X_1 = frazione molare finale dell'impurezza – acetone – in acqua (kmoli di acetone / kmoli di acqua).

X_2 = frazione molare iniziale dell'impurezza in acqua, posta uguale a zero (v. sopra) dato che l'acqua in ingresso alla colonna è pura.

Y_1 = frazione molare dell'impurezza – acetone - nel gas inerte (aria) in entrata alla colonna (kmoli di acetone / kmoli di aria).

Y_2 = frazione molare dell'impurezza – acetone – nel gas inerte (aria) in uscita dalla colonna (v. sopra).

x_1, x_2 kmoli di acetone/kmoli totali liq.

Per trasformare le portate di gas e di acqua in [kmoli/(h·m²)] si utilizzano le seguenti formule:

$$G_s = [G \cdot (P / R \cdot T)] / (\pi \cdot r^2)$$

$$L_s = (L \cdot \rho_{H_2O}) / (\pi \cdot r^2 \cdot P.M._{H_2O})$$

dove L e G sono le portate espresse in L/h mentre P e ($\pi \cdot r^2$) sono rispettivamente la pressione media e la sezione della colonna.

Elaborazione dati:

	X	x	Y	y	$\gamma(x,T)$	$m(x,T,P)$	$x^*=y/m$	$1/[(1-x)^2(x^*-x)]$
X ₁								
X _a								
X _b								
X _c								
X _d								
X _e								
X _f								
X _g								
X _h								
X _i								
X ₂								

INTEGRALE= Σ (aree parziali)

$$K_c a = \left[\left(\frac{L_s}{CZ} \right) x(\text{integrale}) \right] \dots \left(\frac{1}{h} \right)$$

Elaborazione dati:

	Y	y	X	x	$\gamma(x,T)$	$m(x,T,P)$	$y^*=mx$	$1/[(1-y)^2(y-y^*)]$ (°)
y ₁								
y _a								
y _b								
y _c								
y _d								
y _e								
y _f								
y _g								
y _h								
y _i								
y ₂								

INTEGRALE= Σ (aree parziali)

$$K_g a = \left[\left(\frac{G_s}{PZ} \right) x(\text{integrale}) \right] \dots \dots \dots \left(\frac{K \text{moli}}{m^3 \text{h.atm}} \right)$$

(°) ovvero: $(1-y^*)_{\text{mln}} / [(1-y)^2 (y-y^*)]$

5-8 Misuratori di portata e velocità di fluidi

Venturimetro. — E' uno strumento usato per misurare la portata di un fluido in un condotto. E' costituito da un restringimento della sezione del condotto stesso, che provoca un aumento della velocità ed una diminuzione della pressione del fluido che lo percorre (Figura 5-9). La caduta di pressione è misurata con un manometro differenziale collegato ai punti 1 e 2.

La perdita di carico dovuta agli attriti in questo caso è trascurabile, rispetto alle variazioni di energia cinetica e di pressione-volume, per cui è possibile applicare con buona approssimazione l'equazione di Bernoulli tra i punti 1 e 2, ottenendo

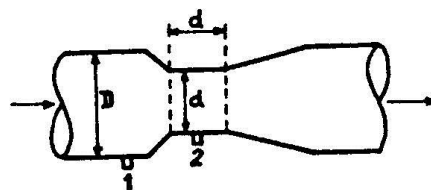


Fig. 5-9. Venturimetro

$$\frac{u_{m2}^2}{2g} - \frac{u_{m1}^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \quad (5-44)$$

La portata volumetrica è data da

$$v = A_1 u_{m1} = A_2 u_{m2}$$

da cui

$$u_{m1} = v/A_1 \quad , \quad u_{m2} = v/A_2 \quad .$$

Sostituendo nella (5-44)

$$\frac{v^2}{2g} \left(\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right) = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

ovvero

$$v = A_2 \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \frac{P_1 - P_2}{1 - (A_2/A_1)^2}} \quad (5-45)$$

In realtà la portata v ottenibile con la (5-45) è leggermente superiore al reale, a causa delle pur piccole perdite di carico dovute all'attrito. Si introduce allora un fattore correttivo C_D , detto *coefficiente di scarico*, che, per bassi valori di Re , è pari a ca. 0,98.

Tubo di Pitot. — Serve per misurare la velocità di un fluido ed è schematizzato in Fig. 5-10. A è il punto della vena fluida in corri-

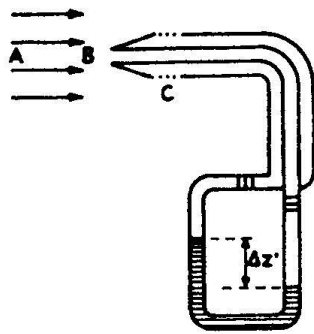


Fig. 5-10. Tubo di Pitot

spondenza del quale si deve misurare la velocità. In B, imbocco del tubo interno dello strumento, la velocità del fluido è nulla, mentre in C, punto di comunicazione del tubo esterno con il fluido, la pressione P_C è pari alla pressione in A, P_A . Il manometro differenziale misura la differenza di pressione $(P_B - P_C)$. Applicando

l'equazione di Bernoulli ai punti A e B si ha

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{u_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{u_B^2}{2g}$$

ovvero, essendo $u_B = 0$, $P_A = P_C$ e $(P_B - P_C) = \Delta z \gamma'$,

$$\frac{u_A^2}{2g} = \frac{P_B - P_C}{\gamma}$$

da cui

$$u_A = \sqrt{2g \Delta z \frac{\gamma'}{\gamma}} \quad (5-46)$$

dove γ' è il peso specifico del liquido manometrico. Anche in questo caso è necessario introdurre un coefficiente di scarico $C_D = 0,98 \div 0,99$.

Diaframmi. — Un diaframma a foro centrale, introdotto in un condotto (Fig. 5-11), provoca una contrazione della vena fluida, che

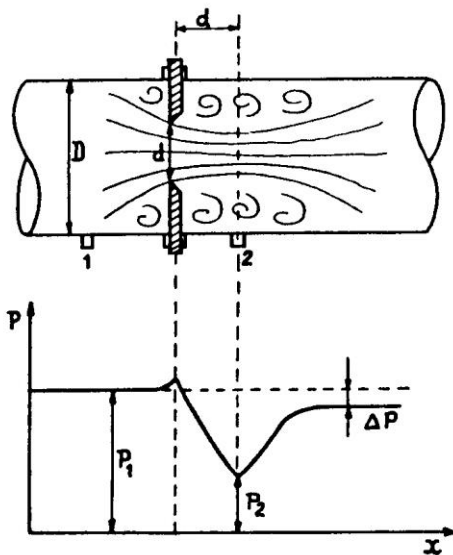


Fig. 5-11. Diaframma

raggiunge la sezione minima circa un diametro dopo il diaframma stesso. Il punto di minimo, denominato «vena contracta», coincide anche con il punto di minima pressione del fluido (v. figura). La formula per il calcolo della portata prevede l'introduzione dell'area A_0 della sezione del diaframma, più facilmente misurabile, correggendo poi l'errore con un coefficiente di scarico più piccolo, pari, per moto turbolento, a ca. 0,6. L'equazione per il calcolo è analoga a quella ricavata per

il venturimetro

$$v = C_D A_0 \sqrt{\frac{2g (P_1 - P_2)}{\gamma [1 - (A_0/A_1)^2]}} \quad (5-47)$$

Rotametri. — Servono a misurare la portata e sono costituiti da un condotto verticale conico, nel quale il fluido scorre verso l'alto (fig. 5-12). Un galleggiante di opportuno materiale e forma assume una posizione diversa, leggibile su una scala esterna tarata, al variare della portata, che può essere calcolata mediante la (5-47), dove $(A_0/A_1)^2$ può essere ritenuto trascurabile rispetto all'unità.

Infatti in questo caso A_0 rappresenta l'area della sezione libera ed A_1 l'area della sezione del condotto in corrispondenza della sezione massima del galleggiante. Quando esso abbia raggiunto la posizione di equilibrio, la differenza di pressione $(P_1 - P_2)$ è ottenibile da un semplice bilancio delle forze ad esso applicate. Queste forze sono il peso, corretto per la spinta archimedeica

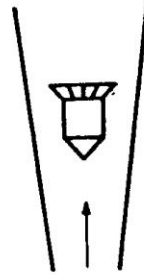


Fig. 5-12. Rotametro

$$V_g (\rho_s - \rho) g$$

e la spinta dovuta al moto del fluido

$$A_g (P_1 - P_2) .$$

V_g ed A_g sono rispettivamente il volume e la sezione massima del galleggiante, ρ_s la sua densità e ρ la densità del fluido. Uguagliando le due forze si ottiene

$$P_1 - P_2 = \frac{V_g}{A_g} g (\rho_s - \rho)$$

che, sostituita nella (5-47), dà

$$v = C_D A_o \sqrt{\frac{2g}{\rho} \frac{V_g}{A_g} (\rho_s - \rho)}. \quad (5-48)$$

Il coefficiente di scarico C_D dipende in questo caso anche dalla forma del galleggiante, specialmente a bassi valori di Re , ma è comunque sempre prossimo all'unità.

Contatori per gas a umido. — Questi apparecchi, del tipo a tamburo (Fig. 5-13) sono usati quasi esclusivamente per misure di control-

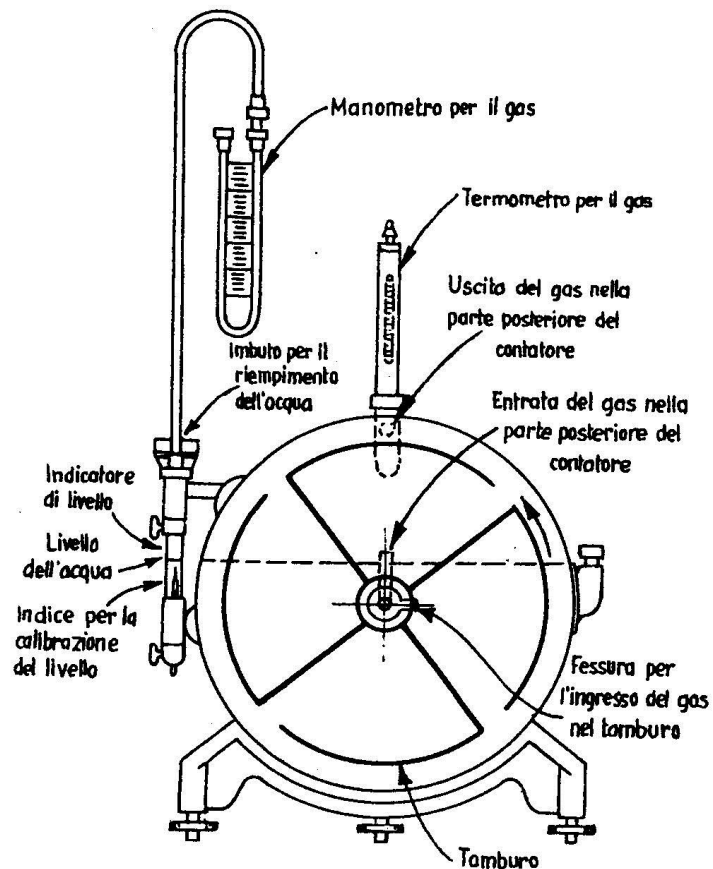


Fig. 5-13. Contatore a umido per gas.

lo ed in laboratorio. Il corpo principale è costituito da un tamburo cilindrico orizzontale a quattro scomparti uguali. Il tamburo è immerso in acqua, che giunge poco sopra l'asse dello stesso. Il gas entrante gorgoglia sotto lo scomparto che in quella posizione fa tenuta per la presenza dell'acqua e fa ruotare il tamburo, sollevando lo scomparto in cui è entrato, finché la fessura di scarico, tagliata sul bordo del tamburo e parallela all'asse di rotazione, esce dall'acqua. Nello stesso istante in cui la fessura emerge dall'acqua, il setto divisore dello scomparto successivo devia il flusso del gas entrante sotto lo stesso scomparto. Mediante un sistema di ingranaggi, l'albero del rotore aziona un indicatore tarato. Il termometro ed il manometro differenziale permettono di riportare il flusso misurato alle condizioni desiderate.

Flussimetri a termoconducibilità. — Si basano essenzialmente sulla variazione di temperatura indotta su uno o più filamenti caldi, lambiti, direttamente o indirettamente, dal fluido in moto. Uno schema è illustrato in Fig. 5-14. I due filamenti F_1 ed F_2 sono costituiti

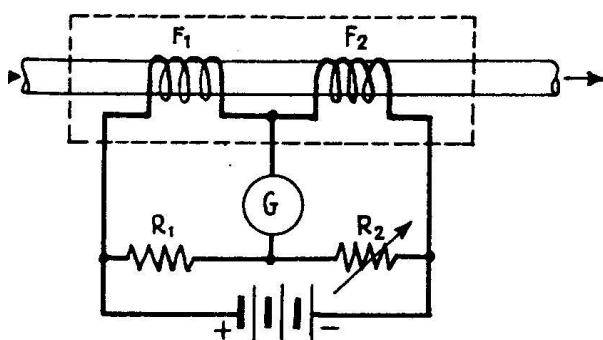


Fig. 5-14. Flussimetro a termoconducibilità

da metalli o leghe ad alto coefficiente di variazione termica della loro resistività elettrica e sono collegati a ponte di Wheatstone con le resistenze R_1 ed R_2 e con il galvanometro G . Il flusso del fluido provoca un raffreddamento di F_1 ed un riscaldamento di F_2 , la cui entità è proporzionale alla portata stessa ed è misurata dallo sbilanciamento del ponte di misura.

da L.Forni, *Fenomeni di trasporto*

FLUSSIMETRO AD INDUZIONE MAGNETICA

Con il flussometro ad induzione magnetica è possibile misurare flussi di liquidi con una conduttività minima di $5\mu\text{S/cm}$.

Il funzionamento di tale dispositivo è basato sulla legge di Faraday dell'induzione elettromagnetica, secondo la quale quando un conduttore si muove in un campo magnetico B genera una differenza di potenziale indotta U_e . La differenza di potenziale indotta è proporzionale alla velocità del fluido ed è misurata attraverso una coppia di elettrodi e successivamente amplificata. In questo modo è possibile determinare la velocità del fluido e quindi la portata conoscendo la sezione del tubo. Durante l'esperienza di laboratorio l'acqua funge quindi da conduttore in quanto prima di entrare nel circuito viene decalcificata con resine a scambio ionico per evitare eventuali incrostazioni all'interno dei condotti del circuito, in modo tale da mantenere una minima quantità di sali e avere la conduttività minima richiesta.

Come si può notare in **fig.5.2** lo strumento è costituito da un tubo di diametro circa 2mm (in modo da avere piccole portate) di sezione A dove scorre l'acqua con velocità v ; ai lati del tubo ci sono i poli di un elettromagnete che genera il campo B e perpendicolarmente ad essi ci sono due elettrodi, posti a distanza L , che collegati ad un galvanometro misurano U_e :

$$U_e = B * L * v$$

Da quest'equazione si può quindi calcolare v e quindi conoscere la portata volumetrica Q in m^3/h :

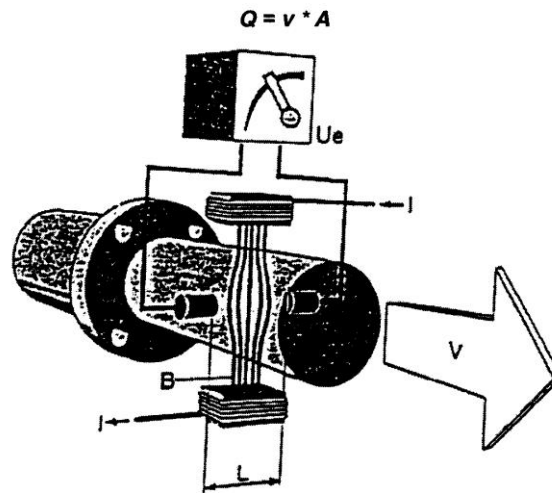


Fig.5.2- Schema del flussimetro ad induzione magnetica

MANOMETRO DIFFERENZIALE

Il manometro differenziale rappresentato in **fig. 5.5** è un semplice strumento di misura della differenza di pressione.

Questo strumento è costituito da un tubo ad U, riempito con del liquido manometrico (nel nostro caso olio di silicone).

Quando alle due estremità del tubo si instaura un gradiente di pressione si viene a creare una differenza di altezza del liquido nei due rami A e B. Tramite la legge di Stevino è possibile determinare la differenza di pressione con l'equazione $\Delta P = \rho * g * \Delta Z$

dove:

ΔP = differenza di pressione tra i due rami A e B. (g/(cm*s²));

ρ = densità del liquido manometrico (g/cm³);

g = accelerazione di gravità (980 cm/s²);

ΔZ = differenza fra le altezze dei livelli del liquido nei due rami(cm).

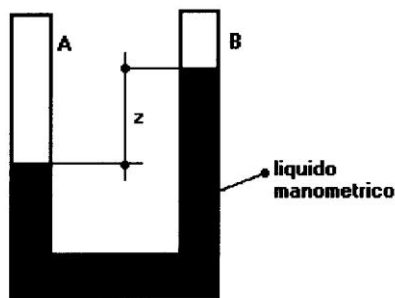
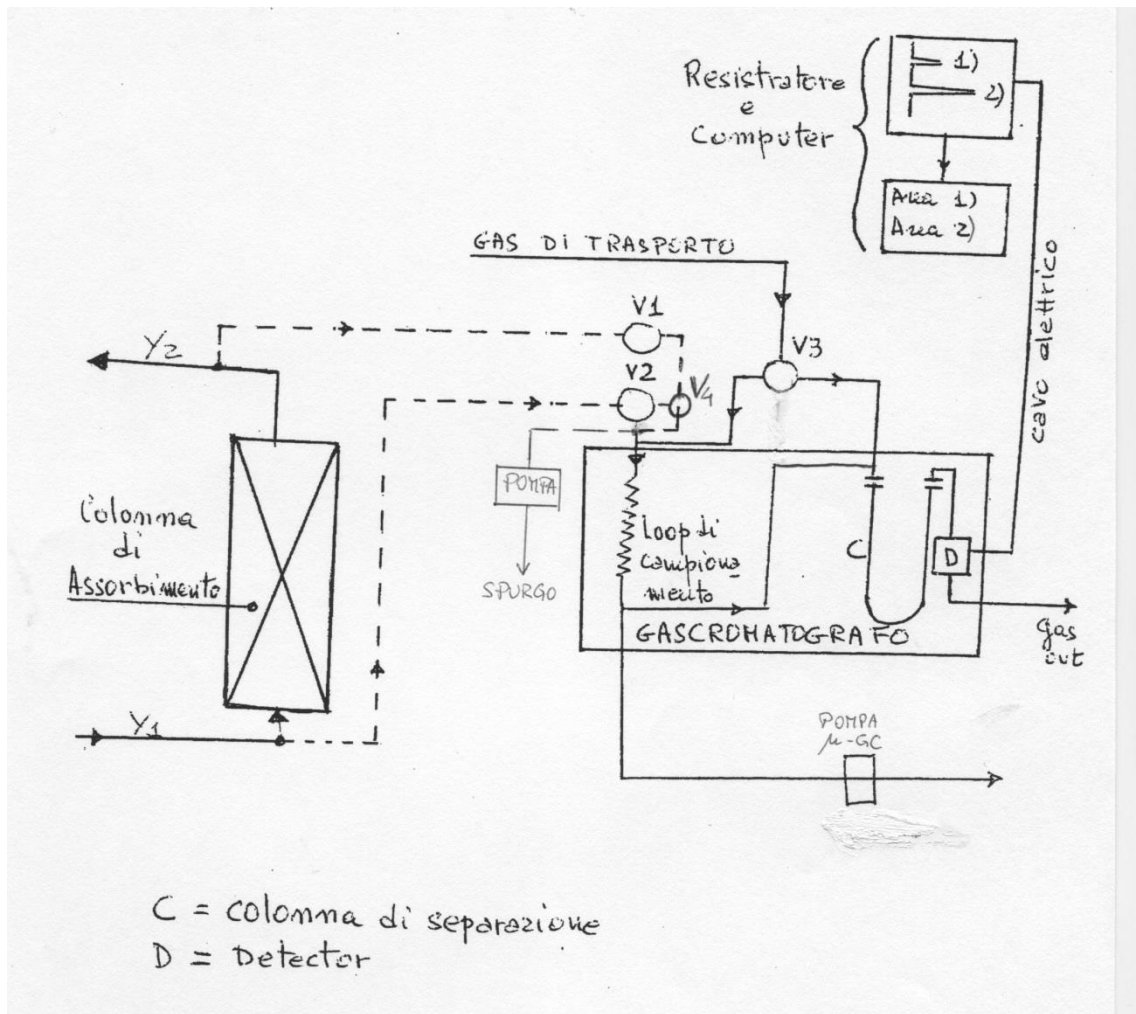
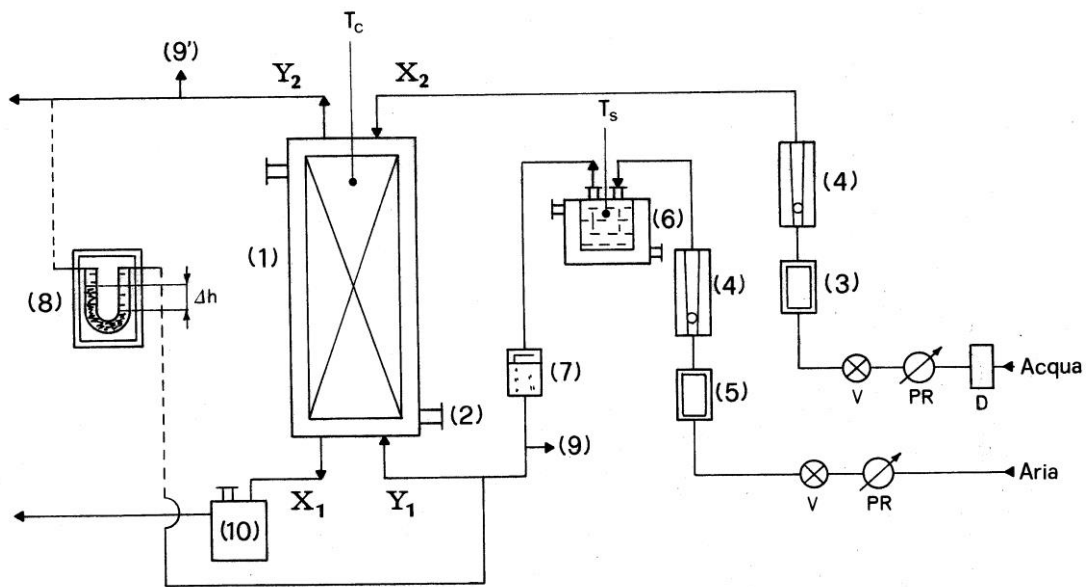


Fig. 5.5 –Manometro differenziale a U

Il manometro differenziale è stato collegato sulla rete dell'aria sia a monte (con pressione P_1) che a valle (con pressione P_2 atmosferica misurata con precisione attraverso un barometro) della colonna di assorbimento. In questo modo è possibile determinare le perdite di carico dovute al flusso di aria che attraversa la colonna..





- 1) Colonna
- 2) Impianto di termostatazione
- 3) Flussimetro ad induzione magnetica
- 4) Flussimetro a galleggiante
- 5) Flussimetro massico
- 6) Saturatore
- 7) Abbattitore
- 8) Manometro differenziale
- 9) Prelevamenti automatici per gascromatografo
- 10) Pozzetto
- D) Decalcificatore
- PR) Regolatori di pressione
- Tc) Temperatura colonna
- Ts) Temperatura saturatore
- Δh) Perdita di carico del gas in colonna

PROCEDURA SPERIMENTALE PER L'ESPERIENZA "ASSORBIMENTO"

Questa procedura sperimentale va ripetuta per ogni "set" di portate G e L. Il primo giorno di laboratorio sarà effettuata l'esperienza con un primo set, il secondo giorno con due altri set.

Sperimentalmente si deve:

- 1) posizionare l'impianto di campionamento sulla posizione Y1 (alte concentrazioni), quindi decidere se si vuole campionare la Y1 sulzer o la Y1 rashig
- 2) Analizzare con il microGC la Y1: a) fare 5 analisi consecutive al microGC e considerare l'ultimo valore dell'area dell'acetone b) fare un'ulteriore singola analisi e considerare il valore risultante per la riproducibilità dell'analisi. Se la riproducibilità non è soddisfacente riprodurre un'altra singola analisi.
- 3) Rifare il punto 1 e 2 da parte del gruppo dell'altra colonna
- 4) posizionare l'impianto di campionamento sulla posizione Y2 (basse concentrazioni), quindi decidere se si vuole campionare la Y2 sulzer o la Y2rashig
- 5) Analizzare con il microGC la Y2: a) fare 5 analisi consecutive al microGC e considerare l'ultimo valore dell'area dell'acetone b) fare un'ulteriore singola analisi e considerare il valore risultante per la riproducibilità dell'analisi. Se la riproducibilità non è soddisfacente riprodurre un'altra singola analisi.
- 6) Rifare il punto 4 e 5 da parte del gruppo dell'altra colonna
- 7) Contemporaneamente ai punti 5 e 6, campionare la X1 (da parte di entrambi i gruppi), e completare la procedura per l'analisi della X1 (con il GC tradizionale)
- 8) Durante lo svolgimento dei punti da 1 a 7, annotare periodicamente i valori delle varie temperature, dei vari flussimetri e della pressione sia del laboratorio che della colonna.
- 9) UNA VOLTA TERMINATI TUTTI QUESTI PUNTI (da 1 a 9), NON DURANTE, è infine possibile misurare sperimentalmente la portata di gas con il flussimetro a bolle e la portata di liquido con il bicchiere tarato.
- 10) Scrivere tutti i dati ottenuti in nella tabella "dati sperimentali" e consegnarli al Dr. Pirola o alla Dr.ssa Rossetti.

Data:
Gruppo:
indirizzo e-mail per eventuali comunicazioni:
cellulare per eventuali comunicazioni:
Colonna:

Misura	1 set portate	2 set portate	3 set portate	4 set portate
G (l/h) da flussimetro				
L (l/h) da flussimetro				
G (l/h) da flux bolle				
L (l/h) da pesata				
Area acetone Y1				
Area acetone Y2				
Area acetone X1				
Area etanolo X1				
Peso campione X1				
Peso etanolo aggiunto X1				

**QUESTO FOGLIO VA STACCATO DALLA DISPENSA E
CONSEGNATO AL TERMINE DEL SECONDO GIORNO DI
LAVORO**