Facoltà di Ingegneria – Università degli Studi di Bologna

Dipartimento di Ingegneria Industriale

Marco Gentilini

Dimensionamento di tubazioni a più rami in parallelo.

Quaderni del Dipartimento

MARCO GENTILINI

DIMENSIONAMENTO DI TUBAZIONI A PIU' RAMI IN PARALLELO.

1 – INTRODUZIONE.

E' noto che in caso di una tubazione aperta semplice a un solo ramo la perdita di carico totale, (**Dp**), per fluidi incomprimibili, (e comprimibili previa stima della densità media del fluido nei singoli tratti della condotta, $\mathbf{d_{smi}}$), è valutabile con una trattazione elementare che fornisce:

$$\mathbf{Dp} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{8k_a d_{smi} L_i}{\pi^2 D_i^5} + \frac{8d_{smi}}{\pi^2 D_i^4}\sum_{j=1}^{m_i} k_{cij}\right)Q^2 =$$

$$= \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{8k_a L_i}{\pi^2 D_i^5 d_{smi}} + \frac{8}{\pi^2 D_i^4 d_{smi}}\sum_{j=1}^{m_i} k_{cij}\right)G^2,$$

con:
- $\mathbf{k_a}$ coefficiente di attrito fluidodinamico;
- **n** numero di tronchi di tubazione a diametro costante, ($\mathbf{D_i}$), e lunghezza $\mathbf{L_i}$;
- $\mathbf{m_i}$ numero di accidentalità presenti nell'**i**esimo tronco;
- $\mathbf{k_{cij}}$ **j**esimo coefficiente di accidentalità presente nell'**i**esimo tronco;
- **Q** portata volumetrica del fluido;
- **G** portata in massa del fluido.

Indicando con $\mathbf{k_c}$ i coefficienti di accidentalità, le perdite di carico concentrate possono esprimersi anche in termini di lunghezza equivalente, ($\mathbf{L_e}$), definita come la lunghezza di tubazione rettilinea, di sezione costante e priva di accidentalità, che per attriti fluidodinamici comporta perdite di carico pari a quelle indotte dalla accidentalità stessa.

Risulta quindi: $\mathbf{Dp = k_c d_s c^2/2 = k_a d_s c^2 L_e /2D}$, da cui: $\mathbf{L_e = k_c D/k_a}$.

Indicando come lunghezza estrapolata dell'**i**esimo tronco, (L_i'), la grandezza: $L_i' = L_i + \sum_{j=1}^{m_i} L_{eij} = L_i + \sum_{j=1}^{m_i} \frac{k_{cij}D_i}{k_a}$, con: $L_{eij} = k_{cij}D_i/k_a$, **j**esima lunghezza equivalente dell'**i**esimo tronco, si ottiene:

$$Dp = \sum_{i=1}^{n} \frac{8k_a d_{smi} L_i'}{\pi^2 D_i^5} Q^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{8k_a L_i'}{\pi^2 D_i^5 d_{smi}} G^2.$$

Definito il coefficiente di incidenza delle perdite concentrate rispetto a quelle distribuite nell'**i**esimo tronco, (f_{ci}), come il rapporto:

$$f_{ci} = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} L_{eij}}{L_i},$$

si ottiene: $Dp = \sum_{i=1}^{n} \frac{8k_a d_{smi}(1 + f_{ci})L_i}{\pi^2 D_i^5} Q^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{8k_a(1 + f_{ci})L_i}{\pi^2 D_i^5 d_{smi}} G^2$.

In caso di tubazione a diametro costante, si ha:

$$Dp = \left(\frac{8k_a d_{sm} L}{\pi^2 D^5} + \frac{8d_{sm}}{\pi^2 D^4} \sum_{j=1}^{m} k_{cj} \right) Q^2 =$$

$$= \left(\frac{8k_a L}{\pi^2 D^5 d_{sm}} + \frac{8}{\pi^2 D^4 d_{sm}} \sum_{j=1}^{m} k_{cj} \right) G^2 =$$

$$= \frac{8k_a d_{sm}(1 + f_c)L}{\pi^2 D^5} Q^2 = \frac{8k_a(1 + f_c)L}{\pi^2 D^5 d_{sm}} G^2,$$

da cui la potenza di circolazione dissipata: $P = QDp/h$, con h rendimento globale del gruppo di pompaggio.

2 – TUBAZIONI APERTE A PIU' RAMI IN PARALLELO.

Il caso di una tubazione che presenti in un tratto più rami in parallelo, (tipici in caso si inserimento di più accessori di linea o gruppi di pompaggio), il comportamento della stessa per chiusura o apertura di uno o più di questi non appare invece, così immediato.
In un tratto di tubazione di lunghezza **L** e diametro **D** che collega due punti di un circuito fra i quali si ha una differenza di pressione **Dp**, si

ha: $Dp = I_f G^2$, da cui: $G = \sqrt{\frac{Dp}{I_f}}$, con il parametro: $I_f = \frac{8k_a(1+f_c)}{\pi^2 d_{sm}} \frac{L}{D^5}$, che assume il significato di impedenza fluidodinamica della tubazione. Supposto di collegare i punti del circuito con **n** tratti in parallelo, (**Fig.1**), ognuno di questi è attraversato da una portata G_i, tale che: $G_i = \sqrt{\frac{Dp}{I_{fi}}}$, con: $I_{fi} = \frac{8k_a(1+f_c)}{\pi^2 d_{sm}} \frac{L_i}{D_i^5}$.

La portata totale: $G = \sum_{i=1}^{n} G_i$, risulta quindi pari a:

$$G = \sqrt{Dp} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\sqrt{I_{fi}}} = \pi \sqrt{\frac{Dp d_{sm}}{8k_a(1+f_c)}} \sum_{i=1}^{n} \frac{D_i^{5/2}}{L_i^{1/2}},$$

e nel caso in cui le tubazioni abbiano la stessa geometria:

$$G = n \pi \sqrt{\frac{Dp d_{sm} D^5}{8k_a(1+f_c)L}}.$$

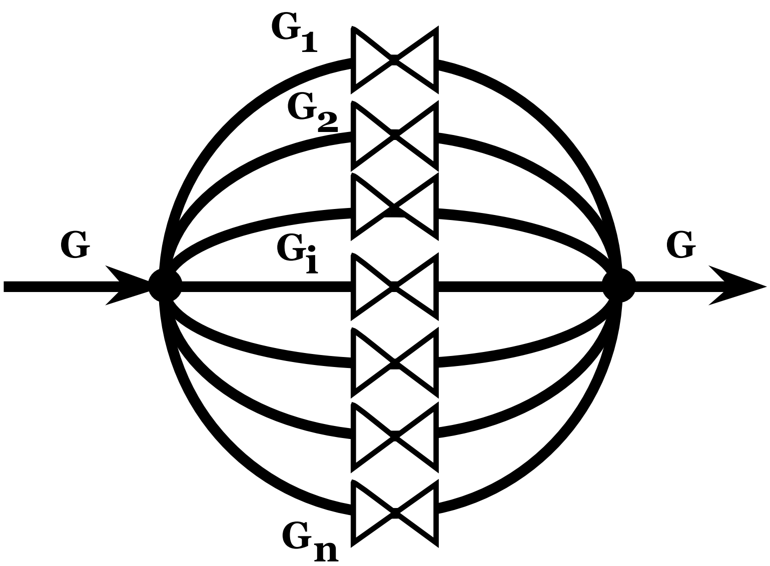

Fig .1

Il diametro di una tubazione semplice equivalente alla serie delle tubazioni in parallelo, (D_{eq}), di lunghezza L_o, si ottiene dalla relazione:

$\mathbf{G} = \sqrt{\frac{\mathbf{Dp}}{\mathbf{I_{fo}}}}$, con: $\mathbf{I_{fo}} = \frac{\mathbf{8k_a(1 + f_c)L_o}}{\pi^2 \mathbf{D_{eq}^5 d_{sm}}}$, da cui: $\frac{\mathbf{D_{eq}^{5/2}}}{\mathbf{L_o^{1/2}}} = \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{n}} \frac{\mathbf{D_i^{5/2}}}{\mathbf{L_i^{1/2}}}$, ovvero in caso di tubazioni di pari geometria: $\mathbf{D_{eq}} = \mathbf{n^{2/5}\ D}$.

La sezione di passaggio risulta pertanto: $\frac{\pi}{4}\mathbf{D_{eq}^2} = \frac{\pi}{4}\mathbf{n^{4/5}D^2}$, a fronte di quella relativa alla serie di tubazioni in parallelo: $\mathbf{n}\frac{\pi}{4}\mathbf{D^2}$, con rapporto: $\mathbf{1/n^{1/5}}$, da cui un incremento di velocità del fluido: $\mathbf{n^{1/5}}$.
Qualora in una sezione di circuito composto da **n** tubazioni in parallelo **m** di queste vengano escluse, (come nel caso di gruppi di pompaggio composti da più pompe in parallelo), a parità di salto di pressione disponibile, (o imposto), la portata totale circolante, ($\mathbf{G_m}$), diviene:

$$\mathbf{G_m} = \sqrt{\mathbf{Dp}} \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{(n-m)}} \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{\mathbf{I_{fi}}}} = \pi\sqrt{\frac{\mathbf{Dpd_{sm}}}{\mathbf{8k_a(1 + f_c)}}} \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{(n-m)}} \frac{\mathbf{D_i^{5/2}}}{\mathbf{L_i^{1/2}}},$$

con una diminuzione, (**DG**), pari a:

$$\mathbf{DG} = \pi\sqrt{\frac{\mathbf{Dpd_{sm}}}{\mathbf{8k_a(1 + f_c)}}} \sum_{\mathbf{i=(n-m+1)}}^{\mathbf{n}} \frac{\mathbf{D_i^{5/2}}}{\mathbf{L_i^{1/2}}}.$$

Risulta, quindi, un incremento di impedenza, ($\mathbf{DI_f}$), pari a:

$$\mathbf{DI_f} = \frac{\mathbf{8k_a(1 + f_c)}}{\pi^2 \mathbf{d_{sm}}} \sum_{\mathbf{i=(n-m+1)}}^{\mathbf{n}} \frac{\mathbf{L_i}}{\mathbf{D_i^5}},$$

da compensare con una pari variazione del coefficiente di perdita di uno o più organi di regolazione inseriti nel circuito, che al pari della impedenza fluidodinamica risultano coefficienti di proporzionalità fra le perdite di carico concentrate e il quadrato della portata, per mantenere la medesima portata totale.
In caso di tratti in parallelo di pari geometria, alla chiusura di **m** degli **n** rami, si ottiene una perdita di portata: $\mathbf{DG} = \mathbf{m}\,\pi\sqrt{\frac{\mathbf{Dpd_{sm}D^5}}{\mathbf{8k_a(1 + f_c)L}}}$, pari a: **(m/n)G**, ovvero proporzionale al numero dei rami esclusi e in caso di due tubazioni: **DG = 1/2 G**.

****