19
Canali e tubazioni

1 Teorema di Bernoulli per liquidi reali

Si consideri una condotta orizzontale di sezione costante (in cui quindi si verificano le ipotesi a) e b) del par. 3 cap. 20); si ha:

$$z_1 = z_2 \qquad v_1 = v_2$$

e l'equazione di Bernoulli si riduce a:

$$\frac{p}{\rho \cdot g} = \text{costante} \tag{19.1}$$

cioè la pressione si manterrebbe sempre costante anche se la condotta stessa fosse molto lunga. L'esperienza ci insegna che tale risultato è assurdo perché, se così fosse, basterebbe una piccolissima pressione iniziale per inviare il liquido a distanza infinita. L'equazione di Bernoulli è stata infatti dedotta per un fluido ideale (privo di viscosità), il che corrisponde a trascurare tutte le resistenze passive e le conseguenti dissipazioni di energia; da un punto di vista teorico, il teorema rispecchia il primo principio della dinamica ed è perfettamente lecito. Ma, in un liquido reale, la viscosità genera una forza resistente che il fluido deve vincere a spese dell'energia inizialmente posseduta; perciò la pressione iniziale tenderà a decrescere perché gradualmente assorbita dagli attriti e ciò rende la (19.1) priva di senso pratico.

a Perdite di carico continue

La dissipazione di energia dovuta all'attrito – riferita al peso unitario di liquido – viene comunemente definita **perdita di carico continua** (Y) ed espressa in metri di colonna del liquido in questione. Essa dipende essenzialmente:

- dalla velocità del liquido v;
- dall'estensione delle pareti e quindi da una dimensione della sezione R;
- dalla natura e rugosità delle pareti;
- dalla lunghezza del tratto di tubazione considerato.

Si preferisce, in genere, prescindere da quest'ultima considerazione, valutando le perdite di carico *per unità di lunghezza della condotta* con una relazione del tipo:

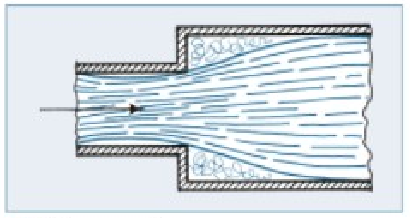
$$Y_U = K \cdot \frac{v^2}{R} \tag{19.2}$$

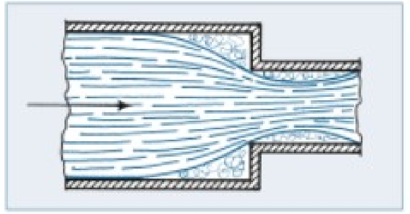
in cui:
- Y_U è la perdita di carico, espressa in metri di colonna liquida per metro di condotta o in metri/chilometro;
- K è un coefficiente da stabilire caso per caso a seconda del tipo e della natura delle pareti a contatto con il fluido.

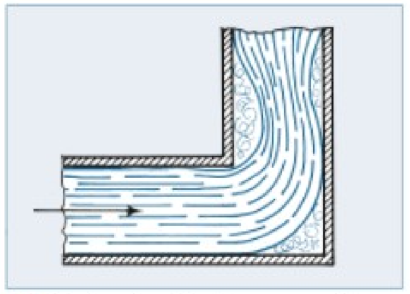
La relazione (19.2) è generica; debitamente adattata può servire per il calcolo delle perdite sia nelle condotte che nei corsi d'acqua.

b Perdite di carico accidentali

Oltre alle perdite di carico continue, qualsiasi elemento estraneo inserito nella condotta, che alteri l'andamento rettilineo della corrente, produce deviazioni, urti o moti vorticosi dei vari filetti, e comporta quindi un'ulteriore dissipazione di energia. In una rete di tubazioni sono frequenti valvole, diramazioni, gomiti e variazioni improvvise della sezione del tubo che generano una perdita di carico definita **accidentale** o **localizzata** e che indicheremo con y. Le FIGURE 19.1, 19.2, 19.3 mettono in evidenza il comportamento anomalo del fluido durante un brusco aumento di sezione, un restringimento e un gomito a 90°: le traiettorie liquide tendono a *raccordare* gli angoli vivi eventualmente presenti, lasciando dei *recessi* in cui si formano dei vortici che provocano dissipazione di energia. Per questi motivi, si cerca di evitare la presenza di gomiti troppo stretti e si raccordano con tronchetti conici le eventuali variazioni di sezione; le valvole sono in genere del tipo a saracinesca (preferibili rispetto a quelle a fungo) che tuttavia, in caso di apertura parziale possono dar luogo a sensibili perdite di carico. In quest'ultima ipotesi, vengono sostituite da valvole speciali il cui costo ne limita peraltro l'impiego a pochi casi specifici.


19.1 Allargamento brusco.


19.2 Brusco restringimento.


19.3 Gomito ad angolo retto non raccordato.

Ogni singola perdita di carico accidentale può essere calcolata mediante una relazione del tipo:

$$y = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \tag{19.3}$$

dove K è un coefficiente che tiene conto del tipo di accidentalità ed è o valutato con formule empiriche o da apposite tabelle. Anche le perdite di carico accidentali sono espresse in metri di colonna di liquido.

Il teorema di Bernoulli per un liquido reale diventa:

> L'**energia totale** posseduta dal fluido nella sezione 2) è uguale all'energia che esso possiede nella sezione 1) diminuita delle perdite di carico continue (nel tratto considerato) e delle perdite di carico accidentali.

Indicando con Y le perdite di carico continue, con $\sum y$ la sommatoria di quelle accidentali, ed esprimendo tutti i termini del trinomio di Bernoulli in metri di colonna di liquido, scriveremo:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - Y - \sum y = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \tag{19.4}$$

l'ipotesi esposta all'inizio del paragrafo comporta pertanto:

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} - Y - \sum y = \frac{p_2}{\rho \cdot g}$$

cioè la pressione tende a diminuire per effetto delle perdite di carico, fino ad annullarsi, se il condotto è sufficientemente lungo.

La relazione (19.4) è stata ottenuta supponendo che nel tronco di tubazione compreso fra le sezioni 1) e 2) il fluido scorrente non scambi energia con l'esterno; nell'ipotesi che avvenga tale scambio di energia per la presenza di una macchina idraulica inserita nel tratto considerato, essa diventa: