

**Idrodinamica****Moto nelle condotte in pressione**

Gli esercizi riguardano problemi di verifica e problemi di progetto di condotte lunghe, corte, a gravità e con sollevamento.

Per risolvere tali tipi di problemi si utilizza l'equazione generale del moto permanente:

$$H_m = H_v + \Sigma J L + \Sigma \lambda \quad (1)$$

dove:

$H_m$  = carico totale che la corrente possiede a monte [m]

$H_v$  = carico totale che la corrente possiede a valle [m]

$\Sigma J L$  = sommatoria delle perdite di carico distribuite nei diversi tronchi della condotta [m]

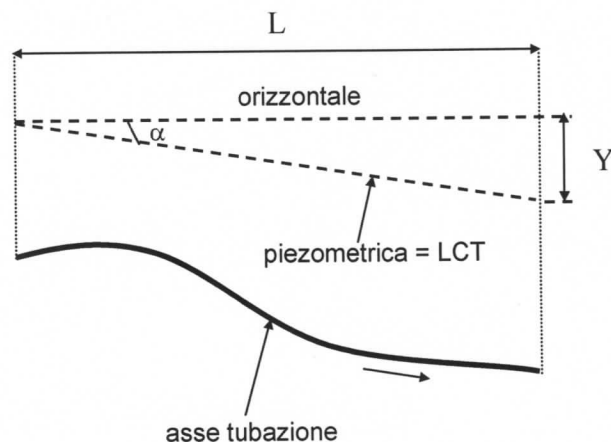
$\Sigma \lambda$  = sommatoria delle perdite di carico localizzate nei diversi tronchi della condotta [m]

**Moto nelle lunghe condotte**

Si definiscono lunghe condotte quelle tubazioni per le quali:

- le perdite di carico localizzate si possono considerare trascurabili (ossia le perdite di carico distribuite  $Y$  sono molto maggiori di quelle localizzate  $\lambda$ );
- l'altezza cinetica  $v^2/2g$  è piccola rispetto alla quota piezometrica  $z+p/\gamma$  e, quindi, si possono considerare praticamente coincidenti la linea dei carichi totali e la linea piezometrica;
- la lunghezza della condotta si può assumere pari alla sua proiezione orizzontale.

Sotto quest'ultima ipotesi la cadente piezometrica  $J$ , data dal rapporto tra le perdite di carico  $Y$  e la lunghezza  $L$  della condotta, coincide con la tangente dell'angolo  $\alpha$  che la piezometrica forma con l'orizzontale, ossia con la pendenza della piezometrica



In pratica si assume che ciò si verifichi tutte le volte in cui si verifica la relazione:

$$L > 2000 D \quad (2)$$

dove:

$L$  = lunghezza [m]

$D$  = diametro [m]

Per la determinazione della cadente piezometrica (perdite di carico unitarie),  $J$ , generalmente si adottano formule monomie del tipo:

$$J = k q^n / D^m \quad (3)$$

dove:

$q$  = portata

$D$  = diametro interno della tubazione

$k, n, m$  = coefficienti ottenuti sperimentalmente per ciascun materiale

La formula (3) rappresenta una generalizzazione dell'equazione proposta da Darcy per le condotte in ghisa:

$$J = k q^2 / D^5 \quad (4)$$

dove:

$J$  = perdite di carico unitarie [ $m \text{ km}^{-1}$ ]

$q$  =  $l \text{ s}^{-1}$

$D$  = mm

$k$  = coefficiente dipendente dallo stato delle pareti della tubazione (nuova o usata) e dal diametro

Le formule monomie più utilizzate in Italia sono:

- per le condotte di **acciaio** la formula di Scimemi-Veronese

$$J = 6.81 \cdot 10^8 q^{1.82} / D^{4.71} \quad (5)$$

con unità di misura come nella (4)

- per le condotte leggere di **alluminio zincato** la formula di Marchetti

$$J = 18.33 \cdot 10^8 q^{1.83} / D^{4.95} \quad (6)$$

con unità di misura come nella (4)

- per le condotte di **materiale plastico** (polietilene PE e polivinilcloruro PVC) la formula di De Marchi-Marchetti:

$$J = 9.24 \cdot 10^8 q^{1.81} / D^{4.80} \quad (7)$$

con unità di misura come nella (4)

oppure la formula di Williams-Hazen:

$$J = 1.21 \cdot 10^{10} (q/CW)^{1.852} / D^{4.87} \quad (8)$$

dove:

$J$  =  $m \text{ m}^{-1}$

$q$  e  $D$  come nella (4)

$CW$  = coefficiente dipendente dal diametro, pari a 130 ( $D = 14-15 \text{ mm}$ ), 140 ( $D = 18-19 \text{ mm}$ ) o 150 ( $D > 25-27 \text{ mm}$ )

Nella tabella 1 si riportano i diametri commerciali ( $DN$ ) ed i diametri interni ( $D$ ) di tubazioni in acciaio.

Tabella 1 - Diametri commerciali ( $DN$ ) e diametri interni ( $D$ ) di tubazioni in acciaio.

$DN$ [mm]	50	60	70	80	90	100	125	150
$D$ [mm]	51	61	69.5	82.5	91	100.5	125.5	151

$DN$ [mm]	175	200	225	250	275	300	350	400
$D$ [mm]	182	206.5	230.5	256	280.5	306.5	355.5	406

Per le condotte in materiale plastico (PVC e PE), noto il diametro commerciale  $DN$  [mm], di solito corrispondente con il diametro esterno, è possibile calcolare il diametro interno  $D$  [mm] come:

$$D = DN - 2s \quad (9)$$

dove  $s$  = spessore, mm, calcolabile come:

$$s = \frac{PN \cdot DN}{2\sigma + PN} \quad (10)$$

dove:

$PN$  = pressione nominale, ossia pressione cui resiste il materiale in esercizio corrente [bar]

$\sigma$  = coefficiente di resistenza a trazione [ $\text{kg cm}^{-2}$ ] pari a 100 per il PVC, 52 per il PE alta densità (ad) e 32 per il PE bassa densità (bd).

Qualora lo spessore calcolato sia minore di 1.6 mm  $s$  si pone pari a tale valore.

Nella tabella 2 si riportano i diametri commerciali di PVC, PE ad e PE bd.

Tabella 2 - Diametri commerciali delle condotte in PVC, PEad e PEbd

PEbd (PN4, PN6 e PN10)	PEad (PN4, PN6, PN10, PN16)	PVC (PN6, PN10 e PN16)	
16*	16**	40#	225
20*	20°	50#	280
25	25°	63	315
32	32	75	
40	40	90	
50	50	110	
63	63	125	
75	75	140	
90	90	150	
110	110	180	

\* solo PN 6 e PN10  
 \*\* solo PN10 e PN16  
 ° solo PN6, PN10 e PN16  
 # = solo PN6 e a richiesta

### Moto nelle condotte corte

Nell'equazione del moto, oltre che delle perdite di carico distribuite si deve tenere conto anche delle perdite di carico localizzate.

L'equazione del moto (equazione di Bernoulli generalizzata) applicata tra due punti, in

due sezioni della corrente nelle quali sono note le quote piezometriche, può essere scritta:

$$H_m = H_v + \sum_{i=1}^N \lambda_i + \sum_{i=1}^N J_i \cdot L_i \quad \text{avendo indicato con:}$$

$$H_m = Z_m + \frac{P_m}{\gamma} + \frac{V_m^2}{2g}$$

il carico totale nella sezione di monte, dove:  
 $Z_m$  è la quota geometrica (rispetto al piano di riferimento fissato)  
 $P_m/\gamma$  è l'altezza piezometrica  
 $V_m^2/2g$  è l'altezza cinetica a monte;

$$H_v = Z_v + \frac{P_v}{\gamma} + \frac{V_v^2}{2g}$$

il carico totale nella sezione di valle, dove:  
 $Z_v$  è la quota geometrica  
 $P_v/\gamma$  è l'altezza piezometrica  
 $V_v^2/2g$  è l'altezza cinetica del punto di valle;

$\lambda$  le **perdite localizzate** che possono essere del tipo  $\lambda_i = \alpha v^2/2g$

a) perdita di imbocco (cioè che si verifica in corrispondenza della sezione d'imbocco) pari a:

$$\lambda_{imb} = 0.5 v^2/2g$$

b) perdita di Borda (che si verifica in corrispondenza di un brusco allargamento di sezione, tipo lo sbocco in una vasca) ed è pari a:

$$\lambda_{sb} = (v_2^2 - v_1^2)/2g \quad \text{essendo } v_1 \text{ e } v_2 \text{ le velocità nelle due sezioni considerate;}$$

c) perdita per gomiti, curve ecc. pari a:

$$\alpha v^2/2g \quad \text{essendo } \alpha \text{ un coefficiente funzione dell'angolo di deviazione dell'asse e del diametro della condotta;}$$

$J_i \cdot L_i$  la **perdita continua** nel tronco  $i$ -esimo di condotta a sezione costante.

### Problemi di verifica e di progetto

Il **problema di verifica** si presenta quando di un sistema di condotte esistente si conoscono tutte le caratteristiche fisiche (tipi di materiale, diametri, scabrezza, lunghezze) e si vogliono determinare le portate o le perdite di carico.

Il **problema di progetto** si presenta quando si richiede la determinazione dei diametri da assegnare a ciascun tronco di una rete di cui siano assegnate le portate

e/o le quote piezometriche.

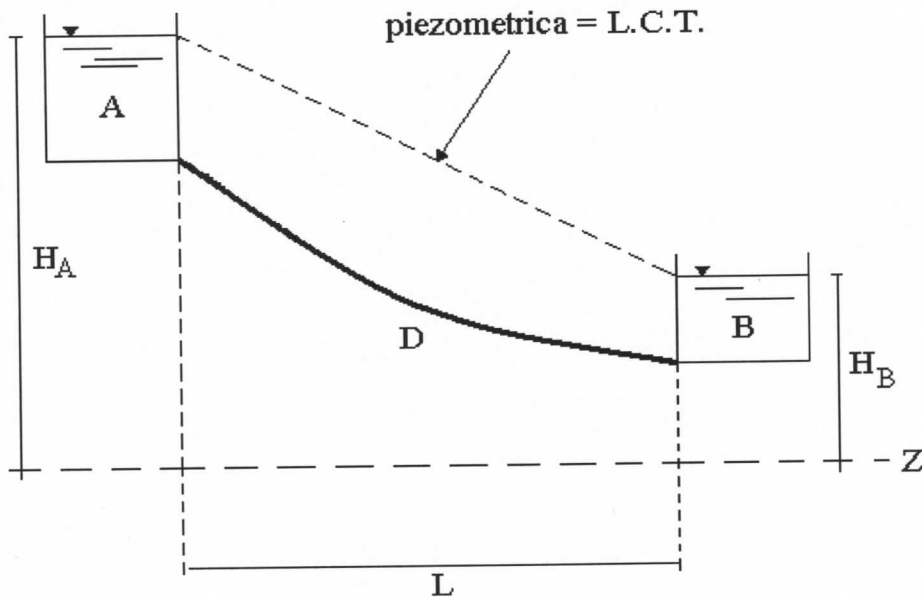
### **Condotte a gravità e condotte con sollevamento**

Si parla di **condotte a gravità** quando l'energia disponibile è di tipo naturale (vasca in quota).

Si parla di **condotte con sollevamento** quando l'energia è fornita da un impianto di sollevamento (pompa).

### IDRODINAMICA- ESERCIZIO N.1- Verifica di una lunga condotta a gravità, monodiametrica, ad unico sbocco finale.

Condotta semplice che collega due vasche (per esempio, l'opera di presa di una sorgente ed il serbatoio di un centro aziendale, ovvero la vasca di accumulo ed il pozzetto di testa di una rete irrigua aziendale)



Nel caso elementare della verifica di una condotta semplice di lunghezza  $L$  ad unico diametro  $D$ , l'incognita  $q$  (portata) si deduce dall'applicazione dell'equazione del moto applicata tra le sezioni estreme di monte e di valle della corrente idrica che defluisce tra i serbatoi. In formule:

$$H_m = H_v + J \cdot L$$

$$\text{per } J \cdot L = Y$$

$$H_m - H_v = Y = J \cdot L$$

da cui:

$$J = Y/L$$

Sostituendo alla cadente  $J$  l'espressione (3), si ottiene:

$$J = k q^n / D^m$$

dalla quale è possibile ricavare l'incognita  $q$ .

Il caso in esame si risolve nel modo seguente.

L'acquedotto è costituito da una tubazione interrata in PVC di fissate caratteristiche.

Siano dati:

Variabile	Valore	Unità di misura	
$H_A$	<u>300</u>	[m]	quota del pelo libero del serbatoio A rispetto ad un piano di riferimento orizzontale ( $z=0$ )
$H_B$	<u>250</u>	[m]	quota del pelo libero del serbatoio B rispetto al piano di riferimento orizzontale fissato in precedenza
$L$	<u>2000</u>	[m]	lunghezza della condotta
$DN$	<u>110</u>	[mm]	diametro della condotta
$PN$	<u>6</u>	[bar]	pressione nominale della tubazione
$\sigma$	<u>100</u>	[kg cm <sup>-2</sup> ]	coefficiente di resistenza a trazione del PVC

Si ricorda che, trattandosi di condotte in PVC, l'espressione della cadente  $J$  secondo De Marchi-Marchetti si scrive:

$$J = 9.24 \cdot 10^8 q^{1.81} / D^{4.80}$$

Da tenere presente che  $J$ ,  $q$  e  $D$  sono espressi rispettivamente in m km<sup>-1</sup>, l s<sup>-1</sup> e mm.

Il caso in esame si risolve applicando le apposite equazioni del moto delle correnti in pressione di liquidi reali. L'equazione del moto (equazione di Bernoulli generalizzata) applicata tra un punto a monte posto sul pelo libero del serbatoio A, e un punto a valle posto sul pelo libero del serbatoio B, si può scrivere:

$$H_A - H_B = Y = 300 - 250 = \text{m} \quad \mathbf{50}$$

$$J = Y / (L/1000) = 50 / (2000/1000) = \text{m km}^{-1} \quad \mathbf{25}$$

poiché:

$$J = 9.24 \cdot 10^8 q^{1.81} / D^{4.80}$$

che esplicitata rispetto a  $q$  diventa:

$$q = [J \cdot D^{4.80} / (9.24 \cdot 10^8)]^{(1/1.81)}$$

$D$  è il diametro interno, che occorre calcolare noto il diametro nominale  $DN$  e lo spessore  $s$ :

$$D = DN - 2s = 110 - (2 \cdot 3.20) = \quad \mathbf{103.59 \text{ [mm]}}$$

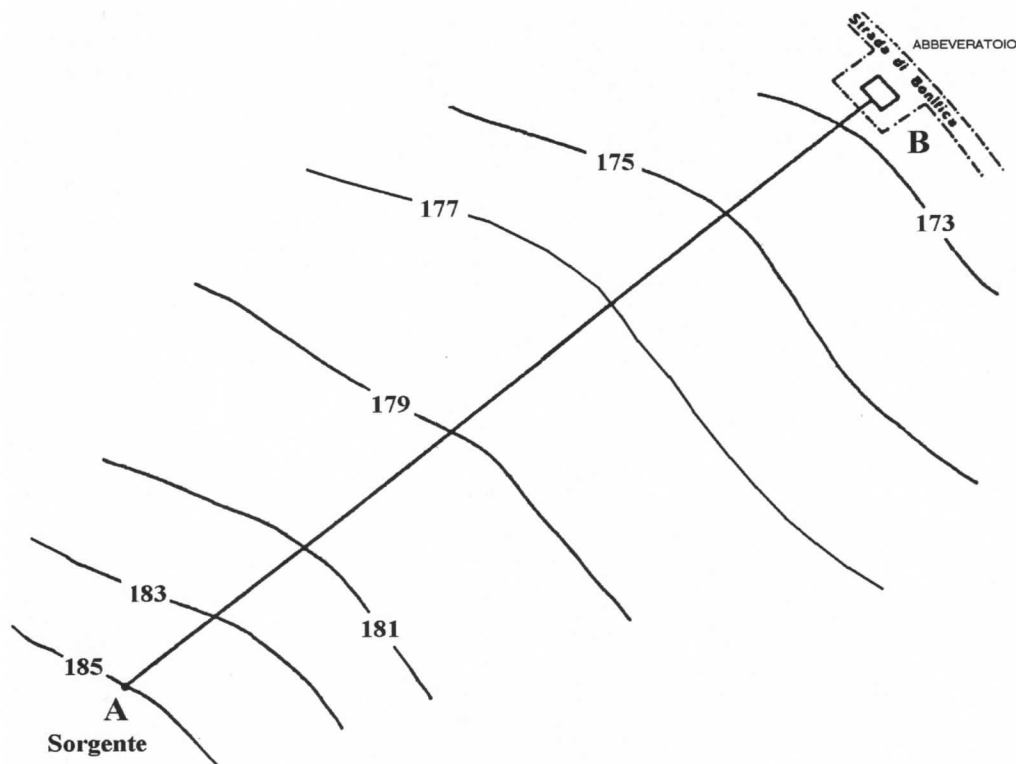
$$\text{per } s = PN \cdot DN / (2\sigma + PN) = 6 \cdot 110 / (2 \cdot 100 + 6) = \quad \mathbf{3.20 \text{ [mm]}}$$

$$q = (25 \cdot 103.59^{4.80} / 9.24 \cdot 10^8)^{1/1.81} \quad \mathbf{14.57 \text{ [l s}^{-1}\text{]}} \quad q \text{ [m}^3 \text{s}^{-1}\text{]} = \mathbf{0.015}$$

La linea dei carichi totali, coincidente con la piezometrica, avrà l'andamento indicato nella FIGURA.

## IDRODINAMICA - ESERCIZIO N. 4 - Progettazione di una condotta ad unico sbocco finale a gravità

Condotta di alimentazione da una sorgente ad un abbeveratoio (FIGURA 1).



Determinare il diametro commerciale della condotta e tracciare la piezometrica.

Trattasi di un problema di dimensionamento delle lunghe condotte ( $L > 2000 D$ ).

Prima ancora di determinare il diametro è necessario scegliere il percorso della condotta ed il tipo di materiale (acciaio, polietilene, PVC, ecc.) da adottare. Nella suddetta scelta intervengono principalmente le condizioni geologiche dei terreni da attraversare nonché considerazioni di carattere economico.

Generalmente i dati di progetto sono il carico di monte e di valle nonché le portate che si vogliono fare circolare.

Di seguito viene richiamato e risolto un caso tecnico ricorrente in cui si pone il problema del dimensionamento di una lunga condotta in pressione. A tal proposito si ricordi che: si procederà al dimensionamento del diametro applicando l'equazione del moto tra la sezione di monte e quella di valle. Cioè:

$$H_m - H_v = Y = J \cdot L$$

$$J = Y/L$$

$$J = k Q^n / D^m$$

Dalle relazioni scritte si ricava un diametro da adottare che possiamo denominare teorico. Se il diametro teorico determinato non esiste in commercio si possono adottare le due soluzioni nel seguito denominate a) e b).



**a) Condotta realizzata in unico diametro, pari al diametro commerciale immediatamente superiore a quello teorico**

Tale soluzione è economicamente conveniente nel caso di modeste lunghezze e nel caso in cui esiste un diametro commerciale appena superiore a quello teorico. In tali casi è necessario dissipare il carico eccedente  $\Delta H$  mediante l'inserimento di una valvola di regolazione.

$$\Delta H = Y_t - Y_c$$

dove

$Y_t$  = perdite di carico nel diametro teorico [m]

$Y_c$  = perdite di carico nel diametro commerciale [m]

La dissipazione è necessaria affinché non si prelevi dal serbatoio di presa una portata superiore a quella stabilita (ipotesi di serbatoio di presa molto grande) oppure non si stabilisca, quando la portata di progetto sia la massima disponibile (ipotesi di piccolo serbatoio di carico alimentato da una sorgente con una portata pari a quella di progetto), una condizione di movimento per cui un primo tratto della condotta funzioni a canaletta invece che in pressione con un effetto, tecnicamente temibile, di trascinamento d'aria.

**b) Condotta realizzata in due tratti di diametro differente.**

Precisamente si adotteranno i due diametri commerciali immediatamente superiore ( $D_1$ ) ed inferiore ( $D_2$ ) a quello teorico ( $D$ ). Sarà quindi necessario determinare la lunghezza  $L_1$  del tronco di condotta di diametro  $D_1$  e quella  $L_2$  relativa al tronco di diametro  $D_2$ .

La determinazione delle lunghezze  $L_1$  e  $L_2$  deve soddisfare alla condizione che, nei due tronchi di condotta, la somma delle perdite di carico continue risulti pari alla differenza tra il carico totale di monte e di valle. Tale relazione si traduce analiticamente nella seguente espressione:

$$H_m - H_v = Y = \sum_{i=1}^N J_i \cdot L_i = J_1 \cdot L_1 + J_2 \cdot L_2 = k \frac{q^n}{D_1^m} L_1 + k \frac{q^n}{D_2^m} L_2$$

dove con  $N$  si è indicato il numero di tronchi che, nel caso particolare, è pari a 2.

A tale espressione va associata una seconda relazione:

$$L = L_1 + L_2$$

Risolvendo il sistema delle due equazioni a due incognite si ricava il valore di queste ultime. Dal punto di vista idraulico, l'adozione del diametro più grande nel primo o nel secondo tronco è del tutto indifferente (a meno dei casi in cui la corrente idrica risulta essere in depressione).

La soluzione del caso proposto passa attraverso la seguente schematizzazione, e si risolve come è di seguito indicato.

Assegnati la quota dei due peli liberi nella sorgente A e nell'abbeveratoio B, la lunghezza della condotta  $L$  ed il tipo di materiale della condotta, si determini il diametro della condotta per fissata portata  $q$  da convogliare.

**Caso a)**

Siano dati:

Variabile	Valore	Unità di misura	
$H_A$	<u>185</u>	[m]	(quota del pelo libero del serbatoio A rispetto ad un piano di riferimento orizzontale - Vedi FIGURA 2)
$H_B$	<u>172</u>	[m]	(quota del pelo libero dell'abbeveratoio B rispetto al piano di riferimento orizzontale fissato in precedenza)
$L$	<u>2.0</u>	[km]	(proiezione della lunghezza della condotta sul piano orizzontale)

$q = \underline{3.9}$	[l s <sup>-1</sup> ]	(portata da convogliare)
materiale = <u>PVC</u>		polivinilcloruro
PN = <u>6</u>	[bar]	pressione nominale della tubazione
$\sigma = \underline{100}$	[kg cm <sup>-2</sup> ]	coefficiente di resistenza a trazione

Applicando l'equazione del moto tra A e B si ottiene:

$$H_A - H_B = Y = J \cdot L \quad \text{quindi}$$

$$J = Y/L = (185 - 172)/2 = \underline{6.5} \quad [\text{m km}^{-1}]$$

Applicando la formula di DE MARCHI-MARCHETTI si ottiene un valore del diametro teorico  $D_T$  pari a:

$$D_T = \left( 9.24 \cdot 10^8 \frac{q^{1.81}}{J} \right)^{1/4.8} = \underline{83.4} \quad [\text{mm}]$$

Con riferimento alla TABELLA 2 dei richiami teorici, il diametro commerciale più vicino è il DN 90 mm; proviamo a calcolare il diametro interno:

$$\text{per DN} = \underline{90} \quad [\text{mm}]$$

$$D = DN - 2s = 90 - (2 \cdot s) = \underline{84.76} \quad [\text{mm}]$$

$$\text{per } s = \frac{PN \cdot DN}{2 \sigma + PN} = 6 \cdot 90 / (2 \cdot 100 + 6) = \underline{2.62} \quad [\text{mm}]$$

Il diametro commerciale 90 mm è molto vicino al diametro teorico, quindi la condotta si può realizzare in un unico diametro (caso a)

Il carico da dissipare sarà pari a:

$$\Delta H = Y_t - Y_c = Y_t - J_c \cdot L = (185 - 172) - (9.24 \cdot 10^8 \cdot 3.9^{1.81} / 84.76^{4.8}) \cdot 2 = m \quad \underline{0.94}$$

### Caso b)

Siano dati:

Variabile	Valore	Unità di misura	
$H_A$	<u>180</u>	[m]	(quota del pelo libero del serbatoio A rispetto ad un piano di riferimento orizzontale - Vedi FIGURA 2)
$H_B$	<u>172</u>	[m]	(quota del pelo libero dell'abbeveratoio B rispetto al piano di riferimento orizzontale fissato in precedenza)
$L$	<u>2.0</u>	[km]	(proiezione della lunghezza della condotta sul piano orizzontale)
$q$	<u>1.7</u>	[l s <sup>-1</sup> ]	(portata da convogliare)
materiale =	<u>PVC</u>		polivinilcloruro
PN =	<u>6</u>	[bar]	pressione nominale della tubazione
$\sigma$ =	<u>100</u>	[kg cm <sup>-2</sup> ]	coefficiente di resistenza a trazione

$$H_A - H_B = Y = J \cdot L \quad \text{quindi}$$

$$J = Y/L = (180 - 172)/2 = \underline{4.0} \quad [\text{m km}^{-1}]$$

Applicando la formula di DE MARCHI-MARCHETTI si ottiene un valore del diametro teorico  $D_T$  pari a:

$$D_T = \left( 9.24 \cdot 10^8 \frac{q^{1.81}}{J} \right)^{1/4.8} = \underline{\underline{67.5}} \quad [\text{mm}]$$

Con riferimento alla TABELLA 2 dei richiami teorici si deduce che tale diametro è compreso tra i due diametri commerciali  $DN_1$  e  $DN_2$  che assumono i seguenti valori:

$$DN_1 = \underline{\underline{63}} \quad [\text{mm}]$$

$$DN_2 = \underline{\underline{75}} \quad [\text{mm}]$$

i cui diametri interni sono:

$$D_1 = DN_1 - 2s = 63 - (2 \cdot s) = \underline{\underline{59.33}} \quad [\text{mm}]$$

$$\text{per } s = PN DN / (2 \sigma + PN) = 6 \cdot 63 / (2 \cdot 100 + 6) = \underline{\underline{1.83}} \quad [\text{mm}]$$

$$D_2 = DN_2 - 2s = 75 - (2 \cdot s) = \underline{\underline{70.63}} \quad [\text{mm}]$$

$$\text{per } s = PN DN / (2 \sigma + PN) = 6 \cdot 75 / (2 \cdot 100 + 6) = \underline{\underline{2.18}} \quad [\text{mm}]$$

I valori delle corrispondenti cadenti piezometriche  $J_1$  e  $J_2$ , per la portata assegnata  $q$ , risultano:

$$J_1 = 9.24 \cdot 10^8 \cdot 1.7^{1.81} / 59.33^{4.8} = \underline{\underline{7.43}} \quad [\text{m km}^{-1}]$$

$$J_2 = 9.24 \cdot 10^8 \cdot 1.7^{1.81} / 70.63^{4.8} = \underline{\underline{3.22}} \quad [\text{m km}^{-1}]$$

La determinazione delle lunghezze  $L_1$  e  $L_2$  si può effettuare risolvendo il seguente sistema di due equazioni:

$$\begin{cases} H_A - H_B = (J_1 \cdot L_1) + (J_2 \cdot L_2) \\ L = L_1 + L_2 \end{cases}$$

La risoluzione di tale sistema con il metodo della sostituzione conduce alla seguente espressione per il calcolo di  $L_2$ :

per

$$L_1 = L - L_2$$

$$H_A - H_B = J_1 (L - L_2) + J_2 L_2$$

$$H_A - H_B = J_1 L - J_1 L_2 + J_2 L_2$$

$$L_2 = \frac{(J_1 \cdot L) - H_A + H_B}{J_1 - J_2} = \underline{\underline{1.63}} \quad [\text{km}]$$

da cui, utilizzando la seconda equazione del sistema, è immediato il calcolo di  $L_1$ :

$$L_1 = L - L_2 = \underline{\underline{0.37}} \quad [\text{km}]$$

Analogamente si possono risolvere altri casi tecnici nei quali ricorre la determinazione del diametro da adottare in una lunga condotta.

Le linee piezometriche, coincidenti con quelle dei carichi totali, per i due casi di condotta ad unico diametro e di condotta di due diametri, sono riportate nella FIGURA 2 riportata nella pagina successiva.

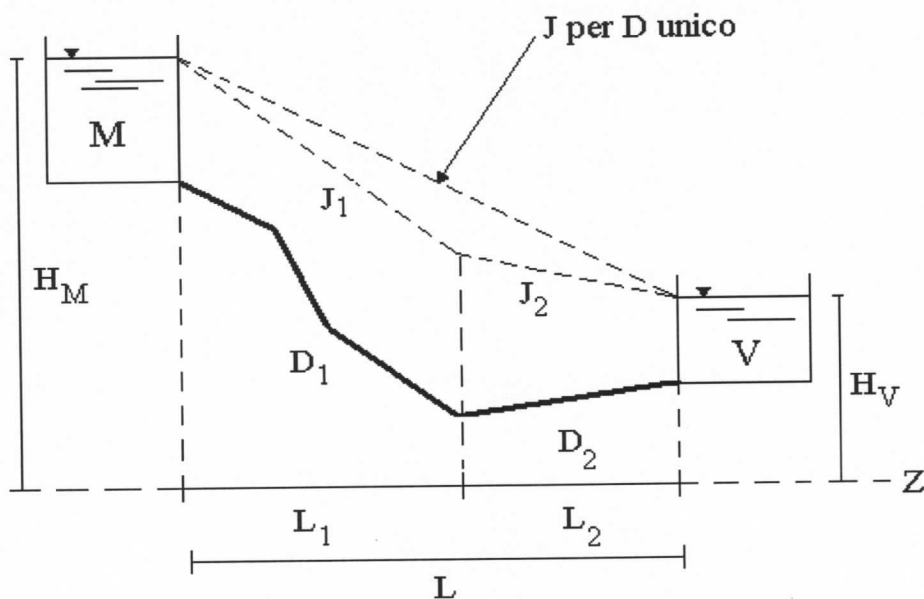
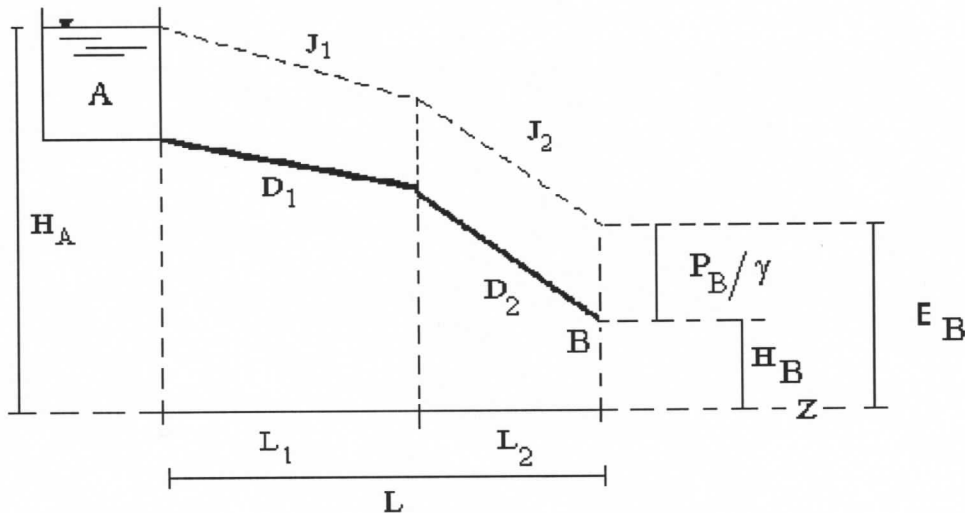


FIGURA 2 - Linee piezometriche nei due casi.

## IDRODINAMICA - ESERCIZIO N. 5 - Progettazione di una condotta ad unico sbocco finale a gravità, con pressione a valle maggiore della pressione atmosferica

Condotta di alimentazione da una vasca di accumulo aziendale A ad un impianto di irrigazione B.



Determinare il diametro teorico  $D$  ed il diametro commerciale della condotta schematizzata in figura qualora si richieda una pressione di esercizio nel punto B pari a  $P_B$ . Siano note le caratteristiche del materiale costituente la condotta (acciaio), la portata  $Q$  e le quote del serbatoio A e del punto B.

Siano dati:

Variabile	Valore	Unità di misura	
$H_A$	<u>160</u>	[m]	(quota del pelo libero del serbatoio A rispetto ad un piano di riferimento orizzontale)
$H_B$	<u>50</u>	[m]	(quota del punto B rispetto al piano di riferimento orizzontale fissato in precedenza)
$L$	<u>2.4</u>	[km]	(lunghezza della condotta nel tratto AB)
$q$	<u>15</u>	[l s <sup>-1</sup> ]	(portata di progetto)
$P_B$	<u>25</u>	[m]	(pressione di esercizio nel punto B)

Si ricorda che, trattandosi di condotte in acciaio, l'espressione della cadente  $J$  (parametro che rappresenta, da un punto di vista energetico, la perdita di energia per unità di peso del liquido e per unità di percorso e, da un punto di vista geometrico, l'abbassamento della linea dei carichi totali per unità di percorso), secondo SCIMEMI-VERONESE, si scrive:

$$J = k Q^n / D^m$$

avendo indicato con  $D$  il diametro della condotta;  
con  $k$ ,  $m$  ed  $n$  i coefficienti caratteristici dell'espressione che assumono i seguenti valori:

$$k = \underline{681000000} \quad m = \underline{4.71} \quad n = \underline{1.82}$$

Il carico energetico disponibile nel punto A è pari a:  $E_A = H_A = \underline{160}$  [m]

Il carico nel punto B sarà invece:  $E_B = H_B + P_B/\gamma = \underline{75}$  [m]

avendo trascurato il termine cinetico  $V_B^2/2g$  in quanto in presenza di lunga condotta.

Applicando il teorema di Bernoulli in forma generalizzata dal punto A al punto B possiamo scrivere:

$$E_A - E_B = Y = J \cdot L \quad J = Y/L = (160 - 75)/2.4 = \underline{35} \quad [\text{m km}^{-1}]$$

Essendo la condotta in acciaio, si ricava il diametro teorico  $D_T$  invertendo la formula di Scimemi-Veronese:

$$D_T = (6.81 \cdot 10^8 Q^{1.82}/J)^{(1/4.71)} = (6.81 \cdot 10^8 \cdot 15^{1.82}/34)^{(1/4.71)} = \underline{100.2} \quad [\text{mm}]$$

Con riferimento alla TABELLA 1 (dei Richiami teorici) si deduce che tale diametro è molto vicino al DN 100 mm (diametro interno 100.5 mm); sicchè è possibile realizzare la condotta in un unico diametro (caso a dell'esercizio n. 4).

Per il diametro interno commerciale paria a  $\underline{100.5}$  [mm] il carico da dissipare sarà pari a:

$$\Delta H = Y_t - Y_c = Y_t - J_c \cdot L = (160 - 75) - (6.81 \cdot 10^8 \cdot 15^{1.82}/100.5^{4.71}) \cdot 2.4 = m \quad \underline{1.12}$$

Se non vengono inseriti meccanismi dissipatori dell'energia in eccesso (1.12 m) la pressione nel punto B sarà pari a 26.12 m invece che a 25 m.

L'energia in eccesso può essere dissipata o tramite regolatore di pressione o tramite una saracinesca parzialmente chiusa in maniera da provocare una perdita di carico localizzata pari a 1.12 m.