

# **INDICE**

*Premessa*

## **Capitolo 5 – Problemi di verifica di brevi condotte**

5.1 Premesse e definizioni	<b>9</b>
5.1.1 Dispositivi di imbocco e per il restringimento di sezione	13
5.1.2 Dispositivi per lo sbocco e l'allargamento di sezione	19
5.1.3 Cambio di direzione	28
5.1.4 Giunzioni	32
5.1.5 Dispositivi di intercettazione e controllo	41
5.2 Esercizi proposti	<b>51</b>
5.3 Svolgimento degli esercizi proposti	<b>57</b>

## **Capitolo 6 – Correnti a pelo libero in moto permanente**

6.1 Premesse e definizioni	<b>87</b>
6.2 Esercizi proposti	<b>107</b>
6.3 Svolgimento degli esercizi proposti	<b>117</b>

*Appendice B – Tabelle e grafici (II)* **163**

*Indice degli esercizi e delle tabelle* **167**

## PROBLEMI DI VERIFICA DI BREVI CONDOTTE

### 5.1 Premesse e definizioni

Nel capitolo 3, dedicato alle *lunghe* condotte in pressione, si è accennato alla opportunità, se il rapporto fra la lunghezza e il diametro interno della condotta,  $L/D$ , risulta inferiore a 1000, di considerare, oltre a quelle *continue*, anche le *dissipazioni localizzate di energia* qualora, ovviamente, nel sistema considerato siano presenti delle *singolarità*.

In corrispondenza di una singolarità – sia essa un dispositivo di imbocco o sbocco, una variazione di sezione più o meno graduale, una curva o un gomito, un organo di regolazione o di intercettazione – viene meno, per la presenza di superfici curve e spigoli, la gradualità della corrente. L'interazione della corrente con la singolarità determina, per distacco, la formazione di un *getto sommerso*. In un primo tratto a valle la cui lunghezza dipende dalle caratteristiche della singolarità – fino cioè alla cosiddetta *vena contratta* – la sezione del getto si riduce progressivamente con conseguente incremento della velocità media e riduzione della pressione. A valle della vena contratta, quindi, il getto si espande fino ad occupare l'intera sezione disponibile. In tale secondo tronco, caratterizzato da velocità decrescenti e da un gradiente positivo della pressione, si osserva la presenza, ai lati del getto nella cosiddetta *zona di separazione della corrente*, di strutture vorticosche che sottraggono energia alla corrente. Per tale motivo la gran parte della perdita di energia localizzata si verifica nel menzionato tratto di espansione del getto sommerso mentre quelle che si determinano nel primo tratto sono prevalentemente di tipo continuo e, quindi, in genere trascurabili per la sua brevità. Tale meccanismo, legato anche al diverso comportamento dello strato limite alla parete in ambiente confinato in dipendenza del segno del gradiente di pressione, ha trovato piena conferma nei risultati delle esperienze relative al *brusco allargamento di sezione* (Fig. 5.1) e alla relativa interpretazione mediante l'equazione globale dell'equilibrio dinamico. Quest'ultima conduce alla seguente espressione della relativa perdita di carico localizzata,  $\zeta_{ba}$ :

$$\zeta_{ba} = \left( \frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 \frac{V_2^2}{2g} = \chi_{ba} \frac{V_2^2}{2g} \quad (5.1)$$

in cui  $A_2$  rappresenta l'area della sezione di diametro  $D_2$ ,  $A_1$  quella della sezione di diametro  $D_1$  e il coefficiente  $\chi_{ba}$  porta in conto la geometria della singolarità in relazione alla velocità media di portata scelta quale velocità di riferimento.

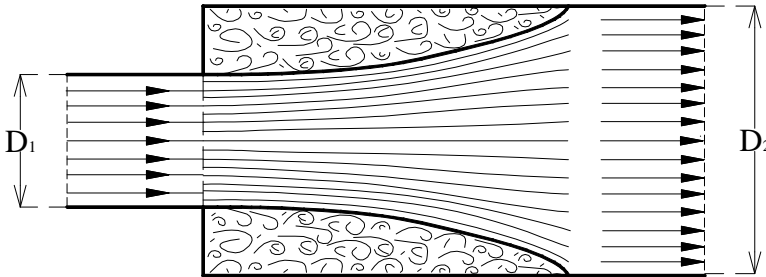


Fig. 5.1 – Schematizzazione del *getto sommerso* nel caso di brusco allargamento di sezione.

Per la generica singolarità, la relativa dissipazione localizzata di energia,  $\zeta_i$ , viene di solito espressa mediante una relazione di struttura analoga alla (5.1), definendo opportunamente sia il coefficiente  $\chi_i$  sia la velocità media di riferimento. Le esperienze condotte per la determinazione del coefficiente  $\chi_i$  ne hanno evidenziato la dipendenza, oltre che dalla geometria della singolarità, anche da altri parametri quali, in particolare per le applicazioni che si considerano in questa sede, la distribuzione delle velocità nella sezione iniziale, il regime di moto, ossia il numero di Reynolds, e la scabrezza.

Nel caso di condotte *brevi*, quindi, la dissipazione di energia,  $\Delta E_{1,2}$ , che si verifica fra due sezioni 1 e 2, poste a distanza  $l$ , al deflusso della portata  $Q$ , può essere ancora valutata mediante l'equazione, già introdotta nel capitolo dedicato alle lunghe condotte:

$$\Delta E_{1,2} = \Delta E_c + \Delta E_{lc} = \int_0^l J \, ds + \sum_{i=1}^N \zeta_i \quad (5.2)$$

In questo caso, però, il termine  $E_{lc}$  non può essere trascurato: nella (5.2), oltre al termine  $J$  delle perdite di carico continue, che determinano la  $\Delta E_c$ , sono infatti presenti  $N$  termini  $\zeta_i$ , ciascuno dei quali relativo ad una delle singolarità presenti nel tronco di corrente considerato, che danno luogo alla  $\Delta E_{lc}$ .

Qualora il percorso tra le sezioni 1 e 2 comprenda, oltre alle  $N$  singolarità,  $K$  condotte di lunghezza  $L_k$  in cui il moto possa essere considerato uniforme, la (5.2) si trasforma nella:

$$\Delta E_{1,2} = \sum_{i=1}^K J_k L_k + \sum_{i=1}^N \zeta_i = \sum_{i=1}^K r_k Q^2 + \sum_{i=1}^N \chi_i \frac{Q_i^2}{2gA_i^2} \quad (5.2^I)$$

Nel caso in cui condotte e singolarità siano attraversate da una medesima portata, l'equazione precedente si semplifica ulteriormente nella:

$$\Delta E_{1,2} = \left( \sum_{i=1}^K r_k + \sum_{i=1}^N \frac{\chi_i}{2gA_i^2} \right) Q^2 \quad (5.2^{II})$$

Con riferimento a problemi di verifica in brevi condotte, nel presente capitolo, l'attenzione è rivolta all'analisi dei fenomeni dissipativi localizzati determinati dalla presenza di singolarità. A tale riguardo, per alcune situazioni di interesse impiantistico e a condizioni di moto turbolento (Tab. 5.1), sono forniti elementi utili per la valutazione delle connesse  $\zeta_i$ <sup>[5.1]</sup>. Per quanto concerne invece le dissipazioni continue di energia comunque presenti in alcuni tronchi interessati da discontinuità, queste, quando non sono inglobate in quelle localizzate, sono di

---

[5.1] Poiché negli ultimi anni le ricerche sperimentali aventi come obiettivo la caratterizzazione di singolarità e dispositivi sono molto diminuite rispetto al passato, si può ancor oggi ritenere che l'opera di I.E. Idel'cik "*Spravochnik po guidravliticheskim soprotivleniam*", pubblicata in russo nel 1960, rappresenti un valido strumento per la progettazione e verifica delle brevi condotte. Tale opera è stata tradotta sia in francese (*Memento des pertes de charge*, Editions Eyrolles, Paris, Francia, 1986) sia in inglese (*Handbook of hydraulic resistance*, Hemisphere Publishing Corp., New York, N.Y., 1986): entrambe le versioni, però, sono di difficile reperibilità sul mercato. Salvo ove diversamente indicato, i grafici e le tabelle riportati nel presente capitolo, pur modificati e adattati alle specifiche finalità, sono tratti dalla menzionata opera di Idel'cik.

norma trascurabili. In alcuni casi, per la loro valutazione, sono proposte tecniche di calcolo basate sull'estensione delle formule di resistenza valide in moto uniforme. Nei diagrammi di seguito riportati, i dati sperimentali – rappresentati con un cerchio pieno – sono raccordati con linee a tratti; i risultati ottenuti dall'impiego di relazioni analitiche sono invece indicati con linee continue.

Tab. 5.1 – Dispositivi considerati per la valutazione delle relative dissipazioni localizzate di energia.

<b>Finalità del dispositivo</b>	<b>Tipo</b>
Imbocco e restringimento di sezione	brusco restringimento
	raccordo con convergente curvilineo
	raccordo con convergente conico
	raccordo interno con convergente curvilineo
Sbocco e allargamento di sezione	diffusore conico
	diffusore conico tronco
	sbocco con diffusore conico
Cambio di direzione	curva con raggio di curvatura costante
	gomito
Immissioni e derivazioni	combinazione di portate con portata globale in un ramo diretto
	ripartizione di portate con portata globale in un ramo diretto
	combinazione di portate con portata globale nel ramo laterale
	ripartizione di portate con portata globale nel ramo laterale
Intercettazione e controllo	saracinesca a corpo piatto
	valvola a farfalla
	valvola a sfera

### 5.1.1 Dispositivi di imbocco e per il restringimento di sezione

Come già menzionato, le caratteristiche della *zona di separazione della corrente* dipendono dalla geometria della singolarità. Nella Fig. 5.2 sono riportate, a titolo di esempio, due possibili tipologie di imbocco da un serbatoio di grandi dimensioni, precisamente a spigolo vivo e mediante breve raccordo convergente, evidenziando le rispettive zone di separazione.

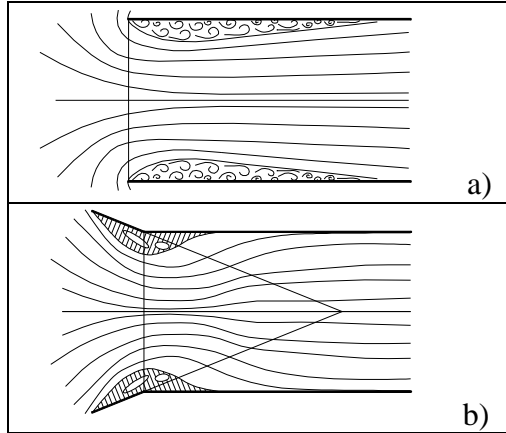


Fig. 5.2 – Schematizzazione delle *zone di separazione* per un imbocco da un serbatoio di grandi dimensioni: a) a spigolo vivo, b) con breve convergente di raccordo.

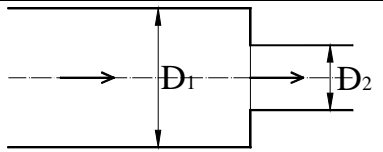
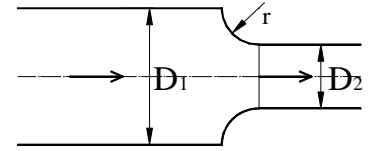
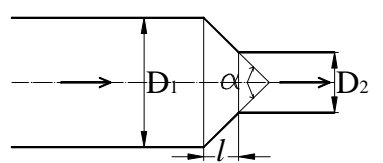
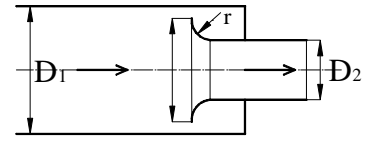
Nella Tab. 5.2 sono riportati quattro fra i più ricorrenti dispositivi di raccordo adottati quando si renda necessaria una riduzione di sezione. Nella medesima tabella, per ciascuno di essi, sono indicate le relazioni da utilizzare per il calcolo del rispettivo coefficiente  $\chi_{rs}$  definito dalla relazione:

$$\zeta_{rs} = (\chi_{rs} + \chi_{rs}^{\lambda}) \frac{V_2^2}{2g} \quad (5.3)$$

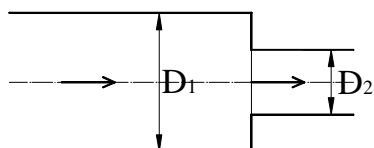
in cui il pedice  $rs$  riferisce le grandezze al restringimento di sezione e l'apice  $\lambda$  indica il termine delle perdite di carico continue. Per quanto concerne il termine  $\chi_{rs}^{\lambda}$ , esso è in genere trascurabile essendo i dispositivi di modesta lunghezza; unica eccezione è il raccordo con conver-

gente conico, nel quale, per un notevole aumento della velocità o della lunghezza del convergente, il termine  $\chi_{rs}^\lambda$  può risultare di qualche importanza.

Tab. 5.2 – Dispositivi per la riduzione di sezione e di imbocco: schemi e relazioni per il calcolo dei coefficienti  $\chi_{rs}$  e  $\chi_{rs}^\lambda$ .

Caratteristiche restringimento	Schema	Coefficiente di perdita di carico – Eq. (5.3)
brusco restringimento		$\chi_{rs} = 0.5(1 - A_2/A_1)$
raccordo con convergente curvilineo		$\chi_{rs} = \chi'_{rs}(1 - A_2/A_1)$ $\chi'_{rs} = \chi'_{rs}(r/D_2)$ Tab. 5.3 e Fig. 5.3
raccordo con convergente conico		$\chi_{rs} = \chi'_{rs}(1 - A_2/A_1)$ $\chi'_{rs} = \chi'_{rs}(\alpha, l/D_2)$ Tab. 5.4 e Fig. 5.4 $\chi_{rs}^\lambda$ dall'Eq. (5.4)
raccordo interno con convergente curvilineo		$\chi_{rs} = \chi'_{rs}(1 - A_2/A_1)$ $\chi'_{rs} = \chi'_{rs}(r/D_2)$ Tab. 5.5 e Fig. 5.5

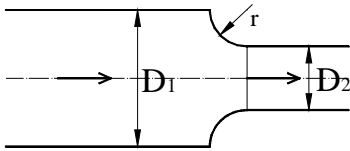
Brusco restringimento



$$\chi_{rs} = 0.5(1 - A_2/A_1)$$

Si noti come la relazione indicata in Tab. 5.2 fornisca il valore  $\chi_{rs} = 0.5$  per il caso di imbocco a spigolo vivo da un serbatoio.

Restringimento: raccordo con convergente curvilineo



$$\chi_{rs} = \chi'_{rs} (1 - A_2/A_1)$$

Tab. 5.3 – Valori del coefficiente  $\chi'_{rs}$  per il raccordo con convergente curvilineo ( $r$  = raggio di curvatura,  $D_2$  = diametro della sezione all'uscita del convergente).

$r/D_2$	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.12	0.16	$\geq 0.20$
$\chi'_{rs}$	0.50	0.43	0.36	0.31	0.26	0.22	0.20	0.15	0.09	0.06	0.03

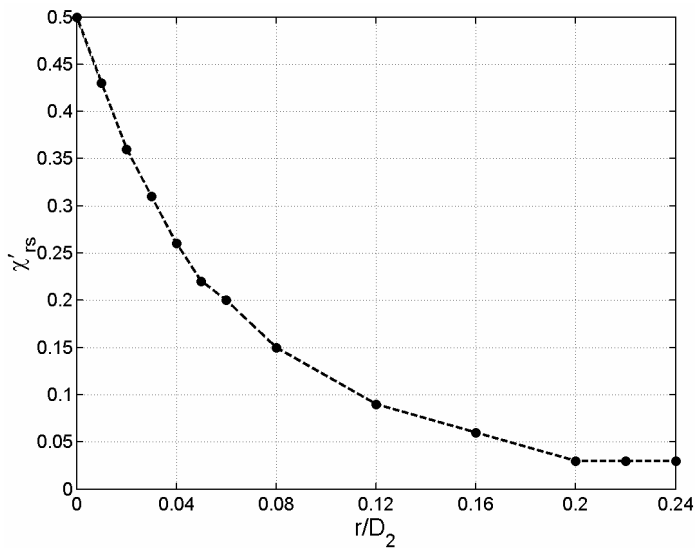
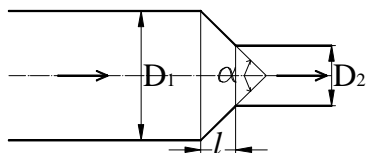


Fig. 5.3 – Raccordo con convergente curvilineo: rappresentazione grafica dei valori del coefficiente  $\chi'_{rs}$  in funzione di  $r/D_2$ .



Restringimento: raccordo con convergente conico



$$\chi_{rs} = \chi'_{rs} (1 - A_2/A_1)$$

Tab. 5.4 – Valori del coefficiente  $\chi'_{rs}$  per il raccordo con convergente conico ( $\alpha$  = angolo del convergente,  $l$  = lunghezza del convergente,  $D_2$  = diametro della sezione all'uscita del convergente).

$l/D_2$	$\alpha$								
	0	10	20	30	40	60	100	140	180
0.025	0.50	0.47	0.45	0.43	0.41	0.40	0.42	0.45	0.50
0.050	0.50	0.45	0.41	0.36	0.33	0.30	0.35	0.42	0.50
0.075	0.50	0.42	0.35	0.30	0.26	0.23	0.30	0.40	0.50
0.10	0.50	0.39	0.32	0.25	0.22	0.18	0.27	0.38	0.50
0.15	0.50	0.37	0.27	0.20	0.16	0.15	0.25	0.37	0.50
0.60	0.50	0.27	0.18	0.13	0.11	0.12	0.23	0.36	0.50

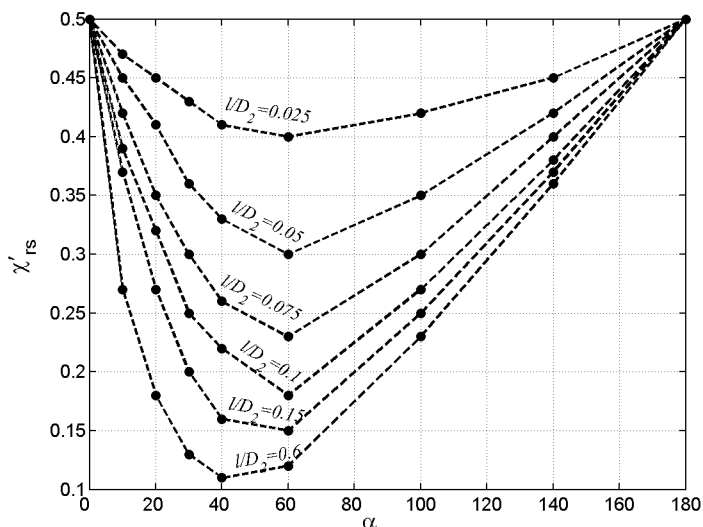


Fig. 5.4 – Raccordo con convergente conico: grafico dei valori del coefficiente  $\chi'_{rs}$  in funzione di  $\alpha$  e  $l/D_2$ .

Per la valutazione delle resistenze continue al moto, il termine  $\chi_{rs}^\lambda$  è ottenuto considerando il convergente come costituito da tronchi di lunghezza infinitesima con diametro costante e applicando a ciascuno di essi l'equazione di Darcy-Weisbach. In tal modo, ammettendo l'indice di resistenza  $\lambda$  costante, si ottiene la relazione:

$$\chi_{rs}^\lambda = \frac{\lambda}{8tg(\alpha/2)} \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \quad (5.4^I)$$

Nel caso, invece, si utilizzi la formula di resistenza di Gauckler-Strickler, il termine  $\chi_{rs}^\lambda$  diventa:

$$\chi_{rs}^\lambda = \frac{14.46g}{tg(\alpha/2)D_2^{1/3}K_s^2} \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^{13/6} \right] \quad (5.4^{II})$$