

Corsi di laurea di I livello:
 Scienze e tecnologie agrarie
 Gestione tecnica del territorio agroforestale e sviluppo rurale

Perdite di carico nelle condotte in pressione

Materia: **Idraulica agraria** (6 CFU)

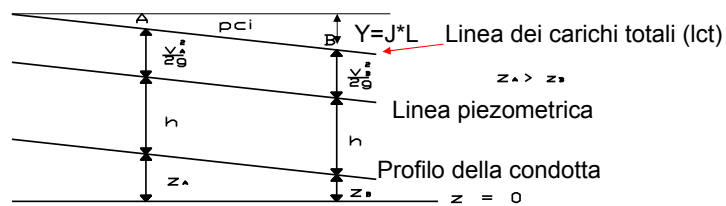
docente: prof. Antonina Capra

a.a. 2008-09

prof. A. Capra

1

Perdite di carico nelle condotte in pressione



$$z_1 + p_1/\gamma + v_1^2/2g = z_2 + p_2/\gamma + v_2^2/2g + Y$$

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

Y = perdita di carico distribuita durante il percorso

J = perdita di carico per unità di percorso L

In realtà, al posto di Y dovrebbe utilizzarsi

$$\sum Y_i + \sum \lambda_i$$

Con Y_i = perdita di carico distribuita nel tratto i del sistema

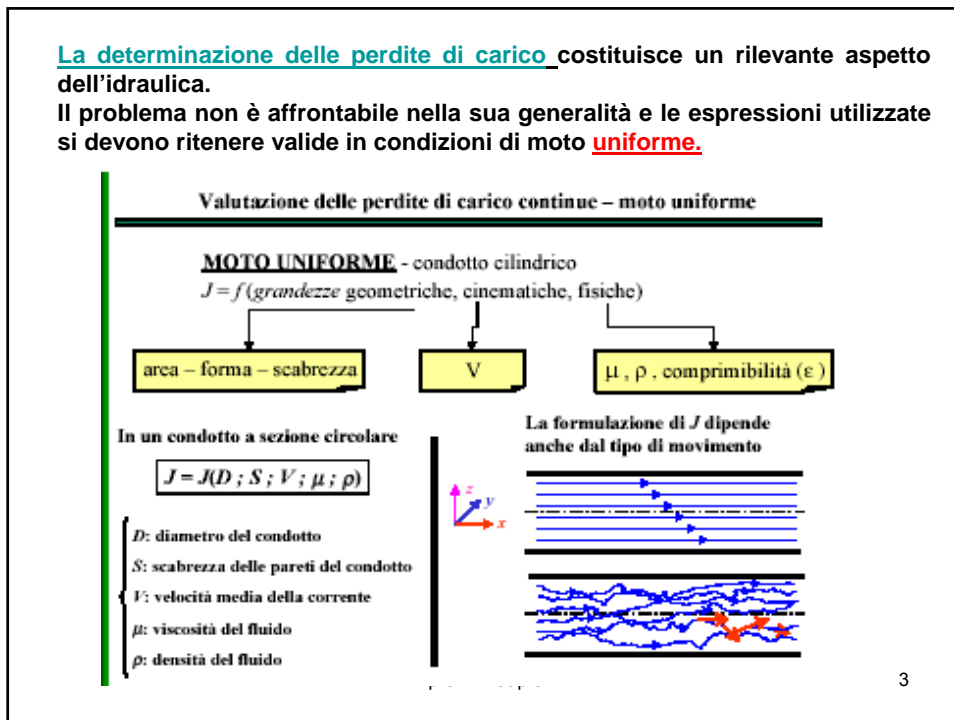
λ_i = perdita di carico localizzata nell'elemento i del sistema

prof. A. Capra

2

La determinazione delle perdite di carico costituisce un rilevante aspetto dell'idraulica.

Il problema non è affrontabile nella sua generalità e le espressioni utilizzate si devono ritenere valide in condizioni di moto uniforme.



Per affrontare situazioni pratiche di vario interesse è utile fare riferimento ad una relazione di origine sperimentale (formula di Darcy-Weisbach)

$$J = \lambda \frac{V^2}{2g \cdot D}$$

La f. di Darcy-Weisbach esprime la cadente J come proporzionale, tramite un fattore λ (detto numero indice di resistenza o resistenza ridotta - adimensionale), al rapporto tra altezza cinetica della corrente e diametro della condotta.

Per la determinazione della resistenza ridotta, e quindi di J , sarà necessario tenere presente il regime di moto (laminare o turbolento) e le caratteristiche idrauliche dei condotti (scabrezza).

Nel regime laminare le dissipazioni sono ascrivibili agli sforzi laminari che si originano durante il movimento, nel moto turbolento di transizione, accanto agli sforzi laminari troviamo quelli turbolenti, originati dagli scambi di quantità di moto tra le particelle contigue animate da velocità differenti.

nel moto assolutamente turbolento, le dissipazioni sono riconducibili agli sforzi turbolenti.

La dipendenza tra J e V (o Q/A) è

- o lineare per il regime laminare,
- o quadratica per il regime turbolento,
- o con una dipendenza da una potenza poco inferiore a 2 nel caso di regime turbolento di transizione.

Regime laminare ($Re < 2000$)

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Regime turbolento

Moto turbolento di transizione in tubi lisci

Es. Formula di Blasius

$$\lambda = f(Re)$$

Moto turbolento di transizione in tubi scabri

Formula di Colebrook - White

$$\lambda = f(Re, D, \varepsilon)$$

prof. A. Capra

5

Regime turbolento

$$\lambda = f(D, \varepsilon)$$

Moto assolutamente turbolento

Sono molto utilizzate le cosiddette formule pratiche, che si possono pensare derivate dalla **formula di Chézy**:

$$V = X \sqrt{R \cdot J} \quad \text{ovvero}$$

$$J = \frac{V^2}{X^2 R}$$

• R è il raggio idraulico (o raggio medio), definito come

$$R = A/C$$

o il rapporto tra la sezione della corrente A ed il suo perimetro bagnato C

o Es. per la sezione circolare

$$R = \frac{A}{C} = \frac{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}{\pi D} = \frac{D}{4}$$

• X è il coefficiente di scabrezza.

Il valore di X può essere dedotto da diverse espressioni nelle quali appare un altro parametro detto **indice di scabrezza** (γ, m, k, n) dimensionale, che identifica lo stato delle pareti.

prof. A. Capra

6

Formule monomie

- La **F. di Chezy** viene utilizzata soprattutto per i canali a superficie libera, mentre
- per il calcolo delle perdite di carico continue nelle condotte si usano soprattutto formule dette monomie (valide per un materiale dato)

a
a

- la perdita di carico totale Y (m) è proporzionale alla perdita di carico unitaria J (m/m) ed alla lunghezza della condotta L (m)

$$Y = J \cdot L \quad m = \frac{m}{m} \cdot m$$

- la perdita di carico unitaria è proporzionale circa alla 2^a potenza della Q ed inversamente proporzionale circa alla 5^a potenza del D

$$J = K_m \cdot \frac{Q^{\approx 2}}{D^{\approx 5}}$$

- la formula da utilizzare dipende dal materiale e, in alcuni casi, dal diametro della condotta



prof. A. Capra

7

Formule monomie per il calcolo delle perdite di carico continue (valide per un materiale dato)

Per **materiale plastico e acciaio**

$$Y = J \cdot L$$

$$J = K_m \cdot \frac{Q^{\approx 2}}{D^{\approx 5}}$$

a
a

F. di Watters e Keller

- per $D \leq 125$ mm, (a)
- per $D > 125$ mm, (b)

a

$$J = 7.89 \cdot 10^5 \cdot \frac{Q^{1.75}}{D_{int}^{4.75}}$$

b

$$J = 9.58 \cdot 10^5 \cdot \frac{Q^{1.83}}{D_{int}^{4.83}}$$



$J = m/m$

$Q = l/s$

$D = mm$

prof. A. Capra

8

Formula di Hazen-Williams

- C dipende dal materiale e, per le materie plastiche, anche dal diametro

Materiale	C
Alluminio	130
Acciaio (nuovo)	130
Acciaio (15 anni) o cemento	100

Materiale plastico

D > 75 mm,	C = 150
D ≤ 75 mm	C = 130

$$Y = J \cdot L$$

$$J = K_m \cdot \frac{Q^{\approx 2}}{D^{\approx 5}}$$

$$J = 1.21 \cdot 10^{10} \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} \cdot \frac{1}{D_{\text{int}}^{4.87}}$$

$$j = \text{m/m}$$

$$Q = \text{l/s}$$

$$D = \text{mm}$$

C = coefficiente di perdita di carico

prof. A. Capra

9

Altre formule monomie

Per l'acciaio

$$F. \text{ di Scimemi-Veronese} \quad J = 6.81 \cdot 10^8 \cdot Q^{1.82} / D^{4.71}$$

Per l'alluminio leggero

$$F. \text{ Di Marchetti} \quad J = 18.33 \cdot 10^8 \cdot Q^{1.83} / D^{4.95}$$

Per le materie plastiche

$$F. \text{ Di De Marchi-Marchetti} \quad J = 9.24 \cdot 10^8 \cdot Q^{1.81} / D^{4.80}$$

$$J = \text{m/km}$$

$$Q = \text{l/s}$$

$$D = \text{mm}$$

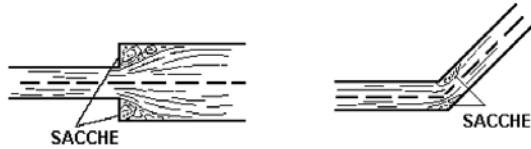
$$Y = J \cdot L$$

$$J = K_m \cdot \frac{Q^{\approx 2}}{D^{\approx 5}}$$

prof. A. Capra

10

Perdite di carico localizzate



prof. A. Capra

11

PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE

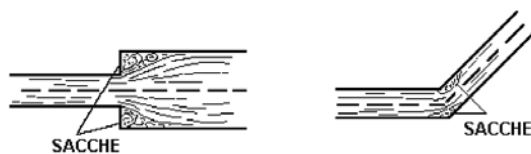
- Le perdite di carico localizzate (o concentrate) hanno luogo in zone piuttosto limitate dei sistemi idrici
- In generale possono ricondursi a fenomeni turbolenti innescati da variazioni marcate di
 - sezione,
 - direzione,
 - restringimenti e/o allargamenti,
 - passaggio attraverso apparecchiature,
 - biforcazioni o confluenze,
 - etc...

• Risultano, solitamente, proporzionali al quadrato della velocità della corrente e possono essere espresse tramite formule del tipo:

Dove il coefficiente α

- è calcolabile in alcuni casi
- viene desunto da prove sperimentali.

$$\lambda = \alpha \frac{V^2}{2g}$$



prof. A. Capra

12

I cambiamenti nella geometria del sistema sono spesso dovuti alla presenza di **componenti aggiuntivi** (valvole, giunti, curve). In queste zone la corrente non è lineare.
 Le linee dei carichi totale e piezometrica in tali brevi tratti sono solo "linee di raccordo".

Perdite di carico Localizzate

Cambiamenti di geometria (valvole, giunti, curve)
 Possono essere molto importanti nella regolazione della portata!

LCT

$H = z + p/\gamma + V^2/2g$

ΔH

brusco allargamento (Borda)

Miscelamento turbolento e dissipazione localizzata di energia

13

Perdite di carico Localizzate

$\Delta H_{loc} = \alpha \frac{V^2}{2g}$ dove α dipende dalla geometria

brusco allargamento

$\Delta H_{loc} = \frac{1}{2g} (V_1 - V_2)^2$

$= \left[1 - \frac{A_1}{A_2} \right]^2 \frac{V_1^2}{2g}$

divergente

$\Delta H_{loc} = m(\beta) \frac{1}{2g} (V_1 - V_2)^2$

brusco restringimento

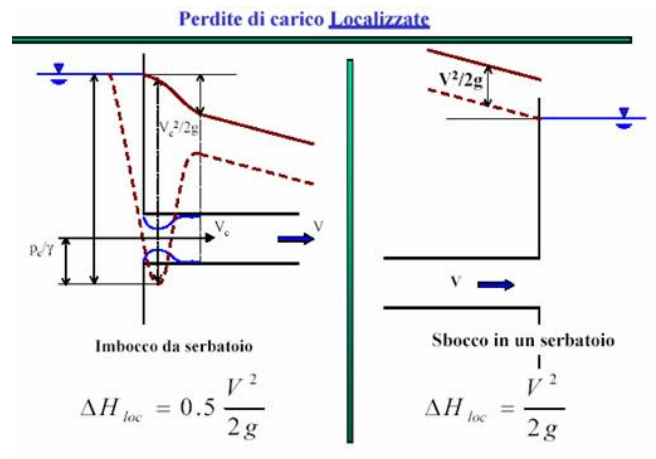
$\Delta H_{loc} = n \frac{V_2^2}{2g}$

co $\alpha = 0.5$ per $D_1 > 2 D_2$
 $\alpha < 0.5$ per $D_1 < 2 D_2$

prof. A. Capra

14

Si assumono le perdite concentrate come proporzionali all'energia cinetica caratteristica della corrente, tramite un coefficiente che in genere dipende dalla geometria dei componenti utilizzati.



prof. A. Capra

15

Perdite di carico Localizzate

Saracinesche completamente aperte

$\alpha = 0.15$

Curve $\alpha < 0.6$
 $\alpha = f(\text{curvatura, diametro tubo, regime moto})$

Allargamenti con raccordo conico $\alpha < 0.75$
 $\alpha = f(\text{rapporto di allargamento})$

Confluenze: $0.5 < \alpha < 2.0$
 $\alpha = f(\text{forma confluenza, divisione portate})$

In Figura sono rappresentate alcuni valori del coefficiente α , in corrispondenza di diverse situazioni di flusso e tipologie di pezzi speciali utilizzati in sistemi di condotte.

prof. A. Capra

16

Condotte lunghe e condotte corte

Le perdite di carico localizzate

- sono particolarmente importanti in presenza di **condotte corte**, nelle quali le perdite di carico continue sono modeste,
- vengono trascurate nel caso di **lunghe condotte**.

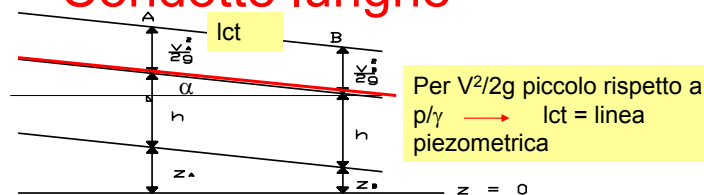
Si definiscono **lunghe condotte** quelle tubazioni per le quali:

- le **perdite di carico localizzate si possono considerare trascurabili** (ossia le perdite di carico distribuite sono molto maggiori di quelle localizzate);
- l'altezza cinetica $v^2/2g$ è piccola rispetto alla quota piezometrica $z+p/\gamma$
- la lunghezza della condotta L si può assumere pari alla sua proiezione orizzontale.

prof. A. Capra

17

Condotte lunghe



- Poiché l'altezza cinetica $v^2/2g$ è piccola rispetto alla quota piezometrica $z+p/\gamma$, si possono considerare **praticamente coincidenti la linea dei carichi totali e la linea piezometrica**;

$$J = Y/L$$

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 α che la piezometrica forma con l'orizzontale, ossia con la pendenza della piezometrica

prof. A. Capra

18

Perdite di carico localizzate negli impianti di irrigazione

Si generano in corrispondenza di

- bruschi allargamenti o riduzioni di diametro
- inserimento degli erogatori nelle ali irrigue,
- gomiti, curve, saracinesche, filtri e altri apparecchi.

$$\lambda = \alpha \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{per}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{int}}^2} \quad \text{per}$$

$$\lambda = \alpha \cdot k \cdot \frac{Q^2}{D_{\text{int}}^4}$$

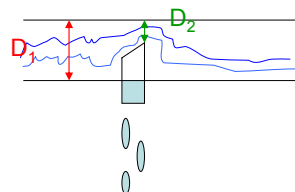
α = coefficiente dipendente dal tipo di ostacolo; g = accelerazione di gravità = 9.81 m/s²; Q = portata, m³ s⁻¹; A = area della sezione liquida, m²; D_{int} = diametro interno della tubazione, m

prof. A. Capra

19

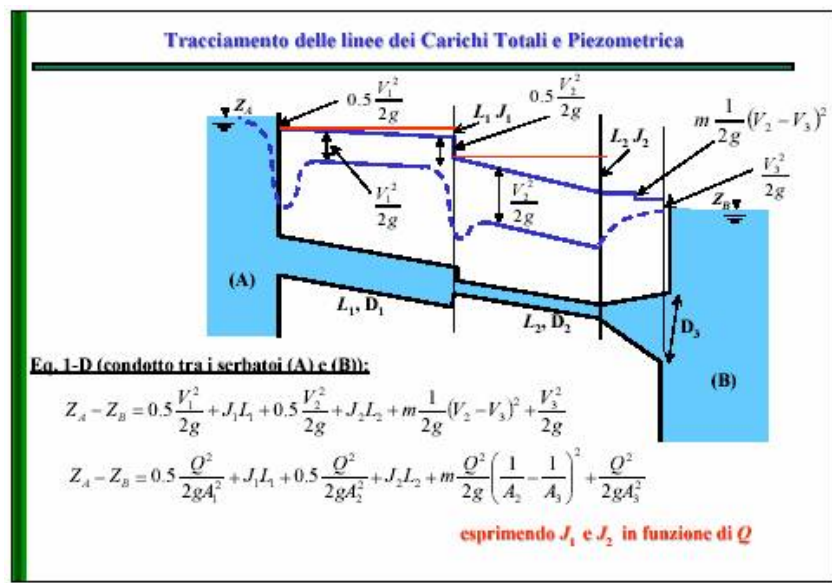
Perdite di carico localizzate negli impianti di irrigazione

- Inserimento degli erogatori nelle ali irrigue



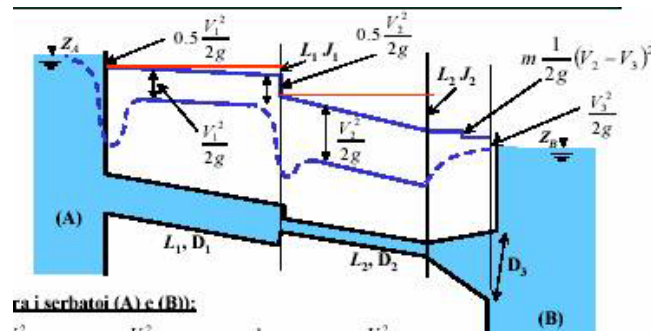
prof. A. Capra

20



prof. A. Capra

21



Linea dei Carichi Totali. Siano Z_A e Z_B le quote piezometriche di monte e di valle, in questo caso coincidenti con i livelli nei due serbatoi, nei quali il liquido viene considerato in quiete: la differenza ($Z_A - Z_B$) è l'energia potenziale destinata a trasformarsi in perdite, ovvero a "consumarsi" per permettere il moto del liquido nella condotta.

L'energia potenziale ($Z_A - Z_B$) eguaglia le perdite nel trasferimento, ovvero:

$$(Z_A - Z_B) = \text{perdite distribuite} + \text{perdite localizzate}$$

Le perdite distribuite sono nei due tronchi di condotta con i due diversi diametri; si possono chiamare rispettivamente $J_1 L_1$ ed $J_2 L_2$, dove le J sono le cadenti piezometriche e le L le lunghezze dei vari tratti.

Le perdite localizzate sono, procedendo da monte verso valle: (1) perdita di imbocco (per il caso in figura, "a spigolo vivo"); (2) perdita di brusco restringimento; (3) perdita dovuta al diffusore; (4) perdita di sbocco.

prof. A. Capra

22