

Corsi di laurea di I livello:  
Scienze e tecnologie agrarie

**Parte B- Perdite di carico nelle condotte degli impianti  
di irrigazione**

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

docente: prof. Antonina Capra

a.a. 2013-14

## Perdite di carico localizzate negli impianti di irrigazione

Si generano in corrispondenza di

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

# Valutazione pratica delle pdc localizzate negli impianti di irrigazione-

## Metodo della lunghezza-equivalente

- Per semplicità, si può ricorrere ad un sistema di valutazione alternativo che si avvale di tabelle che permettono di **trasformare ogni fonte di perdita localizzata in metri equivalenti di tubazione**.
- Le **perdite di carico totali** ( $Y_{tot} = \text{distribuite} + \text{localizzate}$ ) si ottengono applicando una delle formule monomie viste per il calcolo delle perdite di carico distribuite unitarie ( $J$ ) e sostituendo alla lunghezza reale della condotta ( $L$ ) una **lunghezza “fittizia”** ( $L_{fitt}$ ) data dalla **somma della lunghezza reale della tubazione e della lunghezza-equivalente** agli “accidenti” che causano le perdite occasionali.

$$Y = J \cdot L$$

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

$$Y_{tot} = J \cdot (L_{fitt}) = K_m \cdot \frac{Q^{\approx 2}}{D^{\approx 5}} \cdot (L + Leq)$$

# Esempio di applicazione del metodo della lunghezza equivalente (da <http://www.aquaverde.it/progettazione-6.php>)

TABELLA DELLE LUNGHEZZE EQUIVALENTI  
PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI CARICO

Denominazione	Particolari costruttivi o di esercizio	Grado di apertura	L / D
Valvola a globo	Sede libera Otturatore guidato	100 %	340
		100 %	450
Valvola ad angolo	Sede libera Otturatore guidato	100 %	145
		100 %	200
Valvola a flusso libero	Asta inclinata di 60° Asta inclinata di 45°	100 %	175
		100 %	145
Saracinesca	A cuneo	100 %	13
		75 %	35
		50 %	160
		25 %	900
Valvola a farfalla	DN maggiore di 150	100 %	20
Valvola a sfera	Passaggio totale	100 %	5
Rubinetto a maschio ( a 2 oppure 3 vie )	Flusso dritto Flusso a 90°	100 %	44
		100 %	140
Valvola di ritegno	A globo	100 %	340
	Ad angolo	100 %	145
	A battente	100 %	135
	A sfera (verticale)	100 %	150
	A sfera (orizzontale)	100 %	150
Valvola di fondo	Con succheruola	100 %	420
Raccordi	Gomito a 90°		30
	Gomito a 45°		16
	Curva a 90°		20
	Te ( passaggio dritto )		20
	Te ( passaggio a 90° )		60

Condotta del diametro  $D = 63$  mm, di lunghezza  $L = 50$  m.

Lungo il suo percorso, siano posizionate:

- 1 saracinesca
- 1 valvola di non ritorno a sfera
- 3 gomiti a 90°

Dalla tabella rileviamo (con  $L$  e  $D$  in m):

- per la saracinesca (supposta completamente aperta):  $L / D = 13$
- per la valvola di non ritorno:  $L / D = 150$
- per un gomito a 90°:  $L/D = 30$

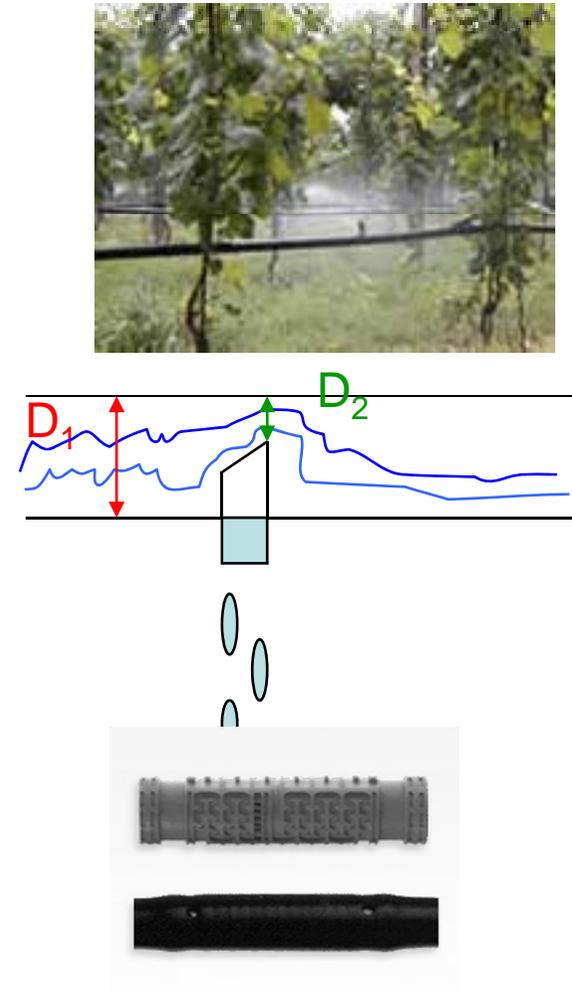
Supponendo che gli “accidenti” presenti lungo la tubazione in discussione abbiano lo stesso  $D$ , possiamo valutare:

- per la saracinesca:  $L = 13 \times 0,063 \text{ m} = 0,819$  metri-equivalenti
  - per la valvola di ritegno:  $L = 150 \times 0,063 = 9,450$  metri-equivalenti
  - per i 3 gomiti a 90°:  $L = 3 \times ( 30 \times 0,063 ) = 5,45$  metri-equivalenti
- per un totale di circa 16 metri-equivalenti

$$L_{fitt} = (L + L_{eq}) = 50 + 16 = 66 \text{ m}$$

## Perdite di carico localizzate dovute all'inserimento degli erogatori nelle ali irrigue

- Si valutano come l'insieme delle pdc localizzate e distribuite per brusco restringimento, tratto a sezione inferiore rispetto alla tubazione e brusco allargamento di sezione



# Perdite di carico localizzate dovute all'inserimento degli erogatori sull'ala irrigua

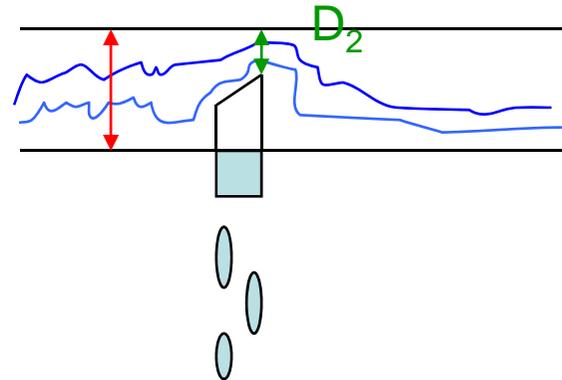
L'inserimento degli erogatori sull'ala irrigua può essere:



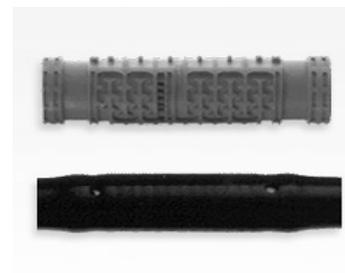
In linea (gocciolatori coestrusi al tubo durante il processo di fabbricazione)

In ogni caso la presenza degli erogatori provoca pdc localizzate dovute a bruschi restringimenti e allargamenti di sezione della tubazione

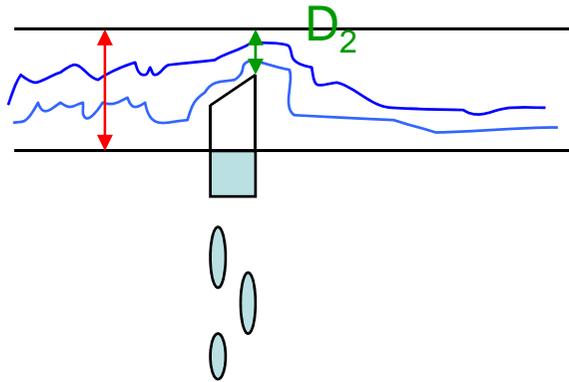
In derivazione



In linea



# Valutazione delle perdite di carico localizzate all'innesto degli erogatori



Metodo della lunghezza-equivalente

Lunghezza equivalente per la stima delle pdc dovute alla presenza di un erogatore

	Gocciolatori in linea	Gocciolatori e spruzzatori in derivazione					
		$D_{int} = \frac{10}{8}$	10	12.8	16.8	21.8	28.2
$l_f$	0.20	0.40	0.25	0.20	0.07	0.05	0.04

Formula generale

Per  $V = \frac{Q}{A}$

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

$$\lambda = \alpha \frac{Q^2}{A^2} \cdot \frac{1}{2g} = \alpha \frac{Q^2}{\left(\frac{1}{4} \pi D^2\right)^2} \cdot \frac{1}{2g}$$

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

$\alpha$  = coefficiente dipendente dalle condizioni specifiche dell'innesto;  $g$  = accelerazione di gravità = 9.81 m/s<sup>2</sup>;  $Q$  = portata, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>;  $A$  = area della sezione liquida, m<sup>2</sup>;  $D_{int}$  = diametro interno della tubazione, m

# Condotte lunghe e condotte corte

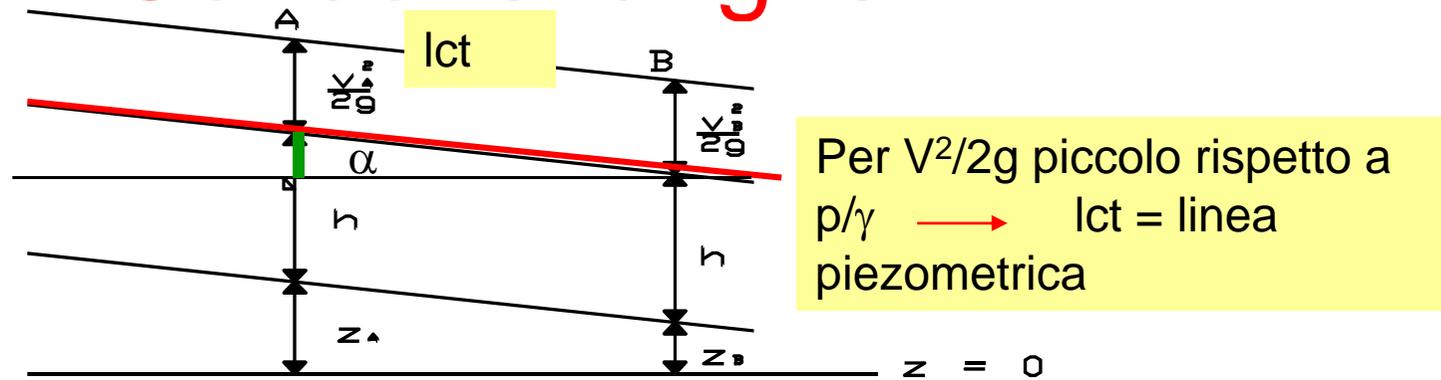
## Le perdite di carico localizzate

- vengono trascurate nel caso di **lunghe condotte**
- sono particolarmente importanti in presenza di **condotte corte**, nelle quali le perdite di carico continue sono modeste, e dello stesso ordine di grandezza di quelle localizzate

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.

# Condotte lunghe

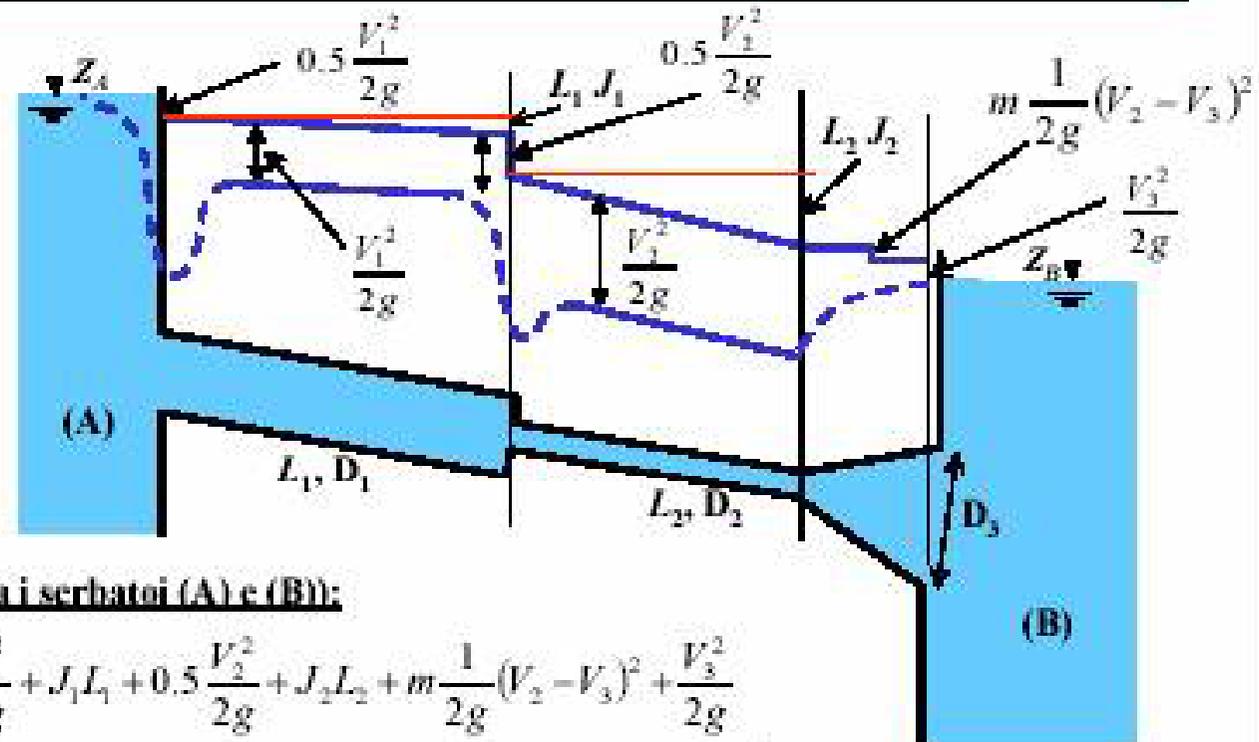


- Poiché l'altezza cinetica  $v^2/2g$  è piccola rispetto alla quota piezometrica  $z+p/\gamma$  si possono considerare **praticamente coincidenti la linea dei carichi totali e la linea piezometrica**;

$$J=Y/L$$

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  $\alpha$  che la piezometrica forma con l'orizzontale, ossia con la pendenza della piezometrica

## Tracciamento delle linee dei Carichi Totali e Piezometrica

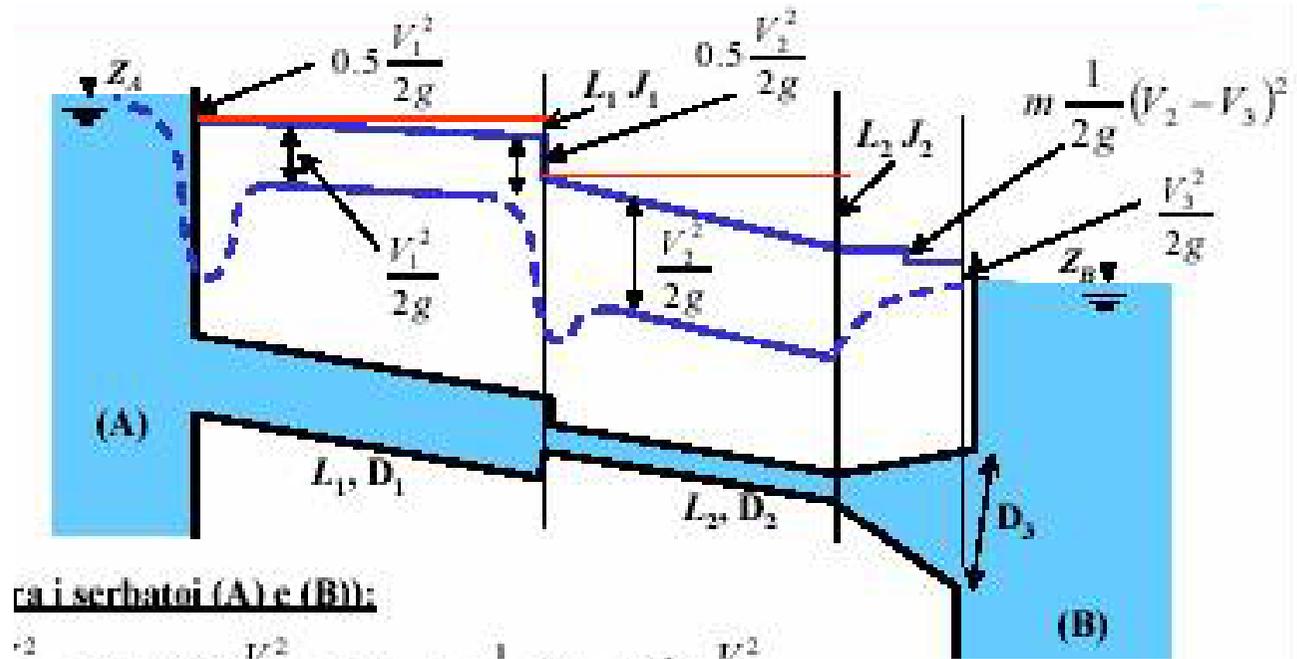


**Eq. 1-D (condotto tra i serbatoi (A) e (B)):**

$$Z_A - Z_B = 0.5 \frac{V_1^2}{2g} + J_1 L_1 + 0.5 \frac{V_2^2}{2g} + J_2 L_2 + m \frac{1}{2g} (V_2 - V_3)^2 + \frac{V_3^2}{2g}$$

$$Z_A - Z_B = 0.5 \frac{Q^2}{2gA_1^2} + J_1 L_1 + 0.5 \frac{Q^2}{2gA_2^2} + J_2 L_2 + m \frac{Q^2}{2g} \left( \frac{1}{A_2} - \frac{1}{A_3} \right)^2 + \frac{Q^2}{2gA_3^2}$$

**esprimendo  $J_1$  e  $J_2$  in funzione di  $Q$**



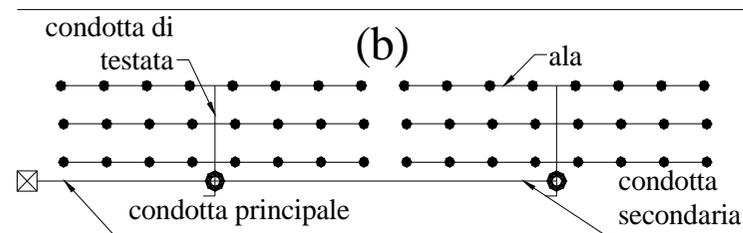
**Linea dei Carichi Totali.** Siano  $Z_A$  e  $Z_B$  le quote piezometriche di monte e di valle, in questo caso coincidenti con i livelli nei due serbatoi, nei quali il liquido viene considerato in quiete: la differenza ( $Z_A - Z_B$ ) è l'energia potenziale destinata a trasformarsi in perdite, ovvero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

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

**Le perdite distribuite** sono nei due tronchi di condotta con i due diversi diametri; si possono chiamare rispettivamente  $\underline{J_1 L_1}$  ed  $\underline{J_2 L_2}$ , dove le  $\underline{J}$  sono le cadenti piezometriche e le  $\underline{L}$  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.

# Tipi di condotte negli impianti irrigui (criterio di classificazione di tipo idraulico)



Dal punto di vista idraulico:

**Le condotte di distribuzione** sono condotte con sbocchi equidistanti e di uguale portata (l'acqua viene erogata lungo il percorso)

**Le condotte secondarie e principali** sono condotte ad unico sbocco finale (l'acqua entrante in una data sezione viene erogata tutta allo sbocco finale)

## Perdite di carico nelle condotte ad unico sbocco finale

- Sono condotte a portata **Q costante**
- Tutta la portata entrante esce dopo aver percorso la lunghezza L
- Es. una condotta principale di adduzione dell'acqua da una vasca ad un impianto irriguo di distribuzione
- **Per tratti a diametro D costante**, la **perdita di carico totale y** (m) è proporzionale alla perdita di carico unitaria j (m/m) ed alla lunghezza della condotta L (m)

$$y = j \cdot L$$

a

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

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

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

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

$$D = \text{mm}$$

## Effetto delle uscite equidistanti e di uguale portata sulle perdite di carico.

Nelle condotte di distribuzione (ali e condotte di testata) la portata non è costante per tutta la lunghezza  $L$ , ma cambia per ogni tratto di condotta

Esempio per un'ala irrigua:

la portata diminuisce nella direzione del moto man mano che l'acqua fuoriesce dagli erogatori

se chiamiamo  $q$  la portata di ogni erogatore,  $n$  ( $=12$ ) il numero di erogatori sull'ala, i diversi tratti di condotta ( $i=12$ ) avranno portate diverse ( $Q_i$ ) e uguali a:

Partendo dall'ingresso dell'acqua e spostandosi verso la fine della condotta:

$$Q_{1-2} = q \cdot n = q \cdot 12$$

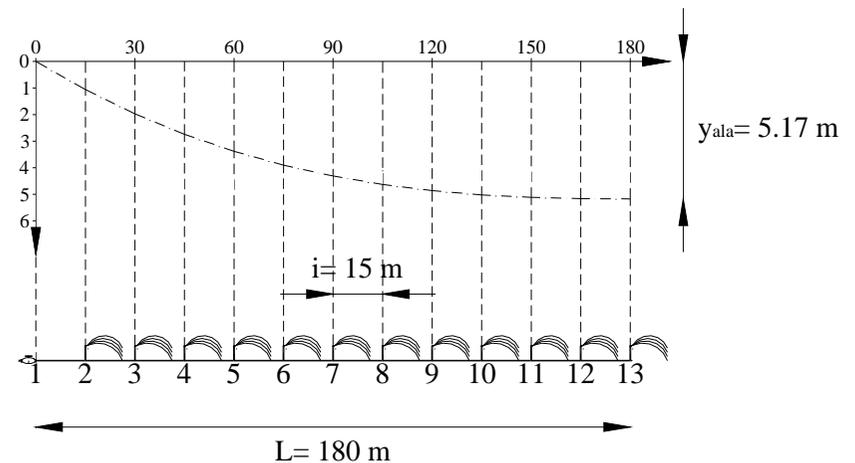
$$Q_{2-3} = q \cdot (n-1) = q \cdot (12-1) = q \cdot 11$$

$$Q_{3-4} = q \cdot (n-2) = q \cdot (12-2) = q \cdot 10$$

.....

$$Q_{12-13} = q$$

### Ala con 12 (n) erogatori



- Poiché le pdc dipendono circa dal quadrato di  $Q$ , man mano che  $Q$  diminuisce diminuiscono, nei diversi tratti, anche le pdc

- Le pdc saranno maggiori nei tratti iniziali ( $Q$  maggiori) e minori in quelli finali

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

- Complessivamente, le pdc in una condotta con sbocchi saranno minori rispetto alla stessa condotta (uguale  $D$  e  $L$ ) ove, però, tutta la  $Q$  entrante esce alla fine.

## Calcolo delle perdite di carico nelle condotte con sbocchi intermedi

Si possono calcolare come:

(a) **Metodo generale**: somma delle perdite di carico  $y_i$  degli  $N$  tratti  $i$  ognuno con portata  $q_i$  (la portata  $q$  di ogni sbocco, il diametro  $D$  e la lunghezza  $l$  dei tratti dei diversi tratti possono essere diversi o costanti)

$$a \quad y = \sum_{i=1}^N y_i = \sum_{i=1}^N j_i \cdot l_i = k \cdot \frac{q_1^b}{D_{1int}^c} \cdot l_1 + k \cdot \frac{q_2^b}{D_{2int}^c} \cdot l_2 + \dots + k \cdot \frac{q_N^b}{D_{Nint}^c} \cdot l_N$$

(b) **formula semplificata**: per condotte con sbocchi di uguale portata  $q$ , equidistanti (lunghezza  $l$  dei tratti costante), e di uguale diametro  $D$ ;

le pdc si calcolano come se tutta la  $Q$  entrante percorresse tutta la lunghezza  $L$  per uscire alla fine della condotta, poi si moltiplicano per un fattore di riduzione  $F$

$$y = j \cdot L \cdot F = k \cdot \frac{Q^b}{D_{int}^c} \cdot L \cdot F$$

# Fattore di riduzione F

si trova tabulato in funzione del numero di tratti a portata diversa (N) e dell'esponente di Q nella formula monomia per il calcolo delle pdc unitarie J

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

Numero di tratti a portata diversa, N	F			F (1/2)		
	b = 1.75	b = 1.83	b = 1.852	b = 1.75	b = 1.83	b = 1.852
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.65	0.64	0.64	0.53	0.52	0.52
3	0.55	0.54	0.53	0.46	0.44	0.44
4	0.50	0.49	0.49	0.43	0.41	0.41
5	0.47	0.46	0.46	0.41	0.40	0.46
6	0.45	0.44	0.44	0.40	0.39	0.39
7	0.44	0.43	0.43	0.39	0.38	0.38
8	0.43	0.42	0.42	0.39	0.38	0.38
9	0.42	0.41	0.41	0.39	0.38	0.37
10	0.42	0.40	0.40	0.38	0.37	0.37
11	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.37
12	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.37
13-16	0.40	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37
17-23	0.39	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36
24-44	0.38	0.37	0.37	0.37	0.36	0.36
>45	0.37	0.36	0.36	0.37	0.36	0.36

## Caratteristiche del Fattore di riduzione F delle pdc distribuite in condotte con sbocchi equidistanti e di uguale portata

Il fattore F

- È variabile fra 1 (unico sbocco finale) e circa 0.333 (numero di sbocchi tendente a infinito)
- Diminuisce al crescere del numero di sbocchi
- Quindi, maggiore è il numero di sbocchi più piccole saranno le pdc rispetto alla stessa condotta con unico sbocco finale
- Le pdc rispetto alla stessa condotta ad unico sbocco finale si riducono, al massimo, ad  $1/3$  (in una condotta con  $n \rightarrow \infty$ ) ( $y = j \cdot L \cdot F$  e  $F_{\min} = 0.33$ )
- **Attenzione a**  
Non confondere il fattore di riduzione F con le perdite di carico localizzate dovute all'inserimento degli erogatori sull'ala che, invece, fanno aumentare le pdc complessive

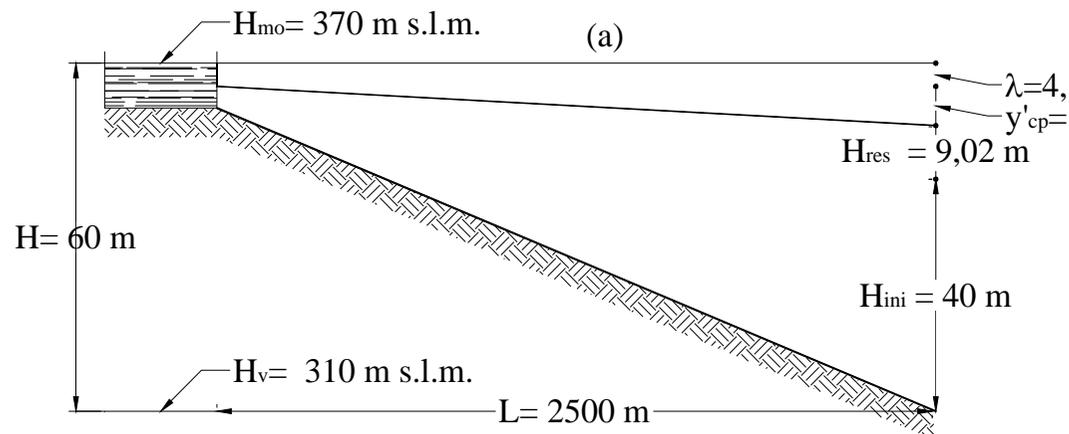
# Condotte a gravità

- Si parla di condotte a gravità quando l'energia necessaria per superare le pdc ( $Y$ ) e per assicurare la pressione necessaria al funzionamento dell'impianto irriguo ( $H_{ini}$ ) è di tipo naturale, ossia energia di posizione, dovuta al fatto che la quota di partenza dell'acqua è superiore a quella di arrivo
- In questo caso si pone la condizione

- $Y + H_{ini} = H_m - H_v = z$

- $Y = H_m - H_v - H_{ini} = z$

Ossia il valore massimo delle pdc può essere pari all'energia disponibile detratta della pressione necessaria a valle



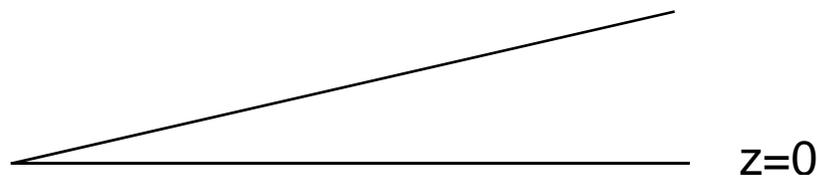
# Condotte con sollevamento

Quando non si dispone di un carico naturale per superare le pdc ed eventuali dislivelli geometrici e/o piezometrici, una condotta deve essere alimentata da un impianto di sollevamento.

Es.

- quota geometrica di arrivo più in alto di quella di partenza

$z_v < z_m$



- Altezza piezometrica di arrivo maggiore di quella di partenza
- Quota piezometrica di arrivo maggiore di quella di partenza