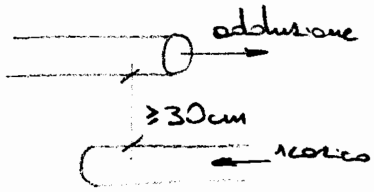
# OPERE di ADDUZIONE

## REGOLE PRATICHE

- tracciato planimetrico sulla rete stradale o ai margini
  - + contenimento costi di costruzione
  - + contenimento tempi di costruzione e manutenzione
- tracciato lontano
  - dalle fonti di scarico degli apparati civili e produttivi
  - da potenziali fonti di inquinamento

    norme: distanza di 30 cm tra gli estradossi dei tubi di acquedotto e fogna, altrimenti incamiciamento del tubo di acquedotto

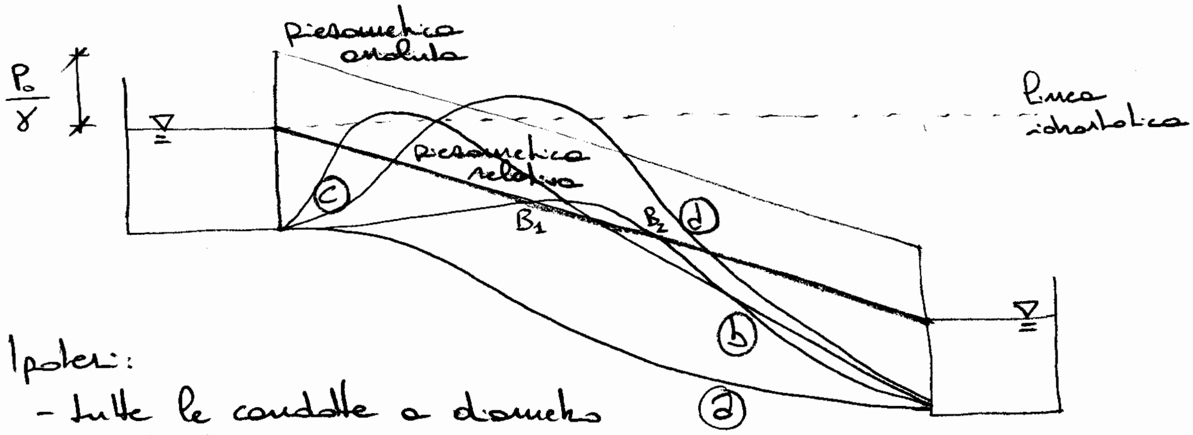



- definizione di una fascia di rispetto della condotta
  → limitazioni d'uso (edifici, piante, discariche)
- adduzione sempre con condotte in pressione
- linea piezometrica nelle condotte tra 70÷80 m e 5 m
  - >70÷80 m: problemi di perdite nelle utenze
  - <5 m: problemi di scarsa pressione nelle utenze
- condotte collocate a circa 1.20 m sotto il piano campagna
  - + stabilità termica
  - + dissipazione sovraccarico stradale (stabilità statica)

## ANDAMENTO ALTIMETRICO

- pendenza nelle livellette
  - in salita: maggiore dello 0.2%
  - in discesa: doppia della salita
  - + allontanamento bolle d'aria (velocità discordi di acqua e bolle)

# Modi di deflusso




Ipotesi:
- tutte le condotte a diametro costante
- altezza cinetica e perdite localizzate trascurabili

Esaminiamo le condizioni di funzionamento in funzione della posizione della condotta rispetto alle linee piezometriche ed idrostatica

(a) condotta al di sotto della piezometrica relativa

⇒ nessun particolare problema di funzionamento

(b) condotta superiore alla piezometrica relativa

pressione atmosferica nei punti $B_1$ e $B_2$

depressione nel tratto $B_1B_2$

⇒ necessità di innesco (funzionamento a sifone)
- deflusso intermittente se penetra aria da una fessura
- possibilità di inquinamento dell'acqua da agenti esterni attraverso la fessura

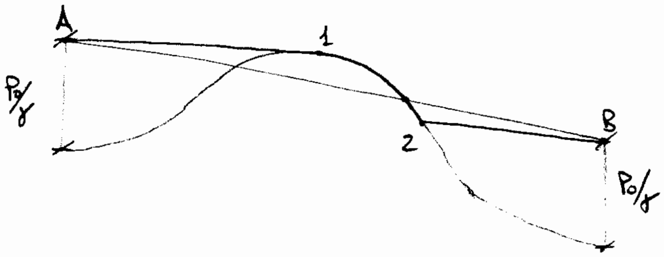
(c) condotta superiore alla linea idrostatica

funzionamento analogo a quello della condotta (b)

(d) condotta superiore alla piezometrica assoluta

non possiamo avere pressioni negative

⇒ nuova piezometrica assoluta




$\overline{A1} \parallel \overline{2B}$

$\overline{12}$: pressione nulla

$\overline{A1}$: pressione in diminuzione

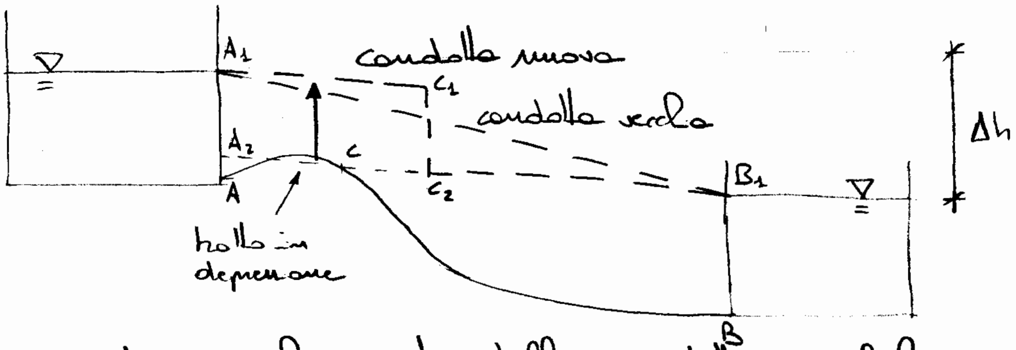
$\overline{2B}$: pressione in aumento

minore pendenza

⇒ minore portata

⇒ funzionamento a canaletta (condotta a pelo libero)

## Condotte vecchie

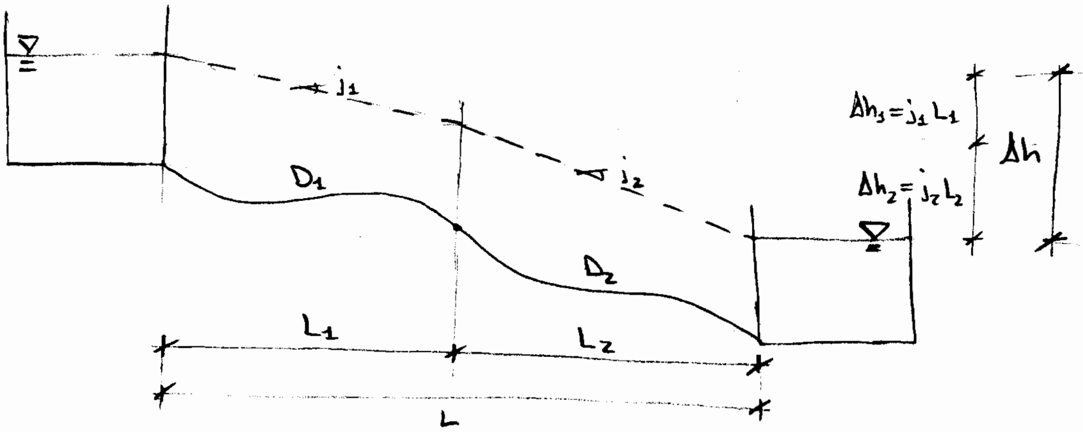



fenomeni di invecchiamento delle condotte per il lungo esercizio
→ cadente nelle condotte vecchie maggiore di quella delle condotte nuove per l'adduzione di Q a parità di D

per evitare il tratto in depressione nella condotta nuova inseriamo una saracinesca a valle di C
→ perdita di carico localizzata $C_1C_2$ se saracinesca messa chiusa in fase di condotta nuova
→ apertura della saracinesca in fase di condotta vecchia

problema pratico: dopo 10 anni nessuno andrà ad aprire la saracinesca!

## DIMENSIONAMENTO




$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot k_s \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} j^{1/2} \Rightarrow \begin{cases} D = 1.548 \left(\dfrac{Q}{k_s \sqrt{j}}\right)^{3/8} \\ j = 10.293 \left(\dfrac{Q}{k_s D^{8/3}}\right)^2 \end{cases}$$

Siccome D non è, in generale, pari ad un diametro commerciale, realizziamo una condotta in due tronchi che soddisfi il sistema:

$$\begin{cases} \Delta h = j_1 L_1 + j_2 L_2 \\ L = L_1 + L_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} L_1 = \dfrac{\Delta h - j_2 L}{j_1 - j_2} \\ L_2 = L - L_1 \end{cases}$$

Discorso analogo vale per condotte con sollevamento.

# OTTIMIZZAZIONE

## ADDUZIONE a GRAVITÀ

### Distribuzione ottimale dei diametri

costo annuale di gestione della condotta

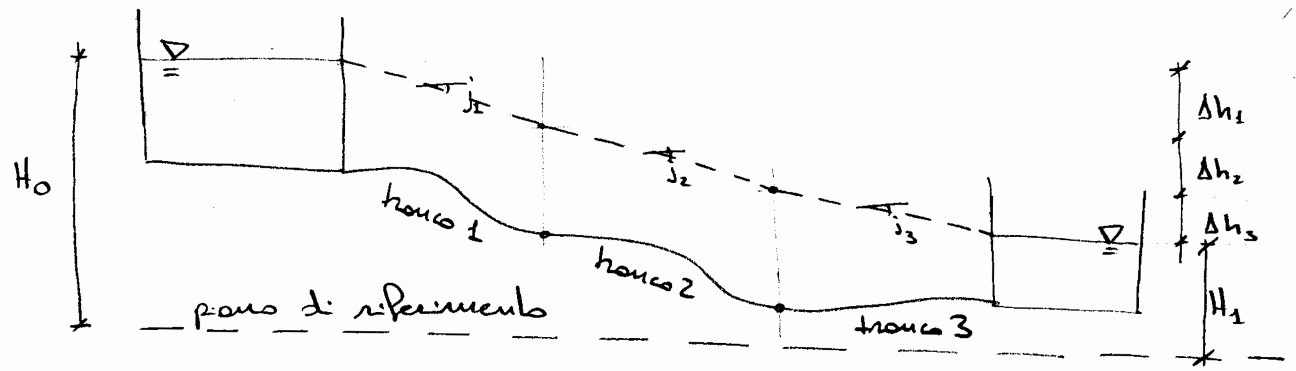
$C_a = r\,C_u$

- manutenzione
- opere accessorie
- personale
- gestione tecnico-amministrativa
- quota di ammortamento annuo della costruzione

costo per unità di lunghezza: $C_u = C_u(D) = k D^{\alpha}$

ammortamento: $r = \dfrac{(1+i)^N \cdot i}{(1+i)^N - 1} \triangleq 10-15\%$

$i$: tasso di interesse annuo
$N$: numero di anni di vita dell'impianto




tronco: tratto di adduzione con D, Q, scabrezza, costo costanti

Determiniamo la distribuzione dei diametri che renda minimo il costo complessivo con il vincolo che la perdita di carico totale sia pari a $\Delta h = H_0 - H_1$.

$$\sum_{i=1}^{m} C_{u,i}(D_i)\, L_i = \min \qquad \text{(funzione obiettivo)}$$

$$\Delta h = \sum_{i=1}^{m} j_i L_i \qquad \text{(vincolo)}$$

$$\begin{cases} j_i = \beta \dfrac{Q_i^2}{D_i^2} \\ C_u = C_u(D) = k D^\alpha \end{cases} \Rightarrow C_u = C_u(j) = k\left(\beta \frac{Q^2}{j}\right)^{\alpha/5}$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^{n} C_{u,i}(j_i)\, L_i = \min \qquad \text{(funzione obiettivo)}$$

Possiamo risolvere il problema di minimo vincolato con l'uso dei moltiplicatori indeterminati di Lagrange:

$$\Psi = \sum_{i=1}^{n} C_{u,i}(j_i)\, L_i + \lambda\left(\Delta h - \sum_{i=1}^{n} j_i L_i\right)$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \Psi}{\partial j} = \dfrac{d C_{u,i}}{d j_i} - \lambda = 0 \qquad \text{per } i = 1, 2, \dots, n \\ \dfrac{\partial \Psi}{\partial \lambda} = \Delta h - \displaystyle\sum_{i=1}^{n} j_i L_i = 0 \end{cases}$$

Se assumiamo $C_u(D) = kD$ $(\alpha = 1)$ abbiamo

- $$\frac{d C_{u,i}}{d j_i} = \frac{d C_{u,i}}{d D_i} \cdot \frac{d D_i}{d j_i} = -k_i \frac{D_i^6}{5\beta Q_i^2}$$

$$\Rightarrow -\lambda = k_i \frac{D_i^6}{5\beta Q_i^2} \Rightarrow \frac{k_1^{1/6}}{Q_1^{1/3}} D_1 = \_\_ = \frac{k_n^{1/6}}{Q_n^{1/6}} D_n$$

- $$\Delta h_i = j_i L_i = \beta \frac{Q_i^2}{D_i^5} L_i \Rightarrow D_i = \left(\beta \frac{Q_i^2 L_i}{\Delta h_i}\right)^{1/5}$$

$$\Rightarrow -\lambda = \text{costante} = k_i \frac{D_i^6}{5\beta Q_i^2} = k_i \frac{\beta^{6/5} Q_i^{6/5} L_i^{6/5}}{5 \Delta h_i^{6/5} \beta Q_i^2}$$

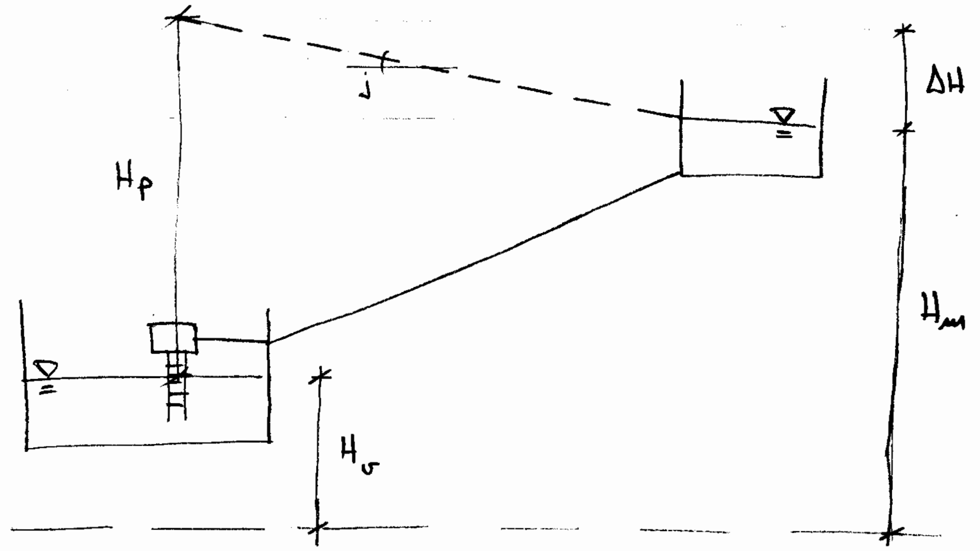
$$\Rightarrow \Delta h_i = \frac{k_i^{5/6} Q_i^{1/3} L_i}{\text{costante}}$$

$$\Rightarrow k_1^{5/6} Q_1^{1/3} \frac{L_1}{\Delta h_1} = \_\_ = k_n^{5/6} Q_n^{1/3} \frac{L_n}{\Delta h_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_i^{5/6} Q_i^{1/3} L_i}{\Delta h}$$

$$\text{dati} \begin{cases} k_i \\ Q_i \\ L_i \\ \Delta h \end{cases} \longrightarrow \Delta h_i \longrightarrow D_i = \left(\beta \frac{Q_i^2 L_i}{\Delta h_i}\right)^{1/5}$$

# ADDUZIONE con SOLLEVAMENTO

## Ottimizzazione dei diametri




costi:
- tubazione
  - diametri
  - costanti
- pompaggio
  - costanti
  - energia

costanti: ammortamento, manutenzione, opere generali, personale

potenza della pompa: $P = \dfrac{\gamma Q H_p}{\eta}$

costo totale annuo (del pompaggio): $C_{PA} = P \cdot T_f \cdot C_E$

$T_f$: tempo funzionamento; $C_E$: costo unitario energia

costo per unità di prevalenza: $C_{H_p} = \dfrac{\gamma Q}{\eta} T_f \, C_E$

costo totale adduzione: $C_{TOT} = C_{H_p} \cdot H_p + r \sum_{i=1}^{n} C_{u,i}(j_i) L_i$

Utilizziamo il metodo dei moltiplicatori di Lagrange

$$C_{TOT} = \frac{\gamma Q}{\eta} T_f \cdot C_E \cdot H_p + r \, C_{u,i}(j_i) L_i = \min \quad \text{(funzione obiettivo)}$$

$$\Delta H = \sum_{i=1}^{n} j_i L_i$$

$$\Rightarrow \psi = C_{H_p} \cdot H_p + r \, C_{u,i}(j_i) L_i + \lambda \left( \Delta H - \sum_{i=1}^{n} j_i L_i \right)$$

$$\stackrel{!}{=} C_{H_p} \cdot H_p + r \, (C_{u,i}(j_i) L_i + \lambda \left( H_p + H_v - H_m - \sum_{i=1}^{n} j_i L_i \right)$$

$$
\begin{cases}
\dfrac{\partial \Psi}{\partial H_p} = C_{H_p} + \lambda = 0 \quad \Rightarrow \quad C_{H_p} = -\lambda \\[2ex]
\dfrac{\partial \Psi}{\partial j_i} = r \, \dfrac{d C_{m,i}}{d j_i} = \lambda \quad \text{per } i = 1, 2, \dots, n \\[2ex]
\dfrac{\partial \Psi}{\partial \lambda} = H_p + H_v - H_m - \sum_{i=1}^{n} j_i L_i = 0
\end{cases}
$$

$$
\Rightarrow \frac{d C_{m,i}}{d j_i} = - \frac{C_{H_p}}{r} \quad \text{per } i = 1, 2, \dots, n
$$

$$
\Rightarrow \begin{cases}
\dfrac{d C_{m,i}}{d j_i} = - k_i \, \dfrac{D_i^{6}}{5 \beta Q_i^{2}} \\[2ex]
\dfrac{d C_{m,i}}{d j_i} = - \dfrac{3}{16} \, \dfrac{k_i D_i^{19/3}}{\beta_i Q_i^{2}}
\end{cases}
\Rightarrow
\begin{cases}
D_i = \left( \dfrac{5 \beta C_{H_p} Q_i^{2}}{r k_i} \right)^{1/6} \\[2ex]
D_i = \left( \dfrac{16}{3} \, \dfrac{C_{H_p} \beta_i Q_i^{2}}{r k_i} \right)^{3/19}
\end{cases}
$$

$$
\Rightarrow H_p = H_m + \sum_{i=1}^{n} j_i L_i - H_v
$$

## Algoritmo del simplesso

problemi del metodo di Lagrange:

- difficoltà di passaggio da diametri teorici a commerciali;
- sistema non lineare nel caso di rete a maglie aperte;

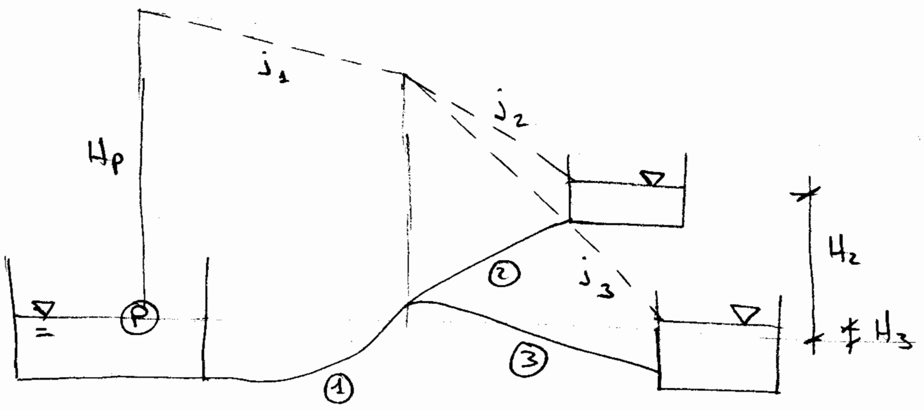
• l'algoritmo del simplesso per la programmazione lineare è basato sul fatto che la regione ammissibile forma un poliedro convesso

• il max di una funzione obiettivo lineare si trova sempre in corrispondenza di uno o più punti estremi (vertici del poliedro)

• con il metodo del simplesso si giunge alla soluzione senza dover verificare tutti i vertici:

- se un vertice V ha valore della funzione obiettivo non peggiore di tutti i vertici ad esso adiacenti, V è soluzione;
- se esiste un vertice adiacente a V con un valore migliore della funzione obiettivo, allora eseguiamo il controllo sui vertici ad esso adiacenti.

processo iterativo




Cerchiamo la composizione ottimale dei tratti di condotta di dato diametro per ogni tronco.

dati: $n$ tronchi (indice $i$)
$nd$ diametri commerciali possibili per ogni tronco (indice $j$)

F.O.: $$C_{H_p} H_p + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{nd} r\, C_{ij}\, l_{ij} = min$$

VINCOLI:
$$\sum_{j=1}^{nd} l_{ij} = L_i \quad \text{per } i = 1, \dots, n \qquad \text{(lunghezze)}$$

$$H_p - \left( \sum_{j=1}^{nd} j_{1,j}\, l_{1,j} + \sum_{j=1}^{nd} j_{2,j}\, l_{2,j} \right) = H_2$$

(quote)

$$H_p - \left( \quad '' \quad + \sum_{j=1}^{nd} j_{3,j}\, l_{3,j} \right) = H_3$$

tratto comune

...

$$H_p \le H_p^* \qquad \text{(limitazione prevalenza)}$$

Si può dimostrare che l'algoritmo dà come risultato al massimo due diametri per ogni tronco.

N.B.: conviene fare un conto su di uno dei vincoli di uguaglianza per testare il sistema contro i problemi di zero macchina.