



Maurizio Giugni

## L'ACQUEDOTTO ESTERNO: TRACCIATO E CALCOLO IDRAULICO

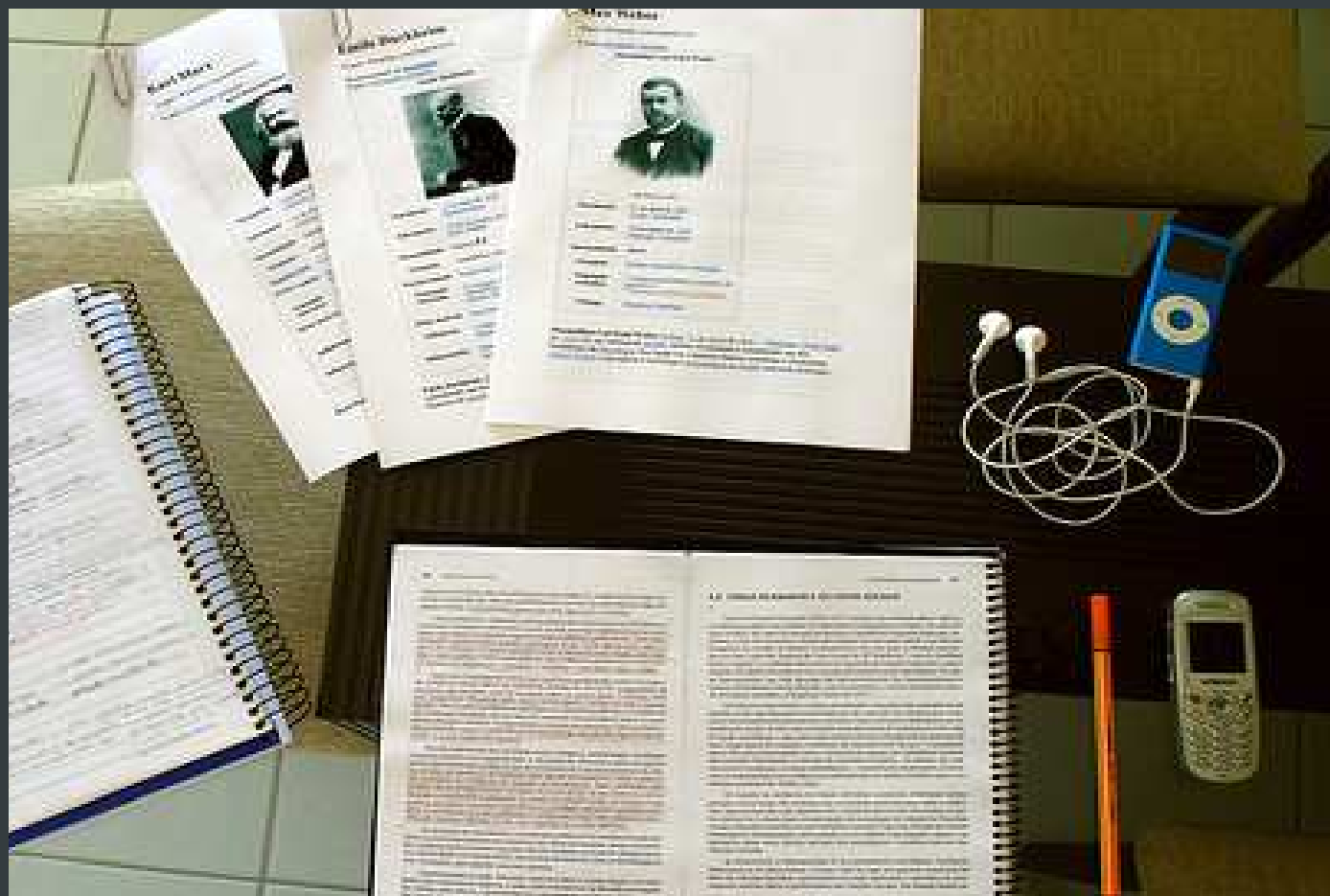
Lezione n. 3  
Parole chiave:  
Acquedotti

Corso di Laurea:  
IAeT

Insegnamento:  
Infrastrutture  
idrauliche

Email Docente:  
[giugni@unina.it](mailto:giugni@unina.it)

A.A. 2009-2010

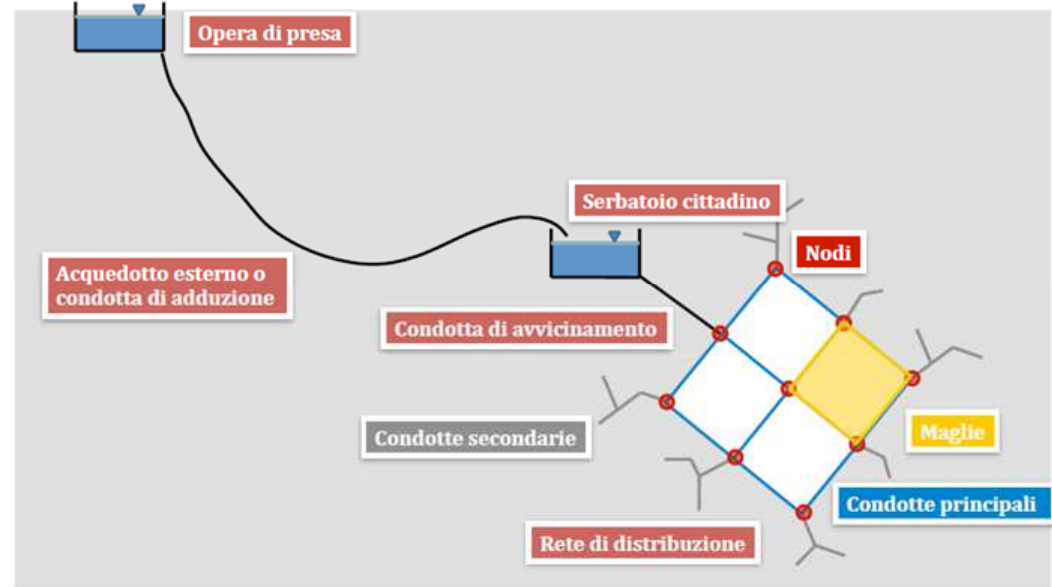


## TRACCIATO E CALCOLO IDRAULICO DELL'ACQUEDOTTO ESTERNO

### Generalità

Schema dell'opera:

opera di presa → acquedotto esterno → serbatoio



### Acquedotto esterno: **TIPOLOGIE**

**A PELO LIBERO:** solo per opere di grandi dimensioni e in particolari condizioni planoaltimetriche

**A PRESSIONE:** in genere da preferirsi, in quanto consente di svincolarsi in modo notevole dalle limitazioni imposte dalle caratteristiche altimetriche del terreno



## **TRACCIATO: criteri e considerazioni per una corretta definizione**

- **Da un lato conviene, dal punto di vista economico, realizzare il tracciato più breve tra due punti (presa, serbatoio). Dall'altro, occorre tener presenti le esigenze imposte dal profilo del terreno: un profilo accidentato, con molti punti depressi e/o elevati, è costoso per le opere d'arte che richiede (pozzetti di scarico, pozzetti di sfiato, opere di attraversamento)**
- **Se l'acquedotto è molto lungo può essere consigliabile "spezzarlo" in più sifoni**
- **Analisi delle pressioni di esercizio delle tubazioni**
- **Analisi delle caratteristiche geologiche, geotecniche, chimiche ed elettrochimiche dei terreni da attraversare: se possibile evitare zone con affioramenti rocciosi (il cui scavo è ovviamente molto costoso), boschi, zone acquitrinose, costoni franosi, anche a costo di allungare il tracciato**
- **Analisi dei problemi di esproprio, evitando le zone a colture più ricche**
- **Mantenersi se possibile in vicinanza delle infrastrutture stradali, sia per facilitare la posa e l'accessibilità alla condotta che per ridurre le spese di esproprio**
- **Analisi della difficoltà degli attraversamenti fluviali, ferroviari, stradali; valutare la possibilità di utilizzare opere di attraversamento esistenti.**

**In definitiva, lo studio del tracciato di un acquedotto esterno risulta piuttosto complesso, richiedendo un compromesso tra requisiti tecnici, igienici, di sicurezza ed economici dell'opera.**



Ovviamente, la definizione del tracciato richiede:

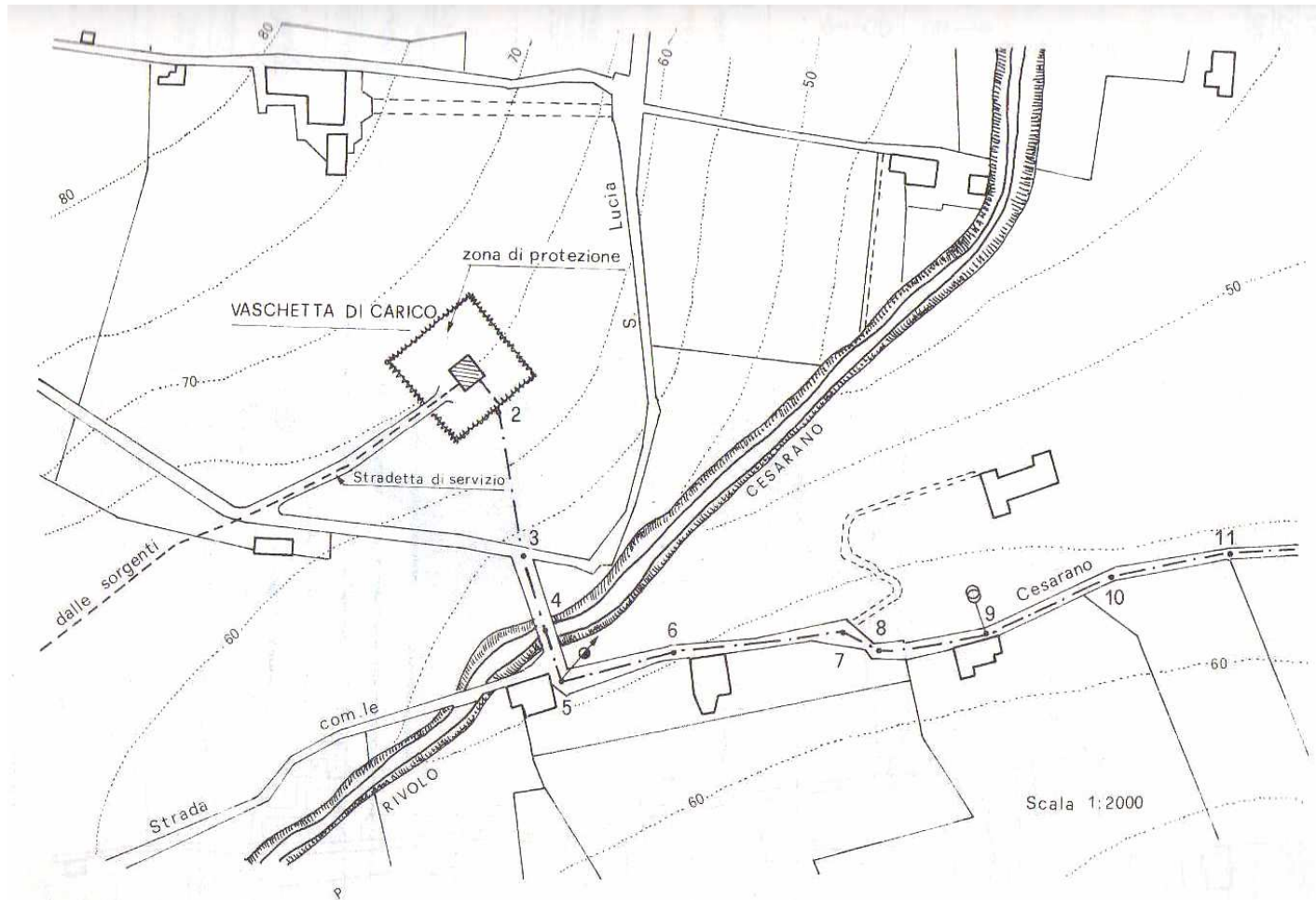
- Ispezione delle aree d'interesse
- Rilievi topografici orientativi
- Rilievi geologici, morfologici, agricoli dei terreni interessati

Si procederà, quindi, al tracciamento di:

- **PLANIMETRIA dell'acquedotto esterno**
- **PLANIMETRIA delle espropriazioni**
- **PROFILO LONGITUDINALE**, che contiene tutti gli elementi per il calcolo idraulico, per l'approvvigionamento dei tubi, per la determinazione degli scavi, ecc.

Molto importante, ovviamente, è il **posizionamento del serbatoio** (punto d'arrivo della condotta esterna).

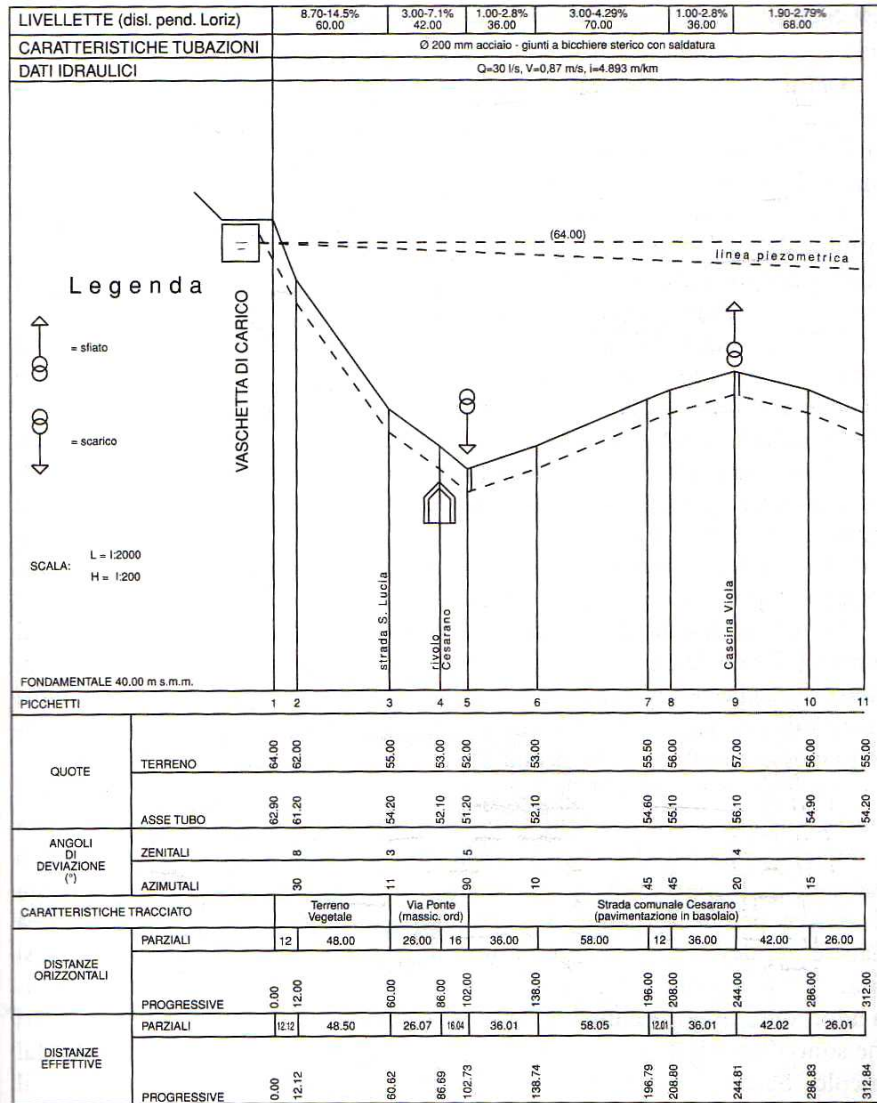
Esso se possibile deve essere ubicato il più possibile vicino all'abitato da servire; deve garantire un carico superiore di almeno 5-6 m al rubinetto più alto del fabbricato più elevato (funzionamento degli elettrodomestici); deve imporre un carico statico non superiore a 70 m nel punto più basso della rete idrica (D.M. 04/03/1996).



Da: G. Ippolito, *Appunti di costruzioni idrauliche*,  
Edizione aggiornata a cura di Giuseppe De Martino, Liguori Editore, Napoli



# Profilo longitudinale



Da G. Ippolito, *Appunti di costruzioni idrauliche*, Edizione aggiornata a cura di Giuseppe De Martino, Liguri Editore, Napoli



Il **dimensionamento delle tubazioni** viene effettuato con le formule ordinarie dell'Idraulica.

**FORMULE DI RESISTENZA IDRAULICA: FORMULA DI CHEZY e di GAUCKLER e STRICKLER**

- **Formula di Chézy**

$$J = \frac{q^2}{K^2 \sigma^2 R}$$

in cui :

- **J**: cadente piezometrica [m/m]
- **q**: portata circolante nel tronco [m<sup>3</sup>/s]
- **σ**: sezione idrica [m<sup>2</sup>]
- **R**: raggio idraulico = D/4 [m]
- **K**: coefficiente di scabrezza [m<sup>1/2</sup>/s]

$$K = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

**espressione secondo BAZIN**

$$K = \frac{100}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$$

**espressione secondo Kutter**

$$K = k_s R^{1/6}$$

**espressione secondo Gauckler e Strickler**

- **γ e m** : parametri di scabrezza [m<sup>1/2</sup>] (tab.1)
- **k<sub>s</sub>** : parametro di scabrezza [m<sup>1/3</sup>/s] (tab 1)



## Formule di resistenza

Tabella 1. Parametri di scabrezza per le formule di Chézy e di Gauckler e Strickler.

<i>Tipo di canale</i>	<i>Bazin</i> $\gamma$ [m <sup>1/2</sup> ]	<i>Kutter</i> $m$ [m <sup>1/2</sup> ]	<i>Gauckler Strickler</i> $k_s$ [m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> ]	<i>Scabrezza omogenea equivalente</i> $\varepsilon$ [mm]
Pareti di cemento perfettamente lisciate. Pareti metalliche con giunti a filo.	0.06	0.12	100 + 90	0.15 + 0.20
Pareti di cemento non perfettamente lisciate. Pareti metalliche con giunti in risalto. Muratura di mattoni molto regolare.	0.16	0.20 + 0.25	85 + 75	0.40 + 1.00
Pareti di cemento non in perfette condizioni. Muratura di mattoni ordinaria.	0.23 + 0.36	0.35 + 0.55	70 + 65	2 + 5
Pareti di cemento non lisciate. Muratura di mattoni irregolare o di pietrame. Pareti in terra molto regolare senza vegetazione.	0.46	0.55 + 0.75	60	8
Muratura vecchia e in condizioni non buone. Pareti in terra regolare.	0.60 + 0.85	0.75 + 1.25	50	15 + 30
Pareti rivestite con gabbioni o materassi in rete metallica riempiti con pietrame.	1.0	-	45	-
Pareti in terra con erba. Corsi d'acqua naturali regolari.	1.30	1.50	40	70
Pareti in terra in cattive condizioni. Corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia.	1.75	2.00	35	120 + 200
Canali in abbandono con vegetazione alta e abbondante. Corsi d'acqua naturali con grossi ciottoli o con grossi massi sull'alveo.	2.00 + 2.30	3.00	30	300 + 400



## FORMULE DI RESISTENZA IDRAULICA: FORMULA DI DARCY-WEISBACH

$$J = \lambda \frac{8 q^2}{\pi^2 g D^5}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{2,51}{R_e \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon/D}{3,71} \right) \quad \text{Colebrook - White}$$

- **J**: cadente piezometrica [m/m]
- **q**: portata idrica [m<sup>3</sup>/s]
- **D**: diametro della condotta [m]
- **λ**: indice di resistenza
- **ε**: indice di scabrezza [mm] (tab.1)
- **ν**: viscosità cinematica dell'acqua=1.31 10<sup>-6</sup> [m<sup>2</sup>/s];

- **R<sub>e</sub>**: numero di Reynolds =  $\frac{VD}{\nu}$



## FORMULE DI RESISTENZA IDRAULICA: FORMULE MONOMIE

### - Formula di Darcy

$$J = ci \beta \frac{q^2}{D^5}$$

in cui :

- **J**: cadente piezometrica [m/m]
- **q**: portata circolante nel tronco [m<sup>3</sup>/s]
- **D**: diametro della condotta [m]
- **β** = 0.00164+0.000042/D (tubi nuovi)
- **ci**: coeff. di invecchiamento =2

$$J = ci b \frac{q^a}{D^d}$$

in cui :

- **J**: cadente piezometrica [m/m]
- **q**: portata circolante nel tronco [m<sup>3</sup>/s]
- **D**: diametro della condotta [m]
- **ci**: coefficiente di invecchiamento =1.1-1.4

Formula	Tipo di materiale	b	a	d
De Marchi-Marchetti	Acciaio con rivestimento bituminoso interno a spessore	0,000983	1,81	4,80
Scimemi-Veronese	Acciaio senza saldatura semplicemente bitumato DN ≤ 400 mm	0,001456	1,82	4,71
Orsi	Acciaio saldato semplicemente bitumato DN ≤ 400 mm	0,000986	1,83	4,87
Scimemi	Fibrocemento e ghisa sferoidale con rivestimento interno cementizio	0,000984	1,78	4,78
Datei-Marzolo	PVC – PEad – PRFV	0,000944	1,80	4,80



### FORMULE DI RESISTENZA IDRAULICA: TUBI LISCI

Per i tubi tecnicamente lisci continua ad essere valida la formula di resistenza di Darcy-Weisbach, in cui per il fattore di resistenza  $\lambda$  può applicarsi una delle seguenti espressioni:

- **BLASIUS (1911)**

$$\lambda = 0.3164 \cdot Re^{-0.25}$$

valida per  $Re \leq 10^5$

- **PRANDTL-VON KARMAN**

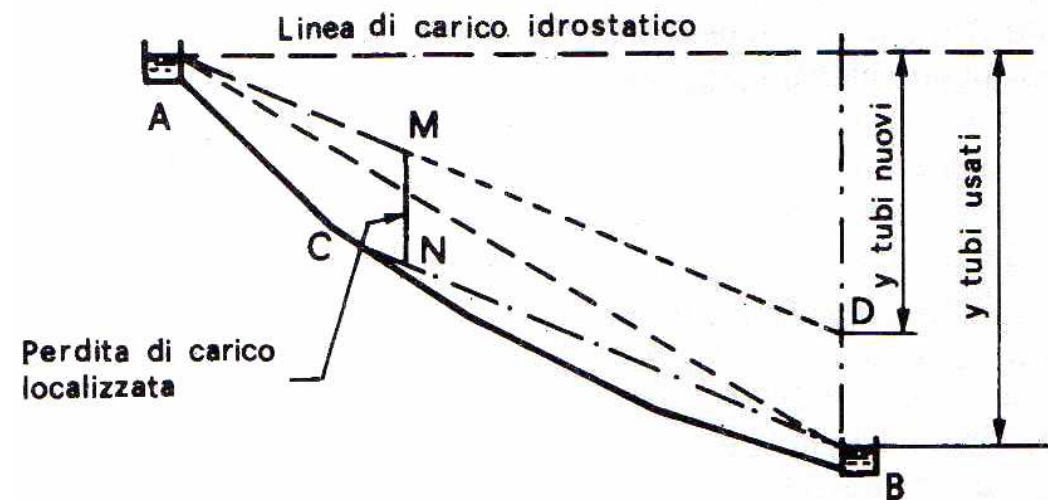
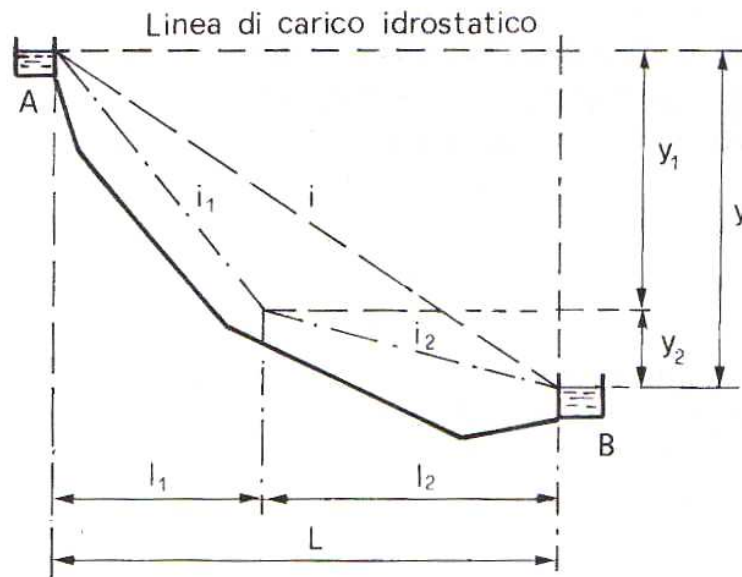
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log(Re \sqrt{\lambda}) - 0.8$$

valida per  $Re \leq 10^6$

Il dimensionamento idraulico della condotta va effettuato a **TUBI USATI**, se necessario ricorrendo anche ad un **doppio diametro**.

## Dissipazione del carico a tubi nuovi

Si può intervenire mediante una valvola di regolazione posta all'estremità a valle della condotta o in altra sezione (al fine di ridurre le pressioni d'esercizio lungo la linea). Se il carico da dissipare è maggiore di 20 m si può intervenire con valvole in serie. Se non si interviene, c'è il rischio d'ingresso d'aria della condotta, con relativi problemi (fenomeni di colpo d'ariete, aumento delle proprietà incrostanti dell'acqua, formazione di sacche d'aria con riduzione della capacità idrovettrice a regime).





## Presenza dell'aria in condotta

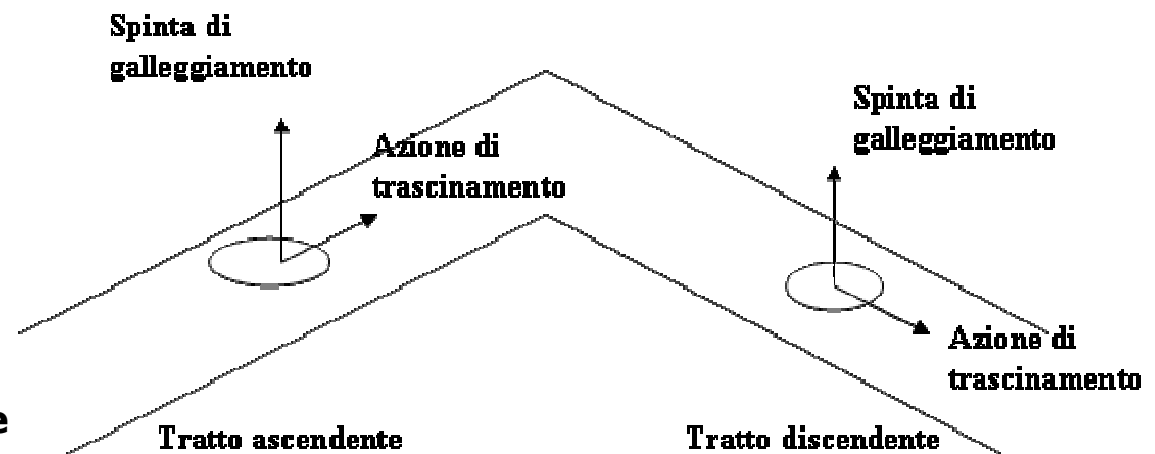
### Cause d'ingresso d'aria in condotta

- Insufficiente battente all'imbocco di presa
- Turbolenza in condotta in fase di riempimento
- Arrivo di correnti idriche in una vasca o serbatoio, con fenomeni d'areazione

### Azioni sulle bolle d'aria:

- Forze di trascinamento dell'acqua
- Componente della spinta di Archimede, secondo l'asse della condotta

Nei tronchi ascendenti, le suddette azioni si sommano trascinando la bolla; nei tratti discendenti è opportuno imporre alla condotta pendenze notevoli ( $> 2-3\%$ , se possibile), in modo da far prevalere la componente della spinta di galleggiamento sulla forza di trascinamento e portare la bolla alla cuspide, dove lo sfiato provvederà alla sua eliminazione.





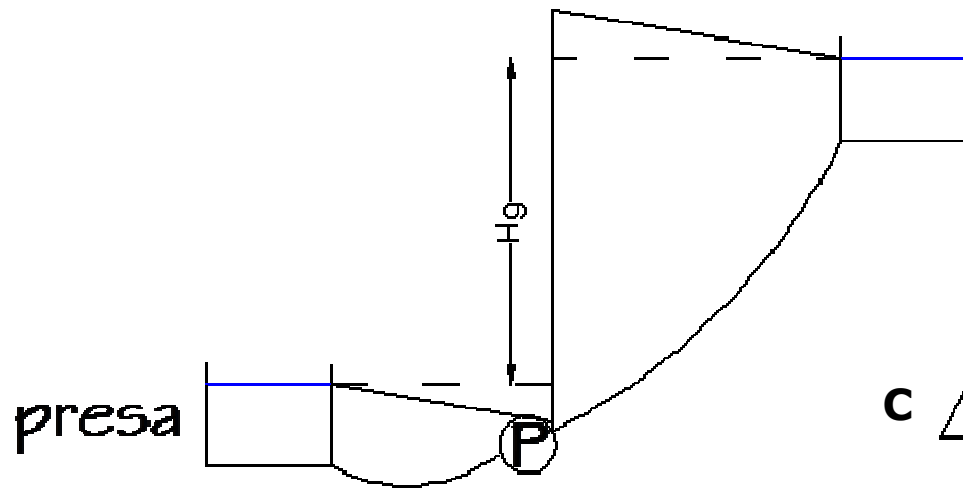
## Velocità limite

- **Velocità massime: 1.5-3 m/s**, onde evitare vibrazioni e pericolosi effetti in caso di colpo d'ariete
- **Velocità minime: 0.4-0.6 m/s**, onde evitare il riscaldamento dell'acqua e tempi di consegna troppo elevati



## Schema con sollevamento

### Schema con sollevamento



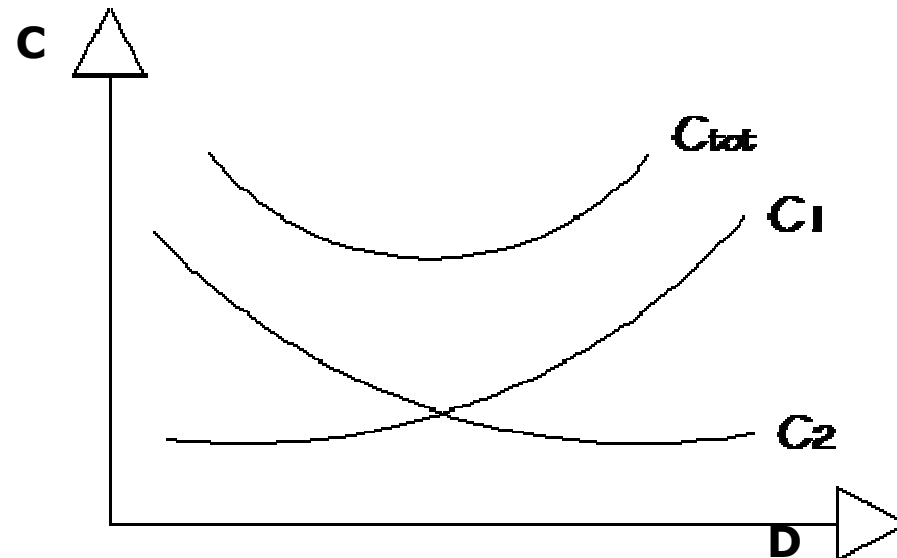
$H_g$ : prevalenza geodetica;

$H_m$ : prevalenza manometrica =  $H_g$  +  
perdite di carico in aspirazione e  
mandata

#### Minimizzazione costo condotta

$C_1$ : spesa d'impianto (aumenta con  $D$ )

$C_2$ : spesa per l'energia annua (si riduce  
all'incrementarsi di  $D$ , dal momento che  
diminuiscono le perdite di carico e di  
conseguenza  $H_m$ )



## Schemi gravità-sollevamento e sollevamento-gravità

Occorre minimizzare i costi tenendo conto anche della quota della vasca di sconnessione, la cui funzione è quella da un lato di sottrarre al colpo d'ariete il tronco a gravità, dall'altro di rendere meno gravoso il colpo d'ariete per il tronco elevatorio.

### SCHEMA GRAVITA' - SOLLEVAMENTO

Occorre minimizzare la spesa:

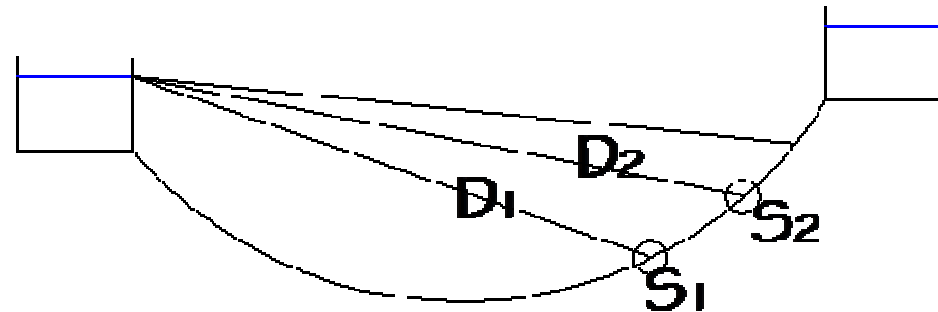
$$r C_1 + r C_2 + C_3$$

$r$  : tasso d'interesse

$C_1$ : costo acquisto e posa in opera condotta a gravità

$C_2$ : costo acquisto e posa in opera condotta di mandata

$C_3$ : costo dell'energia annua utilizzata





## SCHEMA SOLLEVAMENTO - GRAVITA'

Occorre minimizzare la spesa:

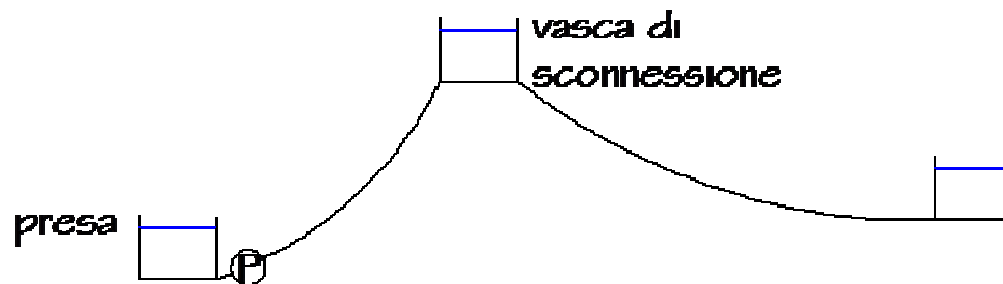
$$r C_1 + r C_2 + C_3$$

$r$ : tasso d'interesse

$C_1$ : costo acquisto e posa in opera condotta a gravità

$C_2$ : costo acquisto e posa in opera condotta di mandata

$C_3$ : costo dell'energia annua utilizzata



$$C_1 = \pi D s L \gamma_{\text{cond}} \text{ costo/kg}$$

$$C_3 = 9.8 Q H_m (1/\eta) n c_{\text{kWh}}$$

in cui:

$D$ : diametro della condotta

$s$ : spessore della condotta

$L$ : lunghezza della condotta

$\gamma_{\text{cond}}$ : peso specifico della condotta

$n$ : numero di ore annue di funzionamento

$c_{\text{kWh}}$ : costo del kilowattora

$Q$ : portata idrica

$H_m$ : prevalenza manometrica

$\eta$ : rendimento del gruppo motore pompa



### Schema con sollevamento

**Deve essere presa in esame la possibilità di funzionamento dell'impianto elevatorio in modo continuo (24h/giorno) o per parte della giornata (24, 16, 8 h/giorno).**

**Un funzionamento discontinuo comporta:**

- **Aggravi economici: pompe di maggior potenza, tubazioni di mandata di diametro maggiore, vasche di compenso in cui si accumula l'acqua durante il periodo di stop dell'impianto elevatorio;**
- **Risparmio sui costi del personale addetto all'esercizio dell'impianto, in quanto esso può essere ridotto a due (16 ore) o ad un turno (8 ore) anziché prevedere i tre turni continuativi (24 ore).**

**Per impianti di modesta potenza (< 50 kW) il macchinario elettromeccanico può essere automatizzato, asservendo eventualmente le elettropompe ai livelli idrici nella vasca di aspirazione e nel serbatoio.**



**IPPOLITO, G., *Appunti di Costruzioni Idrauliche*, Liguori Editore, NAPOLI**

**MILANO, V., *Acquedotti*, Hoepli Editore**