



Dipartimento di **I**ngegneria **I**draulica ed  
Applicazioni **A**mbientali

Anno Accademico 2008 – 2009

## **CORSO DI SISTEMI IDRAULICI URBANI**

Ingegneria per l'ambiente ed il territorio N.O.

***Prof. Ing. Goffredo La Loggia***

### **Esercitazione 1:**

**Progetto di un acquedotto esterno e  
di un serbatoio cittadino**



- Generalità sugli acquedotti
- Elementi principali di un sistema acquedottistico.
- Posizionamento del serbatoio cittadino
- Scelta del tracciato dell'acquedotto esterno
- Dimensionamento idraulico dell'acquedotto esterno
- Costruzione del profilo longitudinale e costruttivo



# Definizione di acquedotto

Insieme delle **opere necessarie** per:

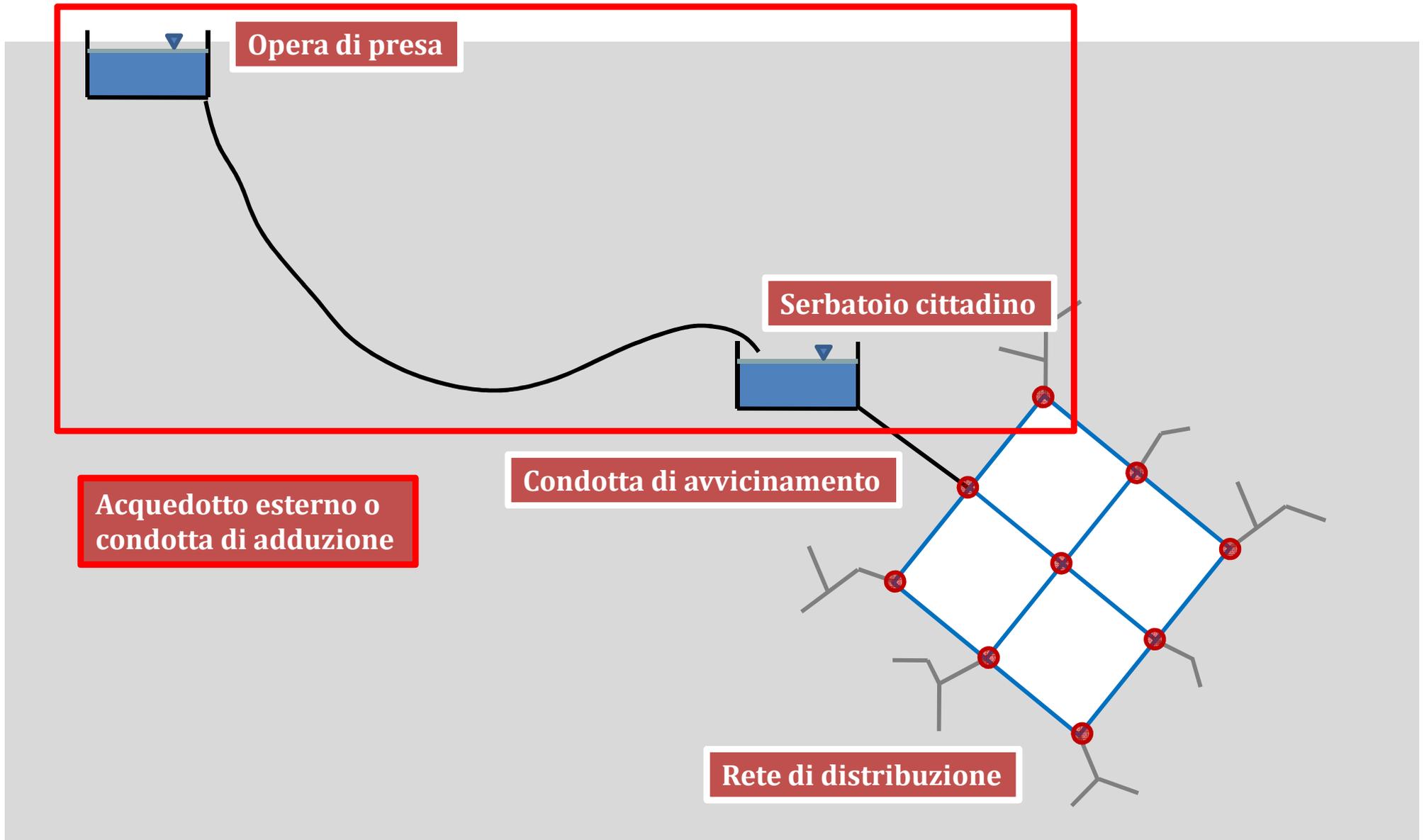
- ✓ **PRELEVARE**
- ✓ **TRATTARE (eventualmente)**
- ✓ **TRASFERIRE**
- ✓ **IMMAGAZZINARE**
- ✓ **DISTRIBUIRE**

**acqua potabile** quale che sia la sua destinazione



- ***Opera di Presa***
- ***Adduzione o Acquedotto Esterno***
- ***Serbatoio Cittadino***
- ***Condotta di Avvicinamento***
- ***Rete di Distribuzione***







Collegano l'opera di presa con il serbatoio cittadino

## Modalità di funzionamento

### a) A gravità

- In pressione (usuale)
- A pelo libero (grandi portate, ma problemi relativi alle quote del tracciato e alla qualità dell'acqua)

### b) Per sollevamento

## Fasi del progetto:

- Localizzazione opera di presa
- Posizionamento del serbatoio di accumulo
- Studio del tracciato



# Ubicazione del serbatoio di accumulo

- La posizione del serbatoio di accumulo dipende innanzitutto dalla quota del pelo libero che si intende realizzare all'interno della vasca.
- Tale quota rappresenta la quota del piano dei carichi idrostatici della rete di distribuzione interna.
- La quota del pelo libero all'interno del serbatoio deve consentire:
  - **durante le ore diurne** di massimo consumo (ore di punta), la regolare erogazione dell'acqua a tutte le utenze servite dalla rete di distribuzione interna;
  - **durante la notte**, quando le richieste di portata da parte delle utenze sono minime (al limite nulle) il carico in rete non deve essere così elevato da costituire un problema per l'integrità delle guarnizioni degli apparecchi erogatori (DPCM 4/3/96 contenente disposizioni in materia di risorse idriche).



## Posizionamento del serbatoio: Quote e livelli

La quota del serbatoio è legata alle pressioni massime e minime che si vogliono nella rete a valle.

Generalmente si considerano i seguenti valori :

Pressioni minime:  $20 \div 25$  m

Pressioni massime:  $70 \div 80$  m

La massima variazione del livello dell'acqua nel serbatoio è generalmente compresa tra i valori :

Variazione massima del livello:  $2.5 \div 8$  m

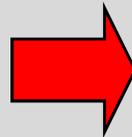


## Posizionamento del serbatoio: Quote e livelli

Con i normali valori delle pressioni massime e minime si deduce che

l'area servita dalla rete allacciata ad un serbatoio può avere **dislivelli topografici inferiori ai 60 m.**

Centri urbani con dislivelli  
>60 m



Sottoreti di distribuzione  
separate con serbatoi  
indipendenti



# Quota del pelo libero del serbatoio di accumulo

Con riferimento alle **condizioni di punta**, è possibile determinare la quota minima da attribuire al pelo libero del serbatoio attraverso la seguente disequaglianza:

$$H_{\min} = z_{\max} + h_{ed} + \Delta H_{ca} + \Delta H_m + H_{res}$$

$z_{\max}$ , massima quota del terreno all'interno del centro abitato;

$h_{ed}$ , altezza dei fabbricati in prossimità del punto di quota massima;

$\Delta H_{ca}$ , perdita di carico nella condotta di avvicinamento (5÷10m);

$\Delta H_m$ , perdita di carico all'interno della montante del fabbricato;

$H_{res}$ , carico residuo per la regolare erogazione dai rubinetti.



## Quota del pelo libero del serbatoio di accumulo

Con riferimento alle condizioni notturne di portata nulla, è altresì possibile determinare la *quota massima* del pelo libero del serbatoio, oltre la quale la pressione gravante sugli apparecchi erogatori risulterebbe eccessiva:

$$H_{\max} = z_{\min} + H_{\lim}$$

$z_{\min}$ , quota minima del terreno all'interno del centro abitato;

$H_{\lim}$ , massima pressione sugli erogatori del piano terra (70÷80m).



# Quota del pelo libero del serbatoio di accumulo

Deve risultare:

$$H_{\min} \leq H_s \leq H_{\max}$$

Soprattutto nelle reti a servizio di centri abitati di grandi dimensioni, può accadere che, a causa dell'andamento del terreno, non sia possibile soddisfare la disuguaglianza ( $H_{\min} > H_{\max}$ ).

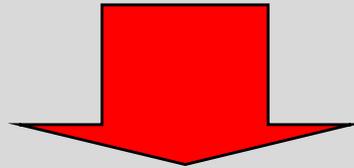
In tali casi è opportuno dividere la rete di distribuzione interna in due o più zone, che possono essere disconnesse e alimentate da serbatoi distinti, oppure connesse tra loro, ma con opportune valvole riduttrici di pressione installate in corrispondenza dei nodi di giunzione



# Posizionamento del serbatoio: Ubicazione

E' scelta in base ai seguenti criteri:

- massima uniformità delle pressioni
- massima affidabilità
- minimo costo

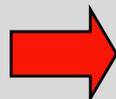


- baricentrica o il più possibile vicina alla rete
- possibilmente ad una quota tale da permettere il funzionamento a gravità



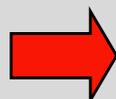
## Posizionamento del serbatoio: Ubicazione

serbatoio di testata



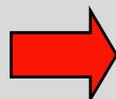
Soluzione più comune, compatibilmente con la disponibilità di un'area a quota opportuna.

serbatoio di estremità



Se l'area adatta si trova dall'altra parte del centro urbano rispetto alla rete di adduzione; meglio con **torrino piezometrico** di testata.

serbatoio intermedio



Generalmente per sottoreti separate.



# ACQUEDOTTO ESTERNO: Fattori che determinano la scelta del tracciato

- Posizione dell'opera di presa e del serbatoio
- Strade esistenti: se possibile seguire la sede stradale
  - si limitano le espropriazioni e/o servitù,
  - facilità di accesso
  - problemi di traffico
- Presenza di zone d'insediamento e fonti di possibile inquinamento
- Caratteristiche geologiche dei terreni
  - Attraversare terreni di posa in cui sia facile scavare, evitando zone in frana o terreni aggressivi o scoscesi a mezza costa;
  - Attraversare eventuali zone di instabilità posando la condotta lungo le linee di massima pendenza



# ACQUEDOTTO ESTERNO: Fattori che determinano la scelta del tracciato

- Condizioni topografiche
  - Attraversamento di fiumi, torrenti e valloni in corrispondenza dei ponti stradali
  - Evitare di attraversare strade e ferrovie
  - Evitare l'attraversamento di vallate profonde (elevate pressioni di esercizio)
  - Limitare la costruzione di gallerie
- Considerazioni economiche
  - Partire sempre dal tracciato che consente la lunghezza minima della condotta



# ACQUEDOTTO ESTERNO: Fattori che determinano la scelta del tracciato

- Condizioni topografiche
  - Attraversamento di fiumi, torrenti e valloni in corrispondenza dei ponti stradali
  - Evitare di attraversare strade e ferrovie
  - Evitare l'attraversamento di vallate profonde (elevate pressioni di esercizio)
  - Limitare la costruzione di gallerie
- Considerazioni economiche
  - Partire sempre dal tracciato che consente la lunghezza minima della condotta



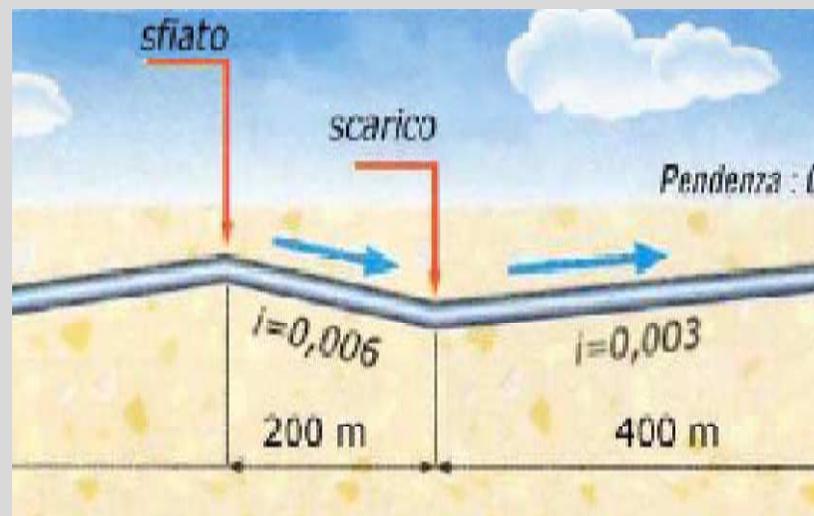
# ACQUEDOTTO ESTERNO: Fattori che determinano la scelta del tracciato ciato

- Profondità di posa (1,5 -2 m)
  - Ricoprimento minimo 1,2 m
  - Protezione termica
  - Condizioni statiche della tubazione
- Pressioni di esercizio
  - Altezze piezometriche minime 5 m per garanzie igieniche
  - Altezze piezometriche massime da limitare per contenere le PN e i costi della condotta
- Velocità in condotta
  - Superiori a 0,5 m/s per evitare surriscaldamento dell'acqua
  - Inferiori a 2,5 m/s per evitare eccessive vibrazioni delle condotte, e limitare le sovrappressioni di colpo d'Ariete



# ACQUEDOTTO ESTERNO: Fattori che determinano la scelta del tracciato

- Pendenze
  - Apparecchiature di sfiato nei punti di colmo
  - Apparecchiature di scarico nei punti di minimo
  - Minima di 0,2% in salita e 0,4% in discesa
  - Nei tratti in cui la pendenza del terreno è trascurabile adottare un profilo a dente di sega



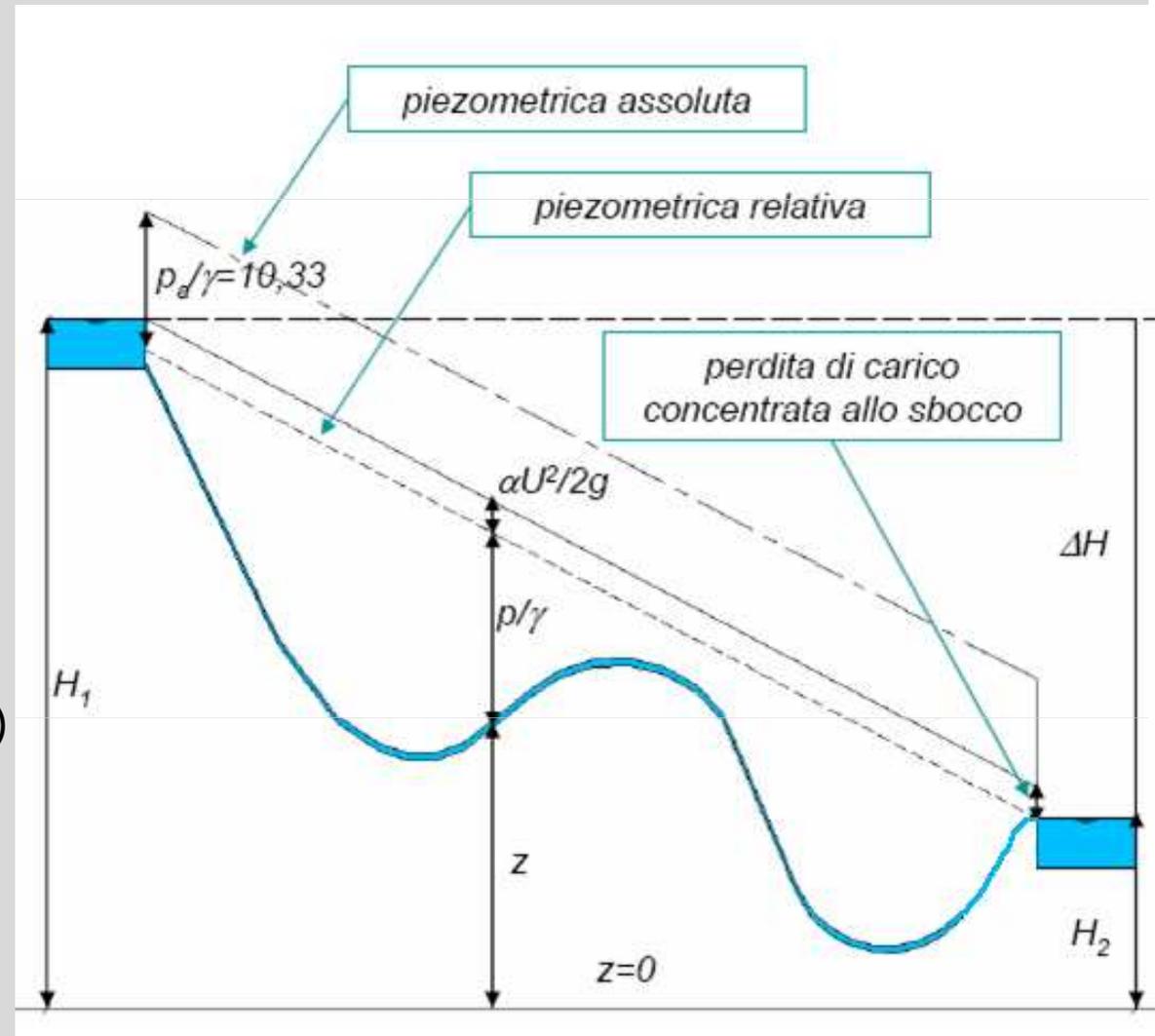


# Andamento altimetrico del tracciato

- Serbatoi di monte ( $H_1$ ) e di valle ( $H_2$ ) a livello costante
- Portata costante  $Q$
- Condotta a diametro cost. ( $D$ )  
(condizioni di moto uniforme)

$$J = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

- Perdite di carico concentrate all'imbocco e allo sbocco,  
(condizioni di moto permanente)
- La condotta è posta tutta al di sotto della piezometrica relativa

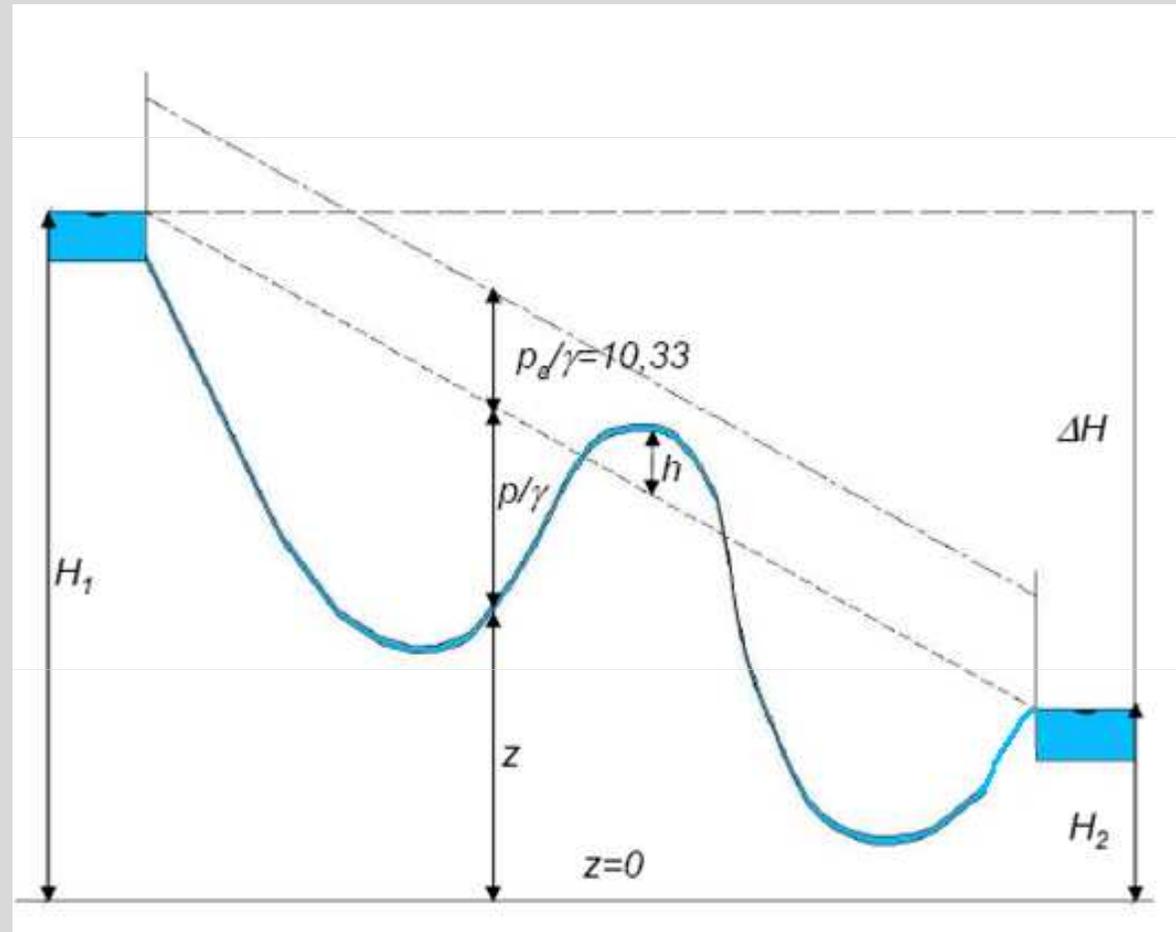




# Andamento altimetrico del tracciato

- La condotta è posta parzialmente al di sopra della piezometrica relativa ma sempre al di sotto di quella assoluta
- Condotta a tenuta d'aria
- Al di sopra della piezometrica relativa la pressione è minore di quella atmosferica, la pressione relativa è negativa

$$p = -\gamma h$$





# Dimensionamento idraulico

**PORTATA DI PROGETTO:** Portata media nel giorno di massimo consumo

Formule di validità generale

Formula di Darcy-Weisbach:

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

Con

D diametro interno del tubo

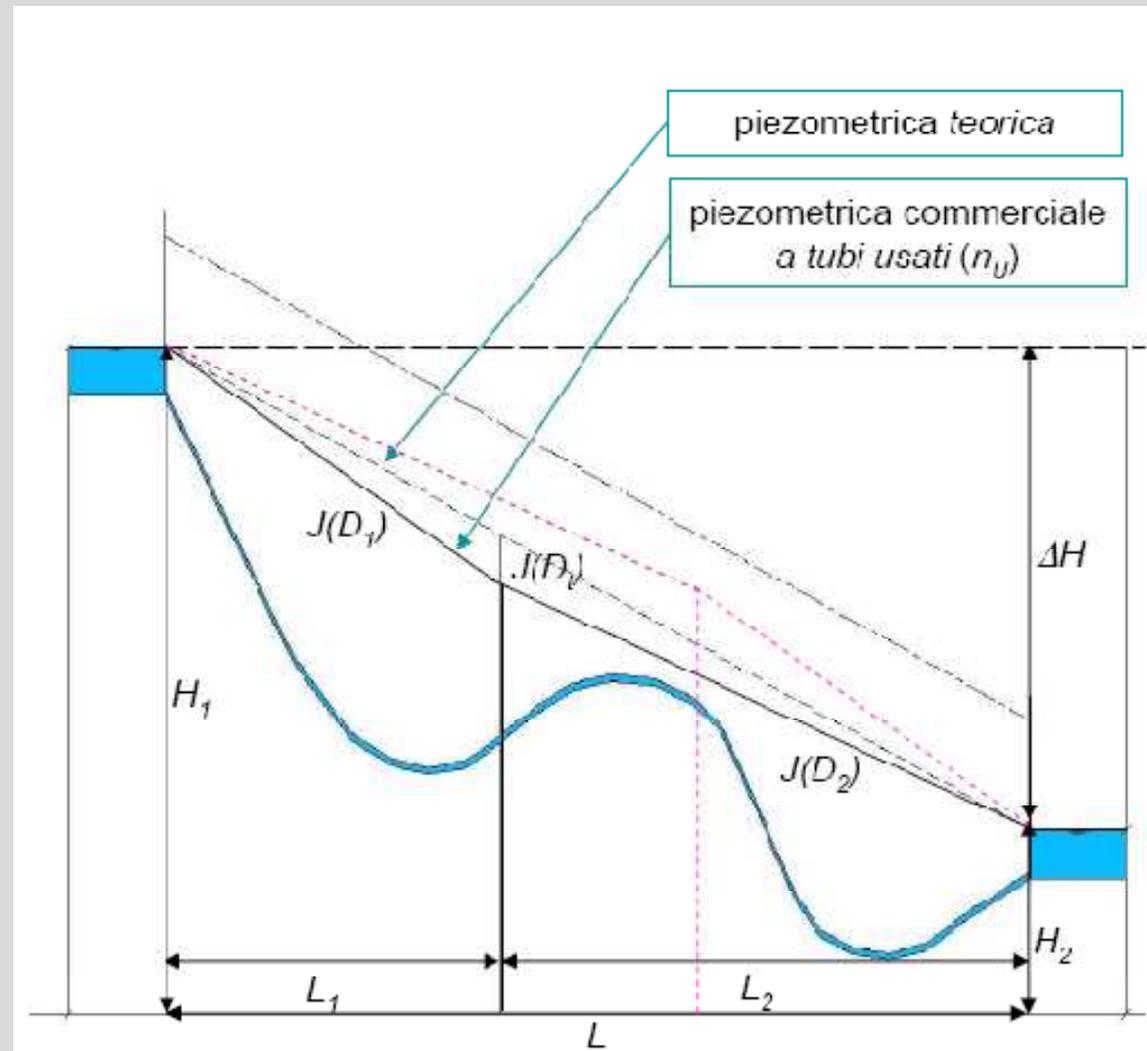
U velocità in condotta

g accelerazione di gravità

$\lambda$  coefficiente di resistenza

calcolabile con la formula di  
Colebrook and White:

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





# Dimensionamento idraulico

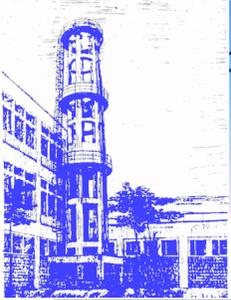
Nell'ipotesi di regime di moto puramente turbolento:

$$\left\{ \begin{array}{l} J = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{8\lambda}{g\pi^2} \cdot \frac{Q^2}{D^5} \\ \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{\varepsilon}{3,71 \cdot D} \end{array} \right. \Rightarrow D_{\text{teorico}}$$

Noto il diametro bisogna verificare se l'ipotesi di moto puramente turbolento sia verificata o meno.

Si calcola  $Re$  e lo si confronta con  $Re''$ , che segna il passaggio tra il moto di transizione e quello puramente turbolento:

$$Re > Re'' = \frac{200}{\frac{\varepsilon}{D} \cdot \sqrt{\lambda_{\infty}}}$$



# Dimensionamento idraulico: Formule pratiche

Formula di Darcy (per tubi in ghisa e regime puramente turbolento):

$$J = \beta \frac{Q^2}{D_i^5} \quad \beta = 0,00164 + \frac{0,000042}{D} \quad \text{vale per } D_i \leq 400 \text{ mm}$$

Formula di Scimemi- Veronese (per tubi in acciaio e regime di transizione):

$$J = 0,000627 Q^{1,79} D^{-4,88} \quad \text{vale per } D_i \leq 400 \text{ mm}$$

Formula di Blasius (per tubi lisci ( $Re \leq 10^5$ ))

$$J = 0,00079 Q^{1,75} D^{-4,79}$$

Per le perdite di carico a tubi usati si incrementa dal 10 al 50%

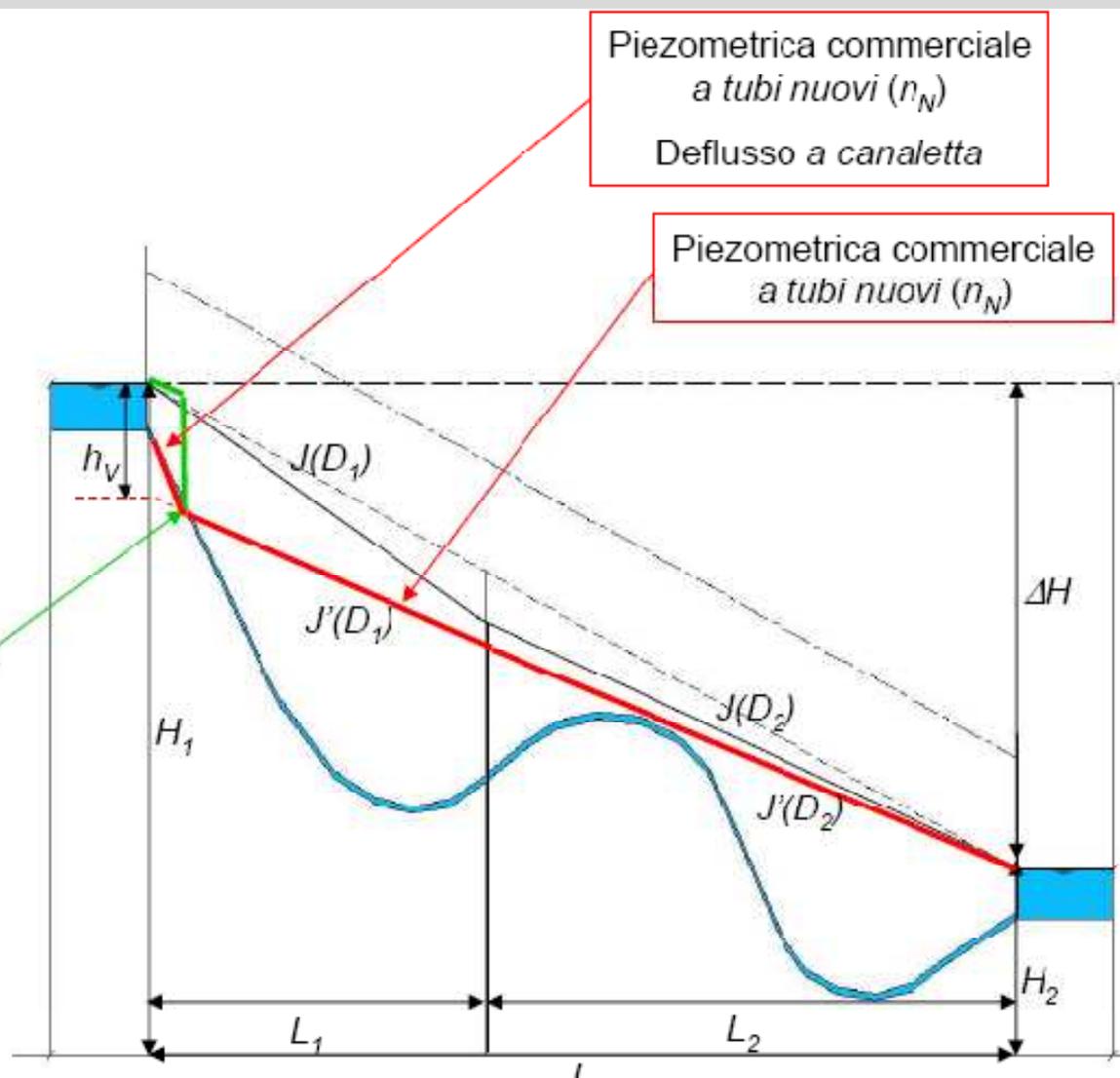


# Dimensionamento idraulico

$$J'(D_{1,2}) < J(D_{1,2})$$

Valvola dissipatrice di carico  
Modifica l'andamento della  
piezometrica a tubi nuovi

$$h_V = [J(D_1)L_1 + J(D_2)L_2] + \\ - [J'(D_1)L_1 + J'(D_2)L_2]$$



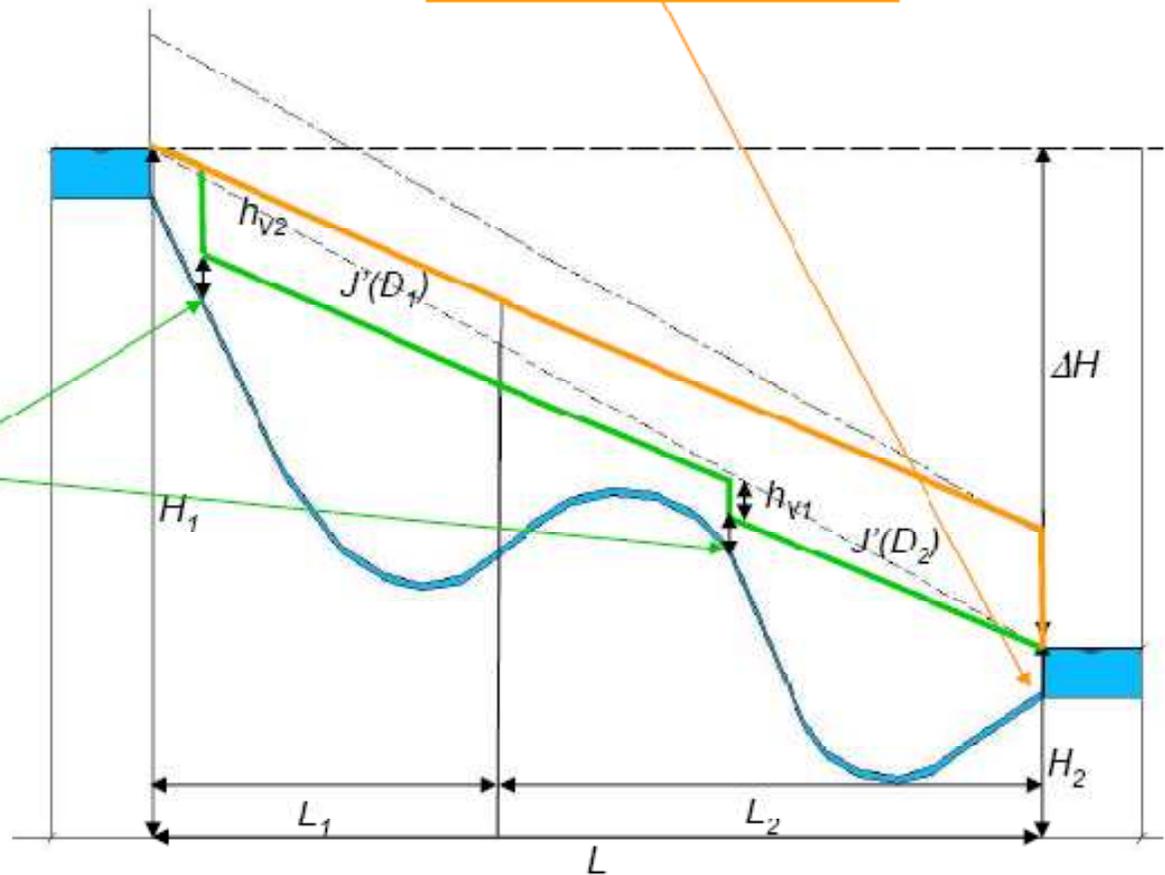


# Dimensionamento idraulico

Disposizione alternativa di un'unica valvola dissipatrice di carico

$$h_V = h_{V1} + h_{V2}$$

Disposizione di valvole dissipatrici di carico per garantire pressioni mai inferiori a 5 m





## Progetto preliminare di un acquedotto esterno

Si utilizzano comunemente le carte 1:25000 dell'I.G.M (tavole) ed altre carte tematiche (carta geologica, dell'uso del suolo, carte catastali, etc.).

Il *tracciato planimetrico*, riportato sulla carta al 25000, è caratterizzato da una serie di tratti rettilinei che vengono identificati mediante punti fissi denominati *picchetti*.

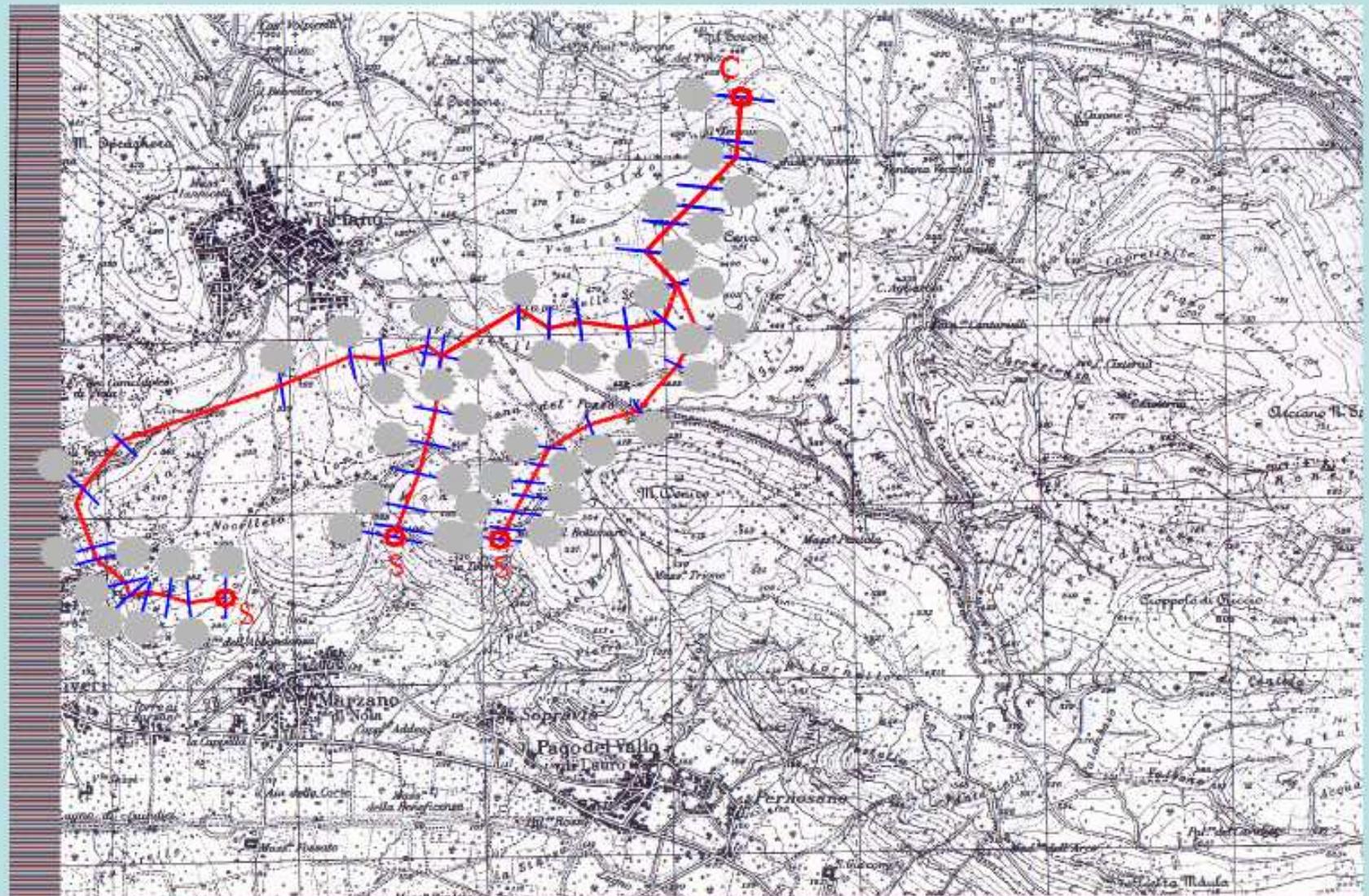
I *picchetti* vengono posti in corrispondenza dei punti singolari significativi rappresentati da:

- intersezione del tracciato con le curve di livello,
- variazioni planimetriche della direzione del tracciato,
- intersezione con strade, ferrovie, fiumi, ponti, etc.

Molto spesso è necessario sviluppare più di una ipotesi di tracciato fino alla redazione del progetto preliminare per poter effettuare la scelta della soluzione ottimale.



# Esempi di tracciati alternativi





# Progetto preliminare di un acquedotto esterno

Nel *profilo longitudinale* (tipicamente in scala deformata 1/10000 per le lunghezze, 1/1000 per le altezze) si riportano:

i picchetti con le relative quote altimetriche, definendo in tal modo il profilo del terreno e quello dell'asse della tubazione dell'acquedotto, nonché l'ubicazione e le dimensioni essenziali delle opere di attraversamento e delle principali opere d'arte.



# Profilo longitudinale idraulico scala 1:10.000/1:1000

La tavola dovrà riportare:

- *informazioni geometriche*
  - distanze parziali,
  - distanze progressive
  - distanze ettometriche
  - deviazioni angolari dell'asse della condotta
  - quote terreno



# Profilo longitudinale idraulico scala 1:10.000/1:1000

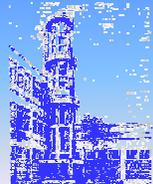
- *informazioni di tipo idraulico*
  - diametro dei tubi
  - linee piezometriche e altezze piezometriche a tubi nuovi e usati
  - perdite di carico unitarie (J) e concentrate ( $\Delta Y$ ) a tubi nuovi e usati
  - velocità della corrente a tubi nuovi e tubi usati
- *informazioni costruttive*
  - materiale delle tubazioni
  - tipologia dei terreni attraversati
  - pavimentazioni stradali, etc.
- ubicazione delle valvole di dissipazione, dei pozzetti di ispezione, di scarico e di sfiato;



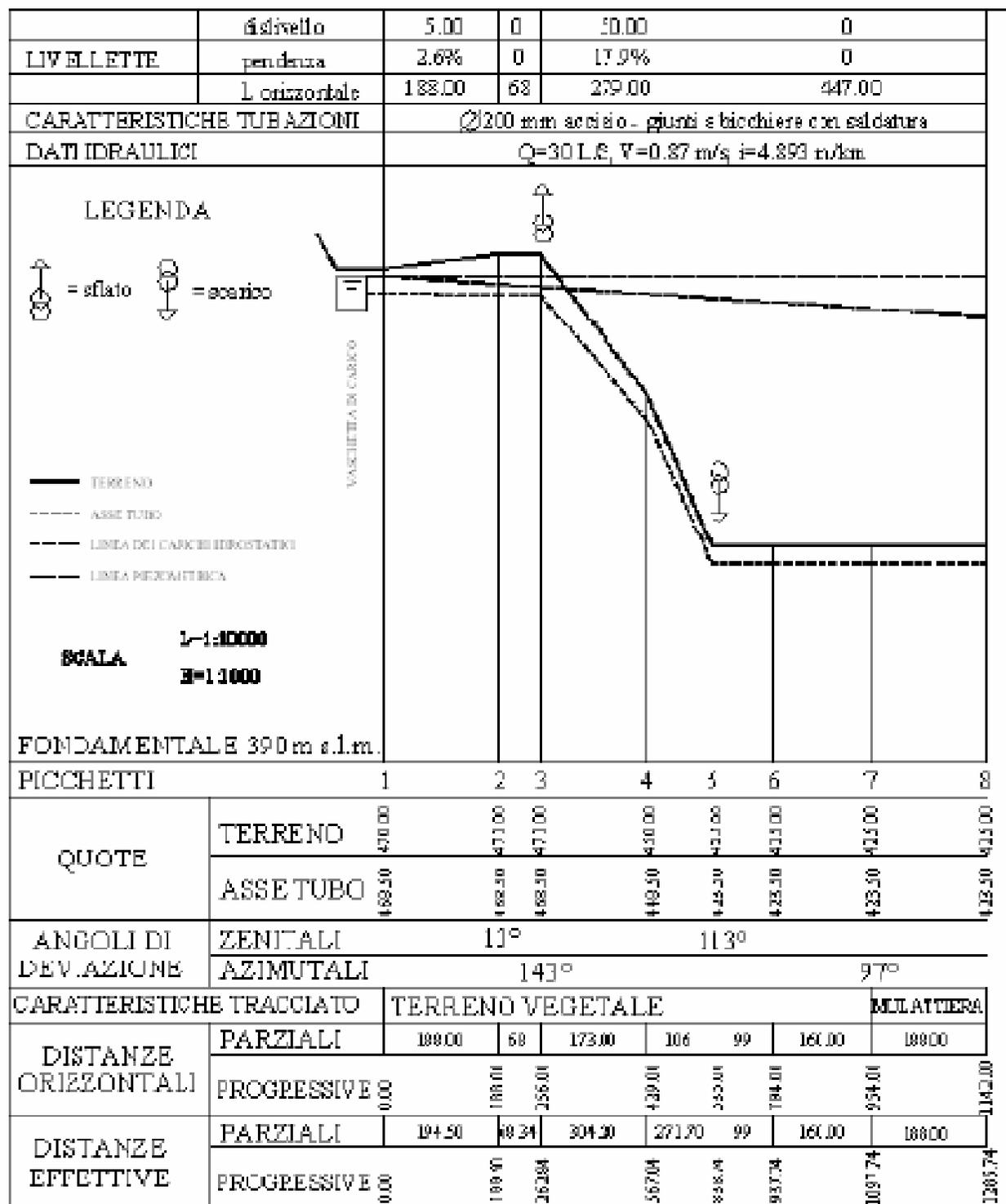
# Profilo longitudinale costruttivo

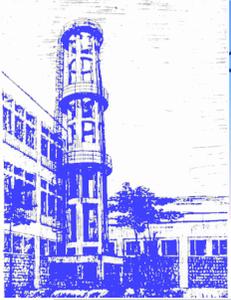
La tavola dovrà riportare:

- *informazioni geometriche* (distanze parziali, le distanze progressive, le deviazioni angolari dell'asse della condotta, quota terreno etc.);
- *informazioni costruttive* (caratteristiche delle tubazioni – materiali, diametri, PN , giunti, rivestimenti -, caratteristiche della tipologia dei terreni attraversati, pavimentazioni stradali,etc.);
- ubicazione e caratteristiche delle valvole di intercettazione e regolazione, dei pozzetti di ispezione, di scarico e di sfiato;
- ubicazione e dimensioni essenziali delle opere di attraversamento (stradali, ferroviarie, fluviali,etc.);
- ubicazione e dimensioni delle principali opere d'arte (presa, serbatoio, impianti di sollevamento, ponti canale, torrini di carico,etc.).



# Profilo longitudinale



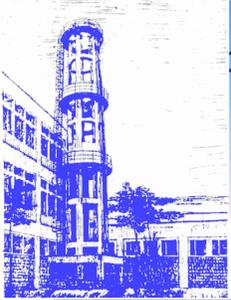


## Tipi di posa

- In trincea appositamente scavata
- In cunicolo
- Il galleria
- Allo scoperto, su selle continue o discontinue

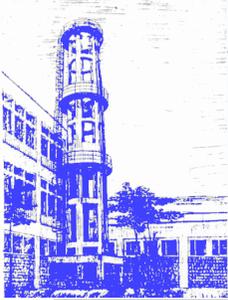
## Posa in trincea

- Ricoprimento minimo sulla generatrice superiore del tubo 1 -1,2 m
- Larghezza dello scavo funzione del diametro della condotta e della profondità di posa
- Inclinazione delle pareti dello scavo funzione delle caratteristiche dei terreni. Pareti verticali armate in terreni incoerenti
- Nicchie in corrispondenza dei giunti per consentire la loro formazione

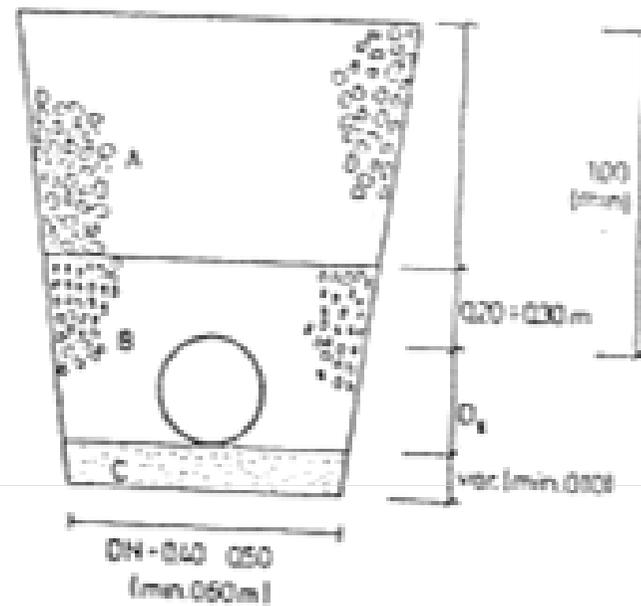


## **Fasi del montaggio (vario in trincea)**

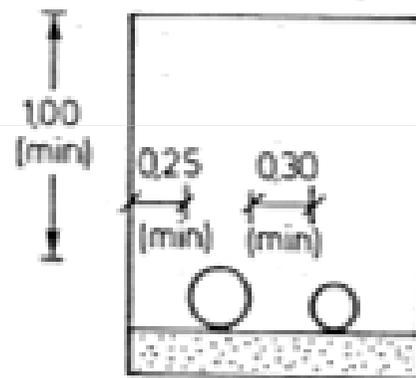
- Sfilamento dei tubi su un lato dello scavo
- Formazione del letto di posa (se necessario)
- Varo del tubo all'interno della trincea
- Realizzazione dei giunti
- Ricoprimento dei tubi, lasciando scoperti i giunti per verificarne la tenuta in sede di collaudo
- Collaudo idraulico e verifica della tenuta della tubazione
- Completamento del ricoprimento della condotta



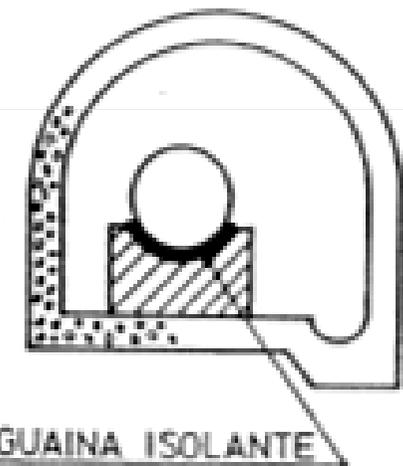
## Posa in opera delle condotte



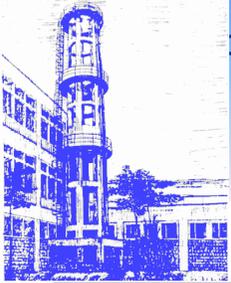
A—terreno di riporto; B—terreno granulare sciolto; C—letto di posa in sabbia.



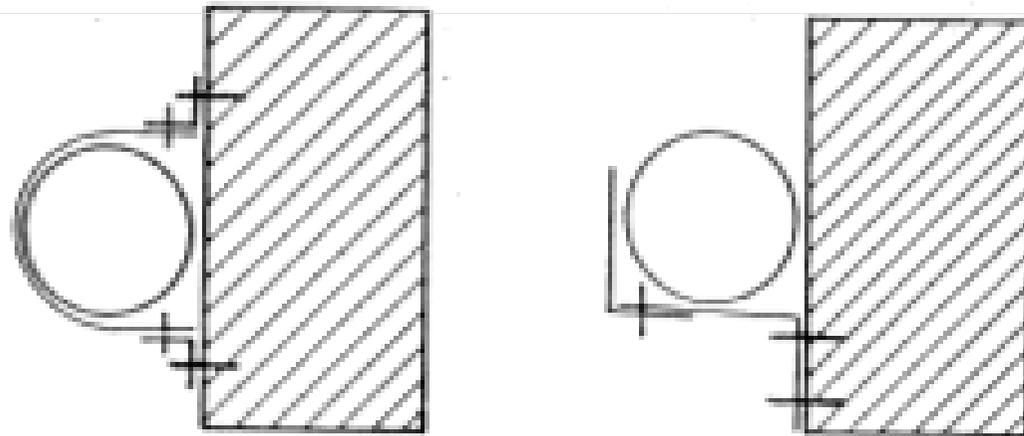
Posa in trincea di due tubazioni affiancate.



Posa della tubazione in cunicolo.



## Posa in opera delle condotte



Attraversamenti seri con tubazioni ancorate alle  
strutture portanti di ponti esistenti.