



**UNIVERSITA'  
DEL SALENTO**

# **COSTRUZIONI IDRAULICHE**



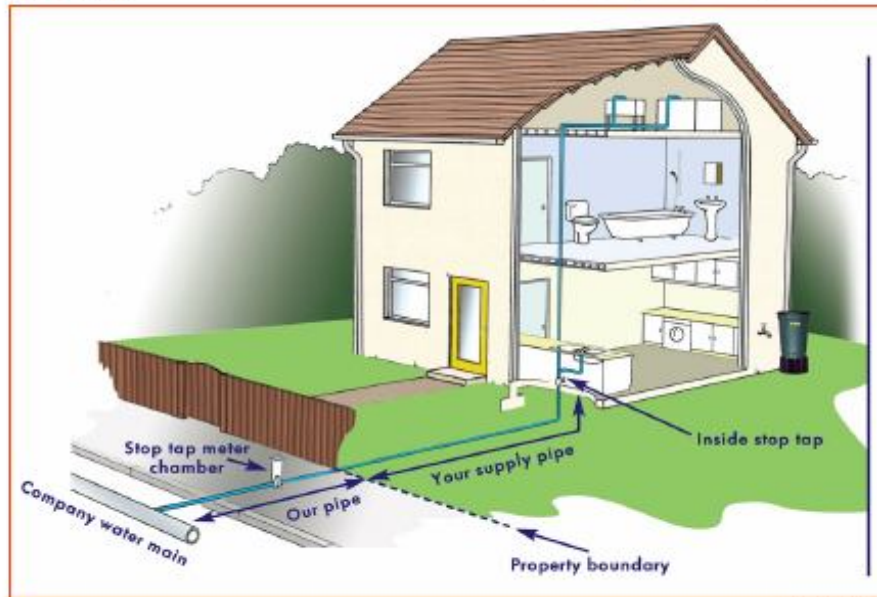
**LEZIONE 8. Reti di distribuzione**

Felice D'Alessandro



## Le reti di distribuzione negli acquedotti

Hanno lo scopo di far giungere l'acqua nelle prescritte quantità e qualità all'utente finale. Sono quindi costituite da una rete molto estesa di condotte in pressione, con numerose connessioni, derivazioni e pezzi speciali.







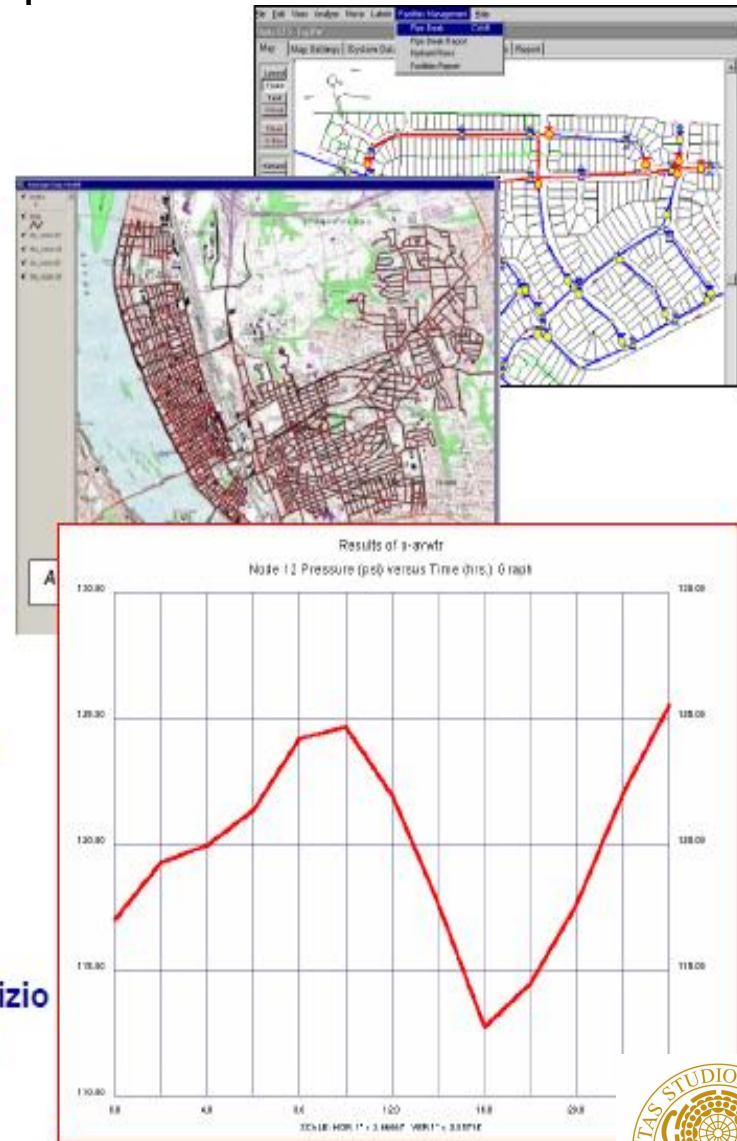
## Le reti di distribuzione negli acquedotti

Vincoli piezometrici da verificare **in tutti i nodi** :

- $p_{\min} \geq 20$  m in condizioni di normale esercizio  
(verifica particolare per i nodi posti a quota più alta e lontani dai nodi di alimentazione)
- $p_{\min} \geq 15$  m in condizioni di emergenza  
(verifica particolare per i nodi posti a quota più alta e lontani dai nodi di alimentazione)
- $p_{\max} \leq 50$  m in condizioni di normale esercizio  
(verifica particolare per i nodi posti a quota più bassa e vicini ai nodi di alimentazione)
- $\Delta p \leq 15-20$  m in condizioni di normale esercizio  
(per tutti i nodi)

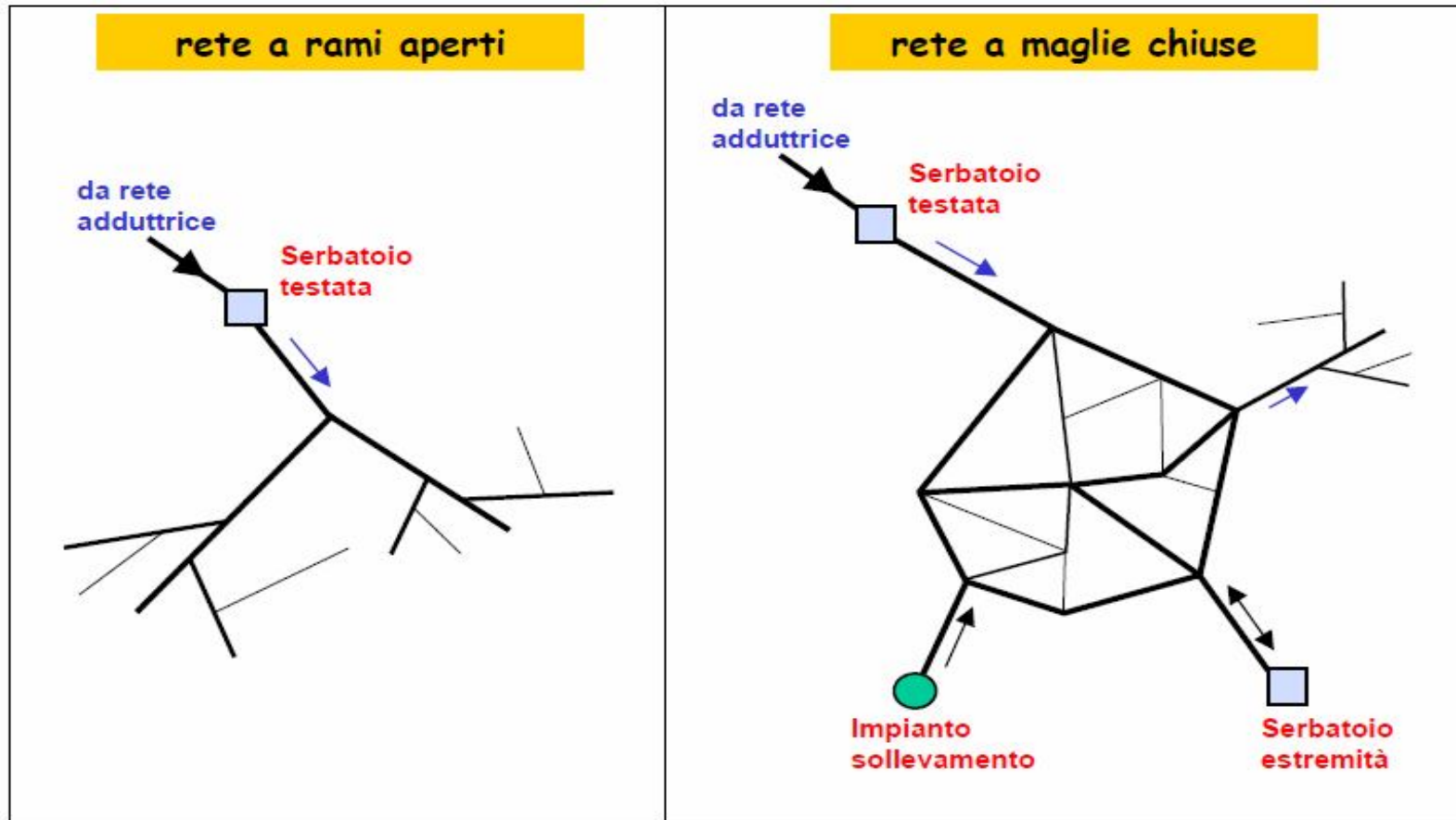
Vincoli di velocità da verificare **in tutti i lati** :

- $0.5 \leq V \leq 2.0$  m/s in condizioni di normale esercizio  
( $V \geq 0.3$  m/s in condizioni di minimo consumo)





## Possibili schemi di rete di distribuzione





## Tipi di condotte

Le condotte di una rete di distribuzione, dovendo raggiungere tutte le utenze, passano praticamente in tutte le strade di un centro urbano. Esse si collegano tra loro secondo un ordine gerarchico-funzionale che si evolve con il tessuto urbanistico stesso. Esse si possono classificare nei seguenti tipi:

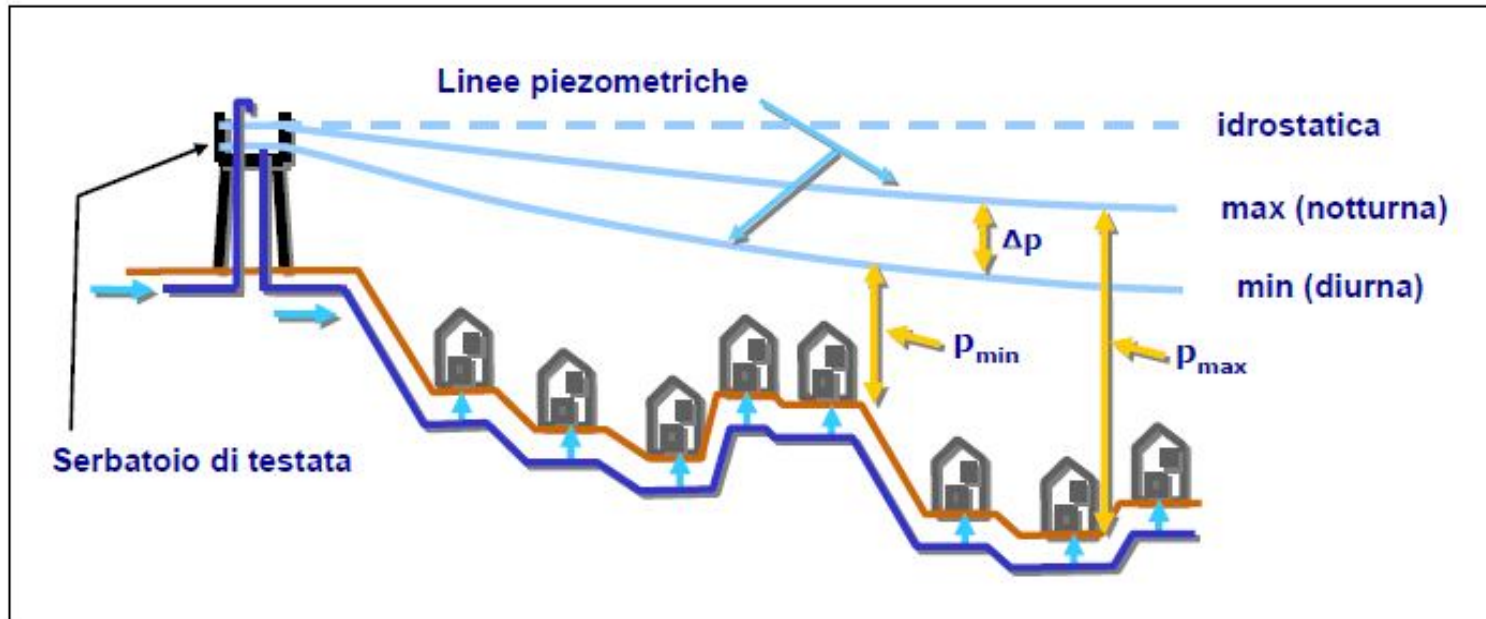
1. **Condotte di avvicinamento:** si diramano dai serbatoi verso l'area da servire, se questi sono lontani da essa; si tratta generalmente di condotte di diametro medio-grande.
2. **Condotte alimentatrici:** si distinguono a loro volta in principali, secondarie, terziarie, ecc. e sono costituite dai rami (nelle reti aperte) o dalle maglie (reti a maglie) principali e secondarie della rete; ogni ordine di condotte si diparte da quello superiore in modo gerarchico; hanno un diametro costante e una lunghezza dell'ordine del km; le principali non hanno generalmente prese dirette per l'utenza.
3. **Condotte distributrici:** derivano dalle condotte alimentatrici e in esse vengono realizzati gli allacci per l'utenza; hanno un diametro minimo tra i 60 e i 100 mm e sono generalmente posate in tutte le strade, comprese quelle in cui passano già le condotte alimentatrici.
4. **Condotte antincendio:** in qualche caso si possono prevedere condotte per il solo servizio antincendio, che si diramano dalle condotte alimentatrici, spesso alternandosi sulle strade con le distributrici in modo ortogonale; hanno un diametro minimo tra i 100 e i 150 mm.







## Rete alimentata da serbatoio di testata

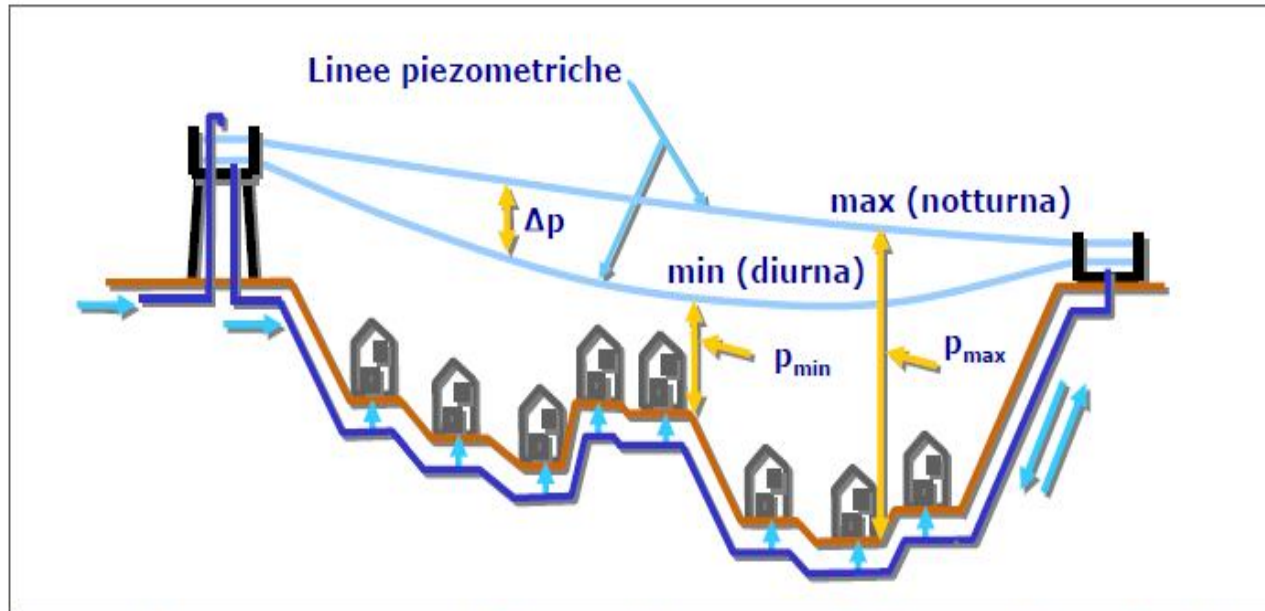


Il serbatoio di testata ha funzione :

- **piezometrica** : vincola le linee piezometriche al livello dell'acqua al suo interno;
- **di compenso** : soddisfa richieste idriche variabili nel tempo con un'alimentazione da monte costante;
- **di riserva** : dispone di un volume idrico di soccorso per situazioni di emergenza, quali interruzione dell'alimentazione da monte, perdite idriche dovute a rotture, spegnimento incendi, ecc.



## Rete alimentata da serbatoi di testata e di estremità



Il serbatoio di estremità ha lo scopo di **affiancare ed integrare quello di testata nelle sue funzioni**. In molti casi la sua costruzione avviene quando lo sviluppo urbanistico del centro urbano rende difficile mantenere pressioni adeguate nelle zone più lontane dal serbatoio di testata e/o necessario disporre di una capacità di compenso e di riserva maggiori. Il suo funzionamento è alternato:

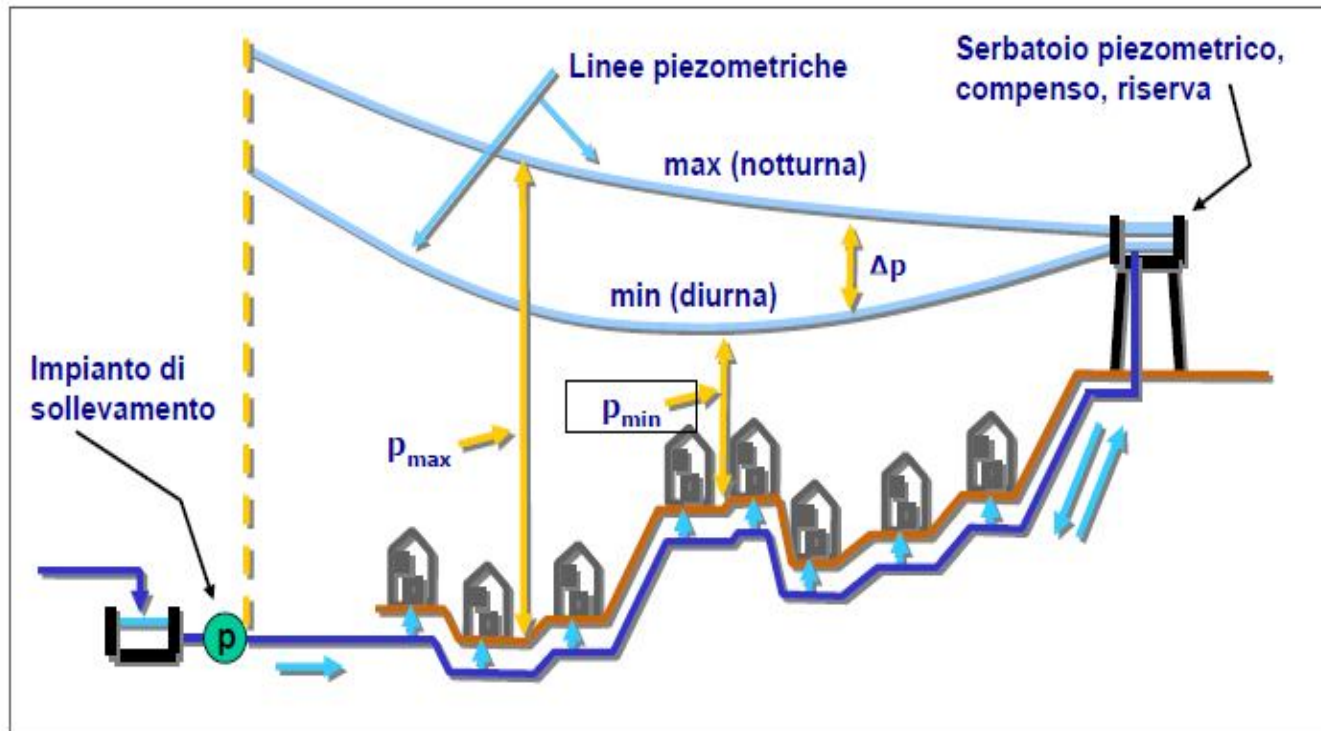
- di giorno alimenta la rete insieme al serbatoio di testata;
- di notte è alimentato, tramite la rete, dal serbatoio di testata.

In alcuni casi può essere presente il solo serbatoio di estremità, quando il centro urbano si trova in posizione intermedia tra l'alimentazione e la zona con quote idonee alla funzione piezometrica. In questi casi in testata si può prevedere un **torrino piezometrico**, senza o con modesta capacità di compenso che ha la funzione di disconnettere idraulicamente le reti di adduzione e di distribuzione.





## Rete alimentata da impianto di sollevamento e con serbatoio di estremità



L'alimentazione avviene in pressione dall'impianto di sollevamento e il serbatoio di estremità ha le usuali funzioni piezometrica, di compenso e di riserva. In questo caso le pressioni, pur vincolate all'estremità dalla quota del serbatoio sono determinate dalla curva caratteristica e dalle regolazioni dell'impianto di sollevamento.





## Scenari di verifica di una rete di distribuzione

1. **Massimo consumo:** in condizioni di portata massima del giorno di massimo consumo, su ogni nodo il carico piezometrico non deve essere inferiore a 20 metri sul piano stradale;
2. **Minimo consumo:** in condizioni di portata minima (purché non vi siano sollevamenti in funzione, per piccoli centri tale situazione può essere sostituita, in via semplificativa e a favore di sicurezza, da quella di piezometrica statica), su ogni nodo il carico piezometrico non deve essere superiore a 50 - 60 metri sul piano stradale per non provocare inaccettabili percentuali di perdite dalla rete;
3. **Massima oscillazione piezometrica:** tra le due suddette condizioni, la massima oscillazione fra la piezometrica massima e quella minima non deve superare i 25 m su ogni nodo.
4. **Velocità medie:** le velocità in ogni lato devono mantenersi preferibilmente comprese fra 0.5 m/s e 1.5 m/s, in nessun caso superando il limite di 2 m/s; in condizioni di portata minima, si possono accettare velocità inferiori, ma in nessun caso inferiori a 0.3 m/s.
5. **Antincendio:** in condizioni antincendio (erogazione della portata antincendio da un nodo e del 75% della portata media del giorno di massimo consumo negli altri nodi), il carico piezometrico non deve essere inferiore a 10 m sul piano stradale in tutti i nodi, incluso quello ove viene erogata la portata antincendio (**Individuazione del nodo più critico per tale situazione**);
6. **Rottura di un lato:** In condizione di rottura di un lato, ammettendo che esso possa essere isolato dal resto della rete per mezzo di valvole di chiusura, il carico piezometrico non deve essere inferiore a 20 m sul piano stradale in tutti i nodi, erogando una portata pari al 50% della portata media del giorno di massimo consumo (**Individuazione del lato più critico per tale situazione**);





## Equazioni idrauliche per la verifica di una rete di distribuzione

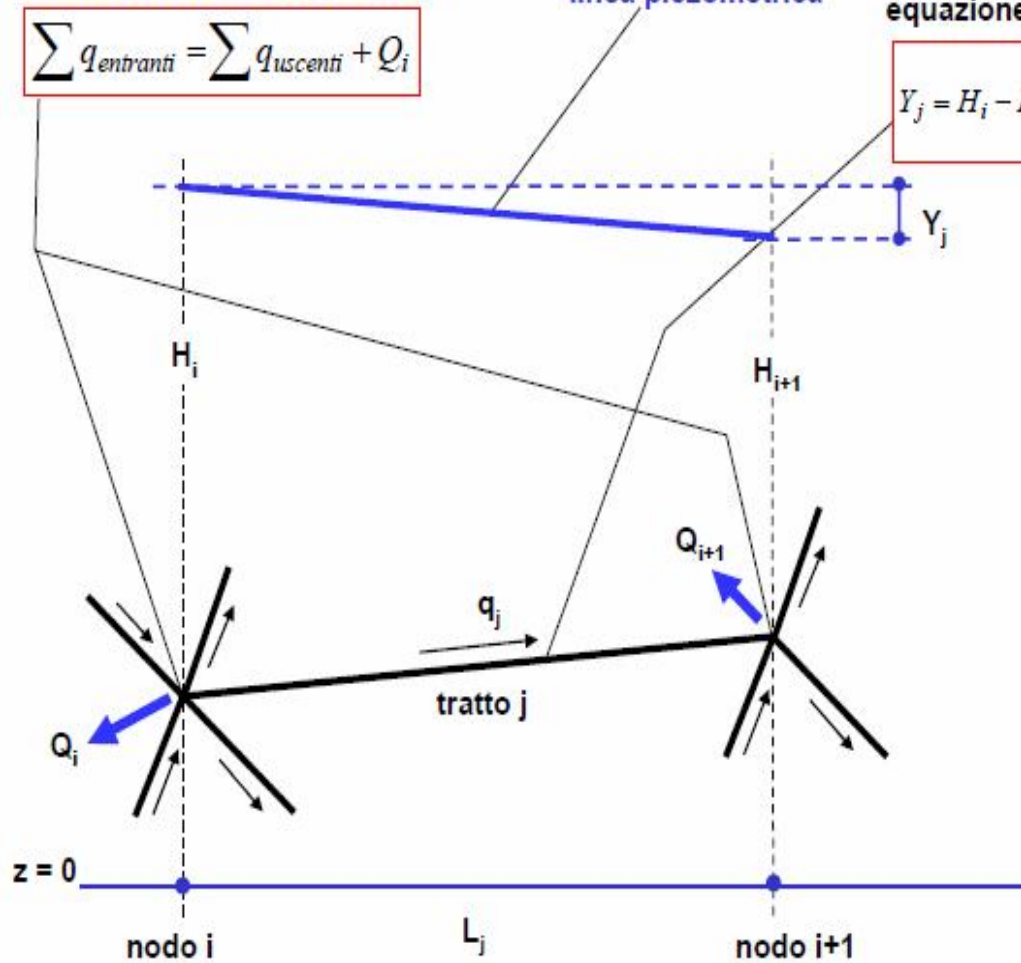
equazione di continuità in ogni nodo i

$$\sum q_{entranti} = \sum q_{uscenti} + Q_i$$

linea piezometrica

equazione del moto in ogni lato j

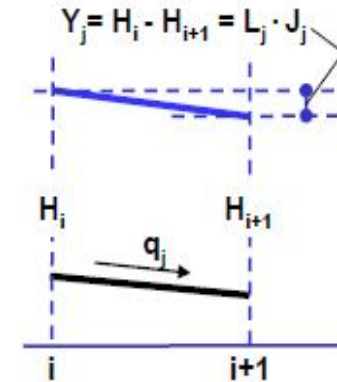
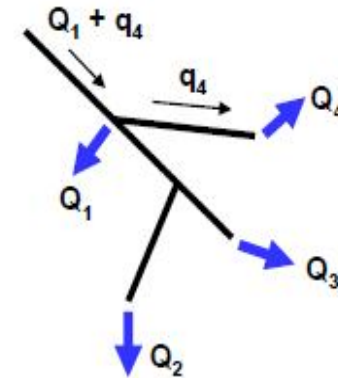
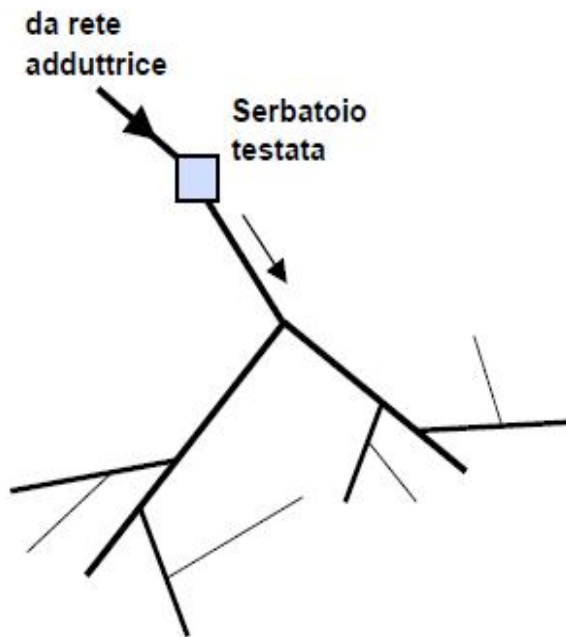
$$Y_j = H_i - H_{i+1} = L_j \cdot J_j = L_j \cdot k_j \cdot \frac{q_j^\alpha}{D_j^n}$$





## Verifica di una rete di distribuzione

### rete a rami aperti



**Fase 1** : per ogni caso di verifica (portate di punta, minimo notturno, antincendio, ecc.), note le portate  $Q$  erogate in tutti i nodi all'utenza, le equazioni di continuità applicate nodo per nodo procedendo dalle estremità di valle, permettono di calcolare le portate  $q_j$  in tutti i lati della rete;

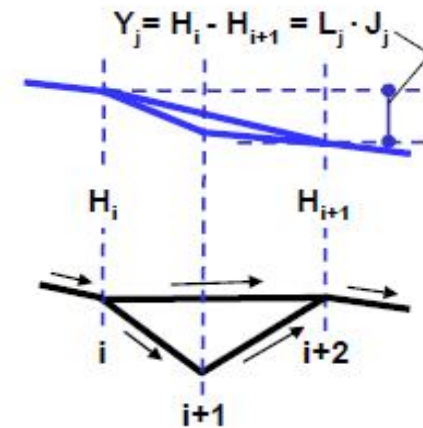
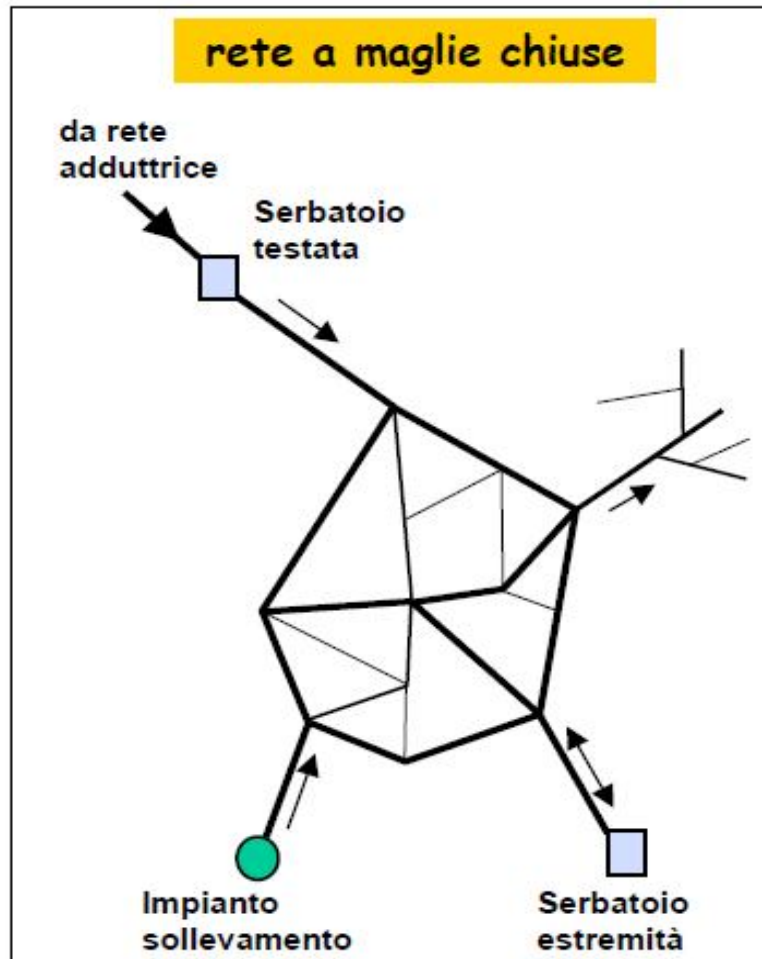
**Fase 2** : note le portate  $q_j$  in tutti i lati della rete, le equazioni del moto, applicate lato per lato procedendo dal nodo di quota piezometrica nota, permettono di calcolare le quote piezometriche  $H$  in tutti i nodi della rete.







## Verifica di una rete di distribuzione



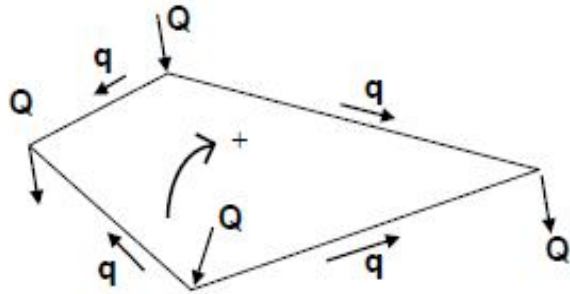
**Fase 1** : per ogni caso di verifica (portate di punta, minimo notturno, antincendio, ecc.), note le portate  $Q$  erogate in tutti i nodi all'utenza, si ipotizzano delle portate circolanti  $q_j$  di primo tentativo in tutti i lati della rete, congruenti con le equazioni di continuità di tutti i nodi;

**Fase 2** : note le portate di primo tentativo  $q_j$  in tutti i lati della rete, si applicano le equazioni del moto in ogni lato, procedendo a correggere le portate  $q_j$ , rispettando le equazioni di continuità dei nodi, fino a verificare che le quote piezometriche coincidano in ogni nodo.





## Metodo di Hardy-Cross del bilanciamento dei carichi



Un classico metodo iterativo di soluzione del sistema di equazioni è quello di Hardy-Cross.

Esso si basa sulla determinazione iniziale di un insieme di portate circolanti di primo tentativo che soddisfi le equazioni di continuità ai nodi.

Tale insieme di portate in genere non soddisfa le equazioni alle maglie. E' quindi necessario introdurre una correzione costante per tutte le portate dei lati della maglia, in modo che risulti:

$$\sum \pm r_j \cdot (q_{0j} + \Delta q)^\alpha = 0$$

Mediante uno sviluppo in serie arrestato al termine del primo ordine, si ottiene, attraverso alcuni passaggi :

$$\Delta q = -\frac{\sum_i \pm r_i \cdot |q_i^{(1)}|^\alpha}{\alpha \cdot \sum_i r_i \cdot |q_i^{(1)}|^{\alpha-1}} = -\frac{\sum_i r_i \cdot q_i^{(1)} \cdot |q_i^{(1)}|^{\alpha-1}}{\alpha \cdot \sum_i r_i \cdot |q_i^{(1)}|^{\alpha-1}}$$







## Metodo di Hardy-Cross del bilanciamento dei carichi

Provenendo da uno sviluppo in serie troncato al primo ordine, la correzione  $\Delta q$ , in generale, è diversa da zero, ma non coincide con la correzione finale  $\Delta q$ . I valori delle portate dovranno quindi essere corretti per successive iterazioni, fino ad avere correzioni trascurabili in valore assoluto:

$$q_i^{(2)} = q_i^{(1)} + \Delta q^{(1)}$$

Si osservi che nel caso di moto puramente turbolento si ha  $\alpha = 2$ . Inoltre, qualora si consideri come formula monomia per le perdite di carico l'espressione di Chézy-Strickler, si ha, nel calcolo di  $r$ , che  $n = 16/3$  mentre  $k = 10.29 / K_S^2$ , essendo espressi i diametri in metri, i valori di  $K_S$  in  $m^{1/3}/s$  e le portate  $q$  in  $m^3/s$ .

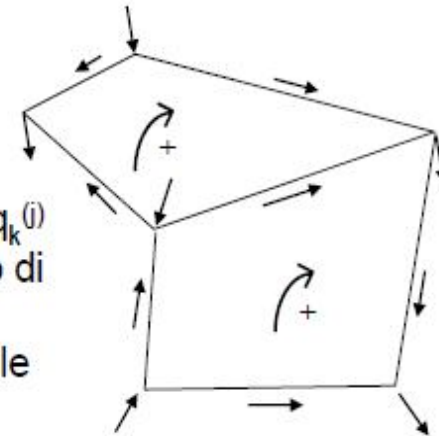




## Metodo di Hardy-Cross del bilanciamento dei carichi

Qualora la rete di distribuzione sia costituita non da una singola maglia ma da  $m$  maglie (ad esempio  $m = 2$  nella figura qui a lato), il procedimento va applicato separatamente per ogni maglia, calcolando, per la  $j$ -esima iterazione corrente, le  $m$  correzioni  $\Delta q_1^{(j)}, \dots, \Delta q_k^{(j)}, \dots, \Delta q_m^{(j)}$  e avendo cura di applicarle poi ai vari lati col giusto segno, badando in particolare ai lati in comune fra due maglie, che sono contemporaneamente soggetti a entrambe le due corrispondenti correzioni.

Il procedimento di iterazione può arrestarsi alla  $j$ -esima iterazione corrente quando tutte le  $m$  correzioni  $\Delta q_k^{(j)}$  (nel caso di  $m$  maglie), ovvero la correzione  $\Delta q^{(j)}$  (nel caso di una sola maglia), raggiungono valori soddisfacentemente piccoli (ad esempio qualche percento della più piccola fra le portate  $q_i^{(j)}$ ).





## Metodo di Hardy-Cross del bilanciamento dei carichi

**PER OGNI VERIFICA (noti i diametri  $D_i$  e il carico  $Z_{S1}$ ):**

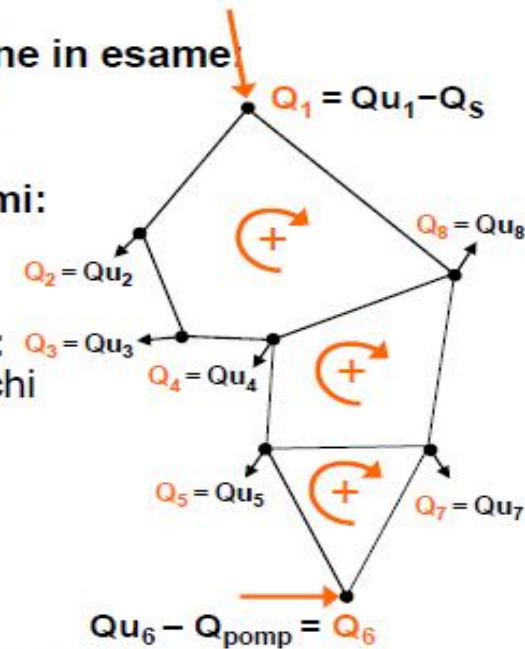
- **PORTATA  $Q_{TOT}$**  richiesta dall'utenza nella situazione in esame
  - ripartita sui nodi in funzione della densità abitativa
  - ripartita tra le 2 fonti di approvvigionamento
- **PORTATE  $Q_i$**  di primo tentativo convogliate nei rami:
  - coerenti con l'equazione di continuità ai nodi
  - 1 gdl per ogni maglia (NON ramo comune)
- **CORREZIONI  $\Delta Q^j$**  per ogni maglia e nuove portate:
  - metodo di Hardy-Cross del bilanciamento dei carichi

$$\Delta Q^j = - \frac{\sum_i \pm r_i \cdot |Q_i^j|^\alpha}{\alpha \cdot \sum_i r_i \cdot |Q_i^j|^{\alpha-1}}$$

$$\begin{cases} r_i = \frac{10.29}{Ks^2} \cdot \frac{L_i}{D_i^{5.33}} \\ \alpha = 2 \end{cases}$$

- iterazioni finchè  $\Delta Q^j \leq 2\div 3\% Q_{j_{min}}$
- Verifica **CARICHI** ( $H_i = H_{i-1} \pm J_{i,i-1} \cdot L_{i,i-1}$ ;  $Y_i = H_i - Z_i$ ) e **VELOCITÀ  $V_i$**

**NB:** le **VERIFICHE** devono essere contemporaneamente **TUTTE SODDISFATTE**, in caso contrario occorre **CAMBIARE DIAMETRI !!**







**EPANET 2.0**



**EPANET 2.0** è un codice di calcolo realizzato dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente (EPA) degli Stati Uniti d'America, utilizzato per la verifica e il progetto di reti di distribuzione e in grado di dare informazioni su:

- la portata d'acqua in ogni tubo;
- la pressione in ogni punto di intersezione fra più tubi;
- il livello raggiunto dall'acqua in ogni serbatoio;
- la concentrazione di una sostanza chimica all'interno di una rete di distribuzione idrica;
- l'età dell'acqua circolante all'interno dell'acquedotto dal momento in cui è stata immessa;
- le reazioni chimiche lungo le pareti dei tubi o all'interno del flusso stesso dovute al trasporto di massa.





# EPANET 2

## USERS MANUAL

By

Lewis A. Rossman  
Water Supply and Water Resources Division  
National Risk Management Research Laboratory  
Cincinnati, OH 45268



# EPANET

Version 2.0

Build 2.00.10

Water Supply and Water Resources Division  
National Risk Management Research Laboratory  
U.S. Environmental Protection Agency  
Cincinnati, Ohio





# EPANET 2.0

