



I sistemi di distribuzione idrica

*Aspetti teorici ed esempio di applicazione alla
rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.*

Introduzione

La *Carta dell'Acqua del 6 maggio 1968 per la salvaguardia della natura e delle sue risorse* stabilisce che "l'acqua è un bene prezioso, indispensabile a tutte le attività umane", ma anche che "le disponibilità d'acqua dolce non sono inesauribili".

Negli ultimi anni l'acqua è diventata una risorsa sempre più limitata e pertanto le fasi di captazione, trasporto, immagazzinamento, trattamento e distribuzione hanno richiesto una maggiore attenzione, volta a limitarne gli sprechi.

L'acqua ha un valore economico, pertanto l'ente proprietario di una rete idrica è chiamato ad ottimizzare l'efficienza del proprio sistema e allo stesso tempo cercare di ridurre i costi di gestione.

La prima parte del presente lavoro è mirata a fornire una panoramica sugli acquedotti, individuando le principali componenti che li caratterizzano e i principi fisici che ne regolano il funzionamento.

Nella seconda parte si vuole portare un esempio concreto di rete. Nel caso specifico si è scelto il **sistema di adduzione di CAFC S.p.A.**, in quanto al suo interno si possono individuare tutti gli elementi solitamente riscontrabili in una rete acquedottistica completa:

- captazione a gravità da sorgente o prelievo mediante emungimento da pozzi;
- regolazione del flusso mediante valvole manuali o motorizzate;
- connessioni dirette con reti di distribuzione;
- serbatoi di compenso (pensili e interrati);
- variabilità della richiesta idrica (nell'arco di una giornata o della stagione).

La rete ha una estensione tale da consentire un confronto tra realtà montana, di pianura o in prossimità di aree marittime.

L'obiettivo di questa sezione è dimostrare come un sistema reale, anche molto complesso come questa rete, possa essere trasformato in un **modello numerico**, ovvero uno strumento estremamente utile per comprendere il funzionamento effettivo del sistema, individuarne le criticità ed essere poi in grado di intervenire qualora fosse necessario.

Disponibilità e utilizzo dell'acqua

La superficie terrestre è coperta per il 71% da acqua, ma il 97,5% di questa è salata.

L'acqua dolce è per il 68,9% contenuta in ghiacciai e calotte polari (Groenlandia e Antartico), per il 29,9% nel sottosuolo e solamente lo 0,3% è disponibile in fiumi e laghi.

Consumo dell'acqua:

- 5 litri/giorno: fabbisogno minimo biologico per la sopravvivenza;
- 50 litri/giorno: quantità necessaria per assicurare condizioni di vita accettabili.

- {
- 425 litri/giorno: disponibilità media pro capite negli Stati Uniti;
 - 10 litri/giorno: disponibilità media pro capite nel Madagascar;
 - 220 litri/giorno: disponibilità media pro capite in Italia.

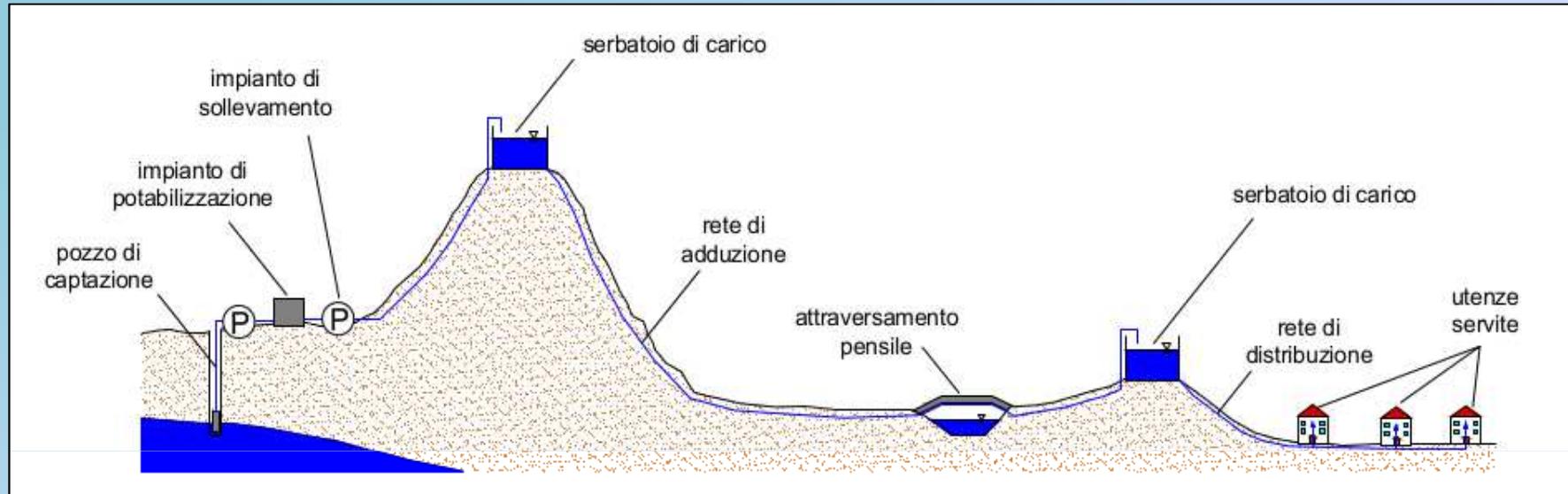
Popolazione residente (P.R.G.A. 1967)	Dotazione idrica
	[l/ab/giorno]
case sparse	80
< 5000 abitanti	120
da 5000 a 10000 abitanti	150
da 10000 a 50000 abitanti	200
da 50000 a 100000 abitanti	250
> 100000 abitanti	300
grandi città	500 - 700

Popolazione fluttuante (P.R.G.A. 1967)	Dotazione idrica
	[l/ab/giorno]
giornaliera	100
stagionale	200



Sistemi di distribuzione idrica: gli acquedotti

Con il termine **acquedotto** si intende l'insieme delle opere necessarie a prelevare, trattare, immagazzinare, distribuire acqua qualunque sia la sua destinazione.



Possono essere distinti in:

- **acquedotti urbani**: destinati principalmente al servizio degli abitanti presenti nei centri urbani (requisito di potabilità);
- **acquedotti rurali**: acqua potabile fornita agli abitanti delle campagne e al bestiame (si escludono usi irrigui);
- **acquedotti industriali**: acqua impiegata come materia prima (industria alimentare) o per cicli di raffreddamento;
- **acquedotti misti**: in questo caso varie funzioni vengono assolte contemporaneamente.

Secondo le stime del Co.Vi.Ri. (Comitato di Vigilanza sull'uso delle Risorse idriche) del 2009:

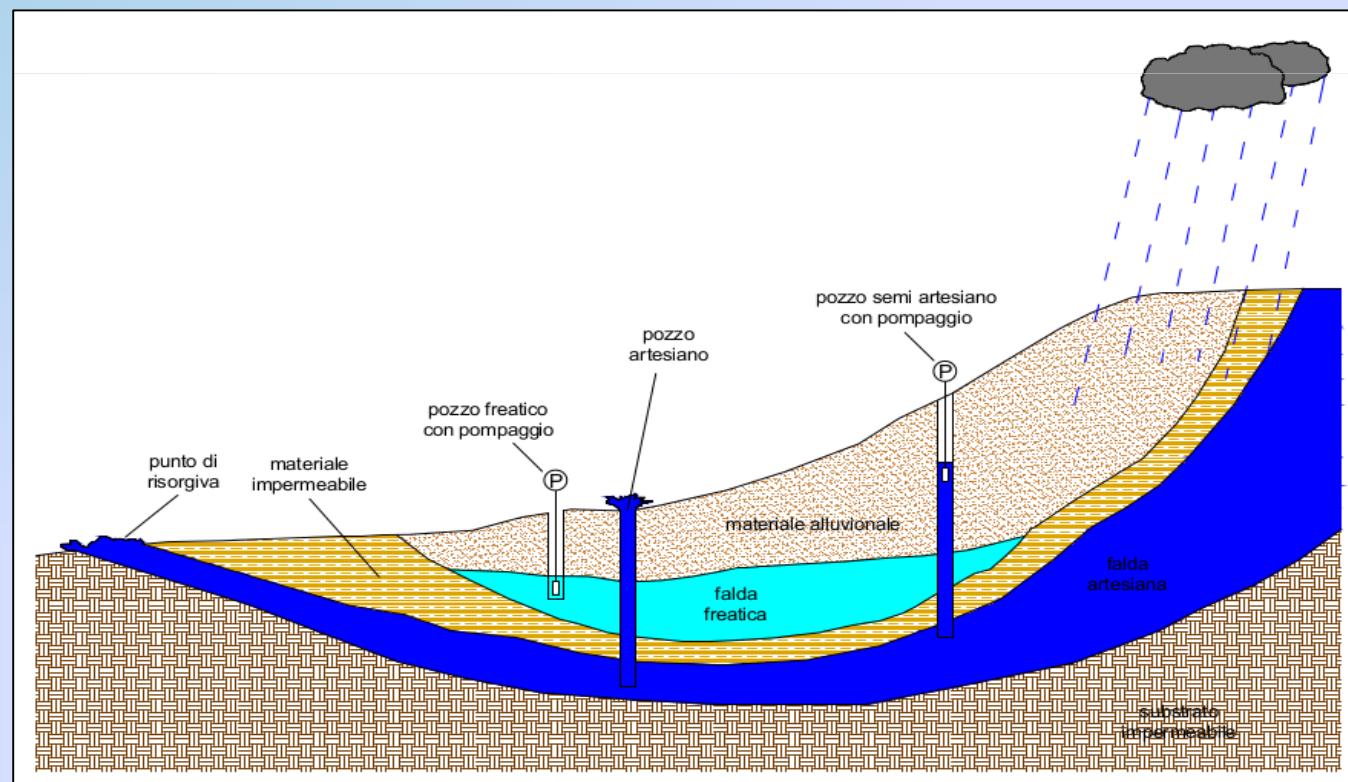
Volume annuo immesso in rete
8,72 miliardi m³

Perdite idriche
2,61 miliardi m³

~ 30% di perdite

Le fonti di approvvigionamento idrico

- Risorse idriche naturali: risorse idriche presenti naturalmente. Possono essere distinte in:
 - a) *statiche*: volumi d'acqua accumulati in passato nel sottosuolo e non alimentati attualmente da altre fonti (depositi d'acqua fossili o geologici);
 - b) *dinamiche*: volumi d'acqua in movimento che possono contare sull'apporto di altre fonti idriche naturali (fiumi, torrenti, falde idriche sotterranee).
- Risorse idriche potenziali: massime risorse idriche che possono essere rese disponibili con mezzi artificiali. Il volume disponibile è soggetto a vincoli di carattere idrografico, geografico o tecnologico.
- Risorse idriche utilizzabili o disponibili: risorse effettivamente disponibili a seguito di vincoli di natura economica o socio – economica o connessi a possibili danni ambientali.



Le fonti di approvvigionamento idrico

Opere di presa da sorgenti

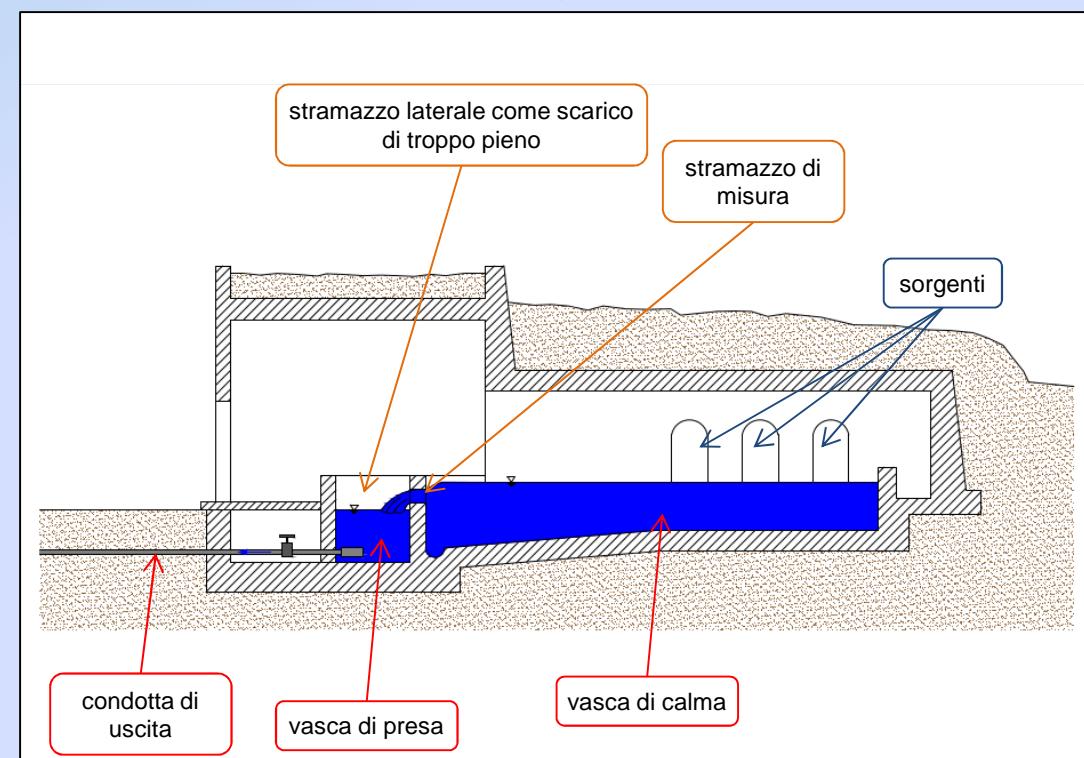
Le sorgenti individuano dei punti di affioramento di falde idriche sotterranee. Rappresentano in particolar modo nel nostro Paese, la fonte di approvvigionamento principale per le reti acquedottistiche. Le opere di presa devono essere collocate nel punto di affioramento naturale dell'acqua, per ridurre l'impatto umano sul sistema ambientale. E' importante inoltre:

- individuare il relativo bacino imbrifero (topografico e geologico);
- valutare l'origine e qualità dell'acqua (caratteri biochimici e presenza di possibili inquinanti);
- controllare con continuità la variazione della portata e della temperatura;
- valutare la portata minima nei periodi di magra (curva di esaurimento).

L'opera di presa è costituita da un cunicolo scavato in roccia che assolve il compito di convogliare l'acqua al "*bottino di presa*", dove solitamente si distinguono:

- una vasca di calma o di sedimentazione: per trattenere il materiale fine trasportato (velocità 0,1 – 0,2 m/s);
- una vasca di misura: per facilitare la misurazione del prelievo mediante stramazzo;
- una vasca di presa: la quale contiene le luci di presa per il convogliamento della portata alla linea di adduzione.

Ciascuna deve essere dotata di uno scarico di fondo per consentire la pulizia e manutenzione delle vasche e sfioratori di troppo pieno per allontanare gli eccessi di portata rispetto a quella da derivare.



Le fonti di approvvigionamento idrico

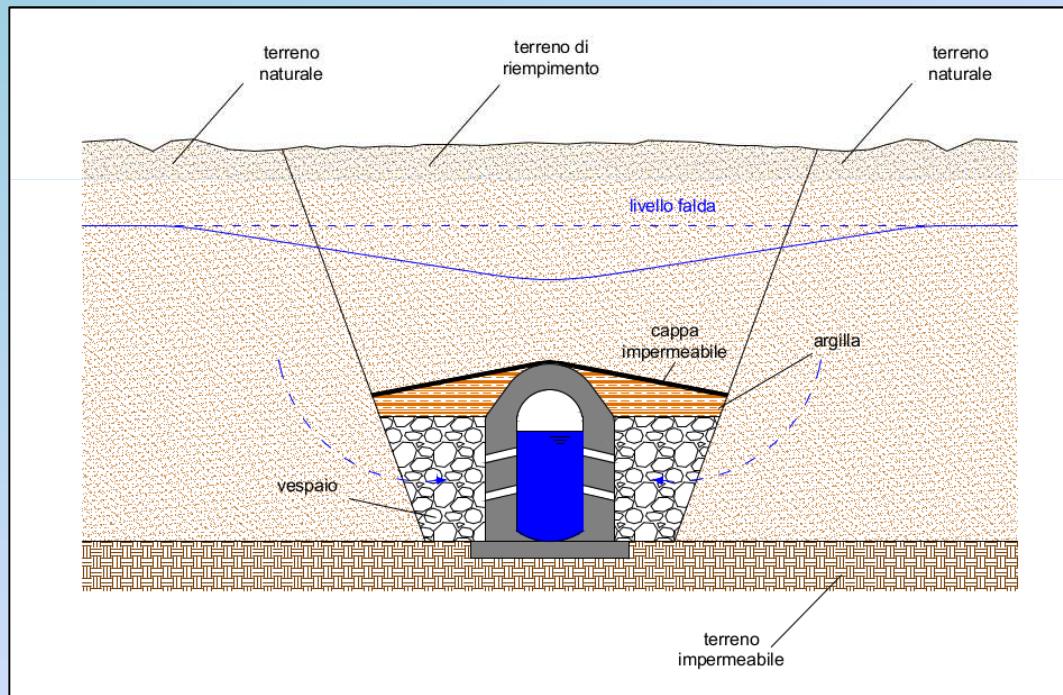
Captazione da falde

La captazione da falda è consentita mediante trincee o gallerie filtranti (per falde freatiche superficiali) oppure pozzi (per falde profonde).

Le gallerie filtranti

Le gallerie filtranti sono degli scavi nel terreno, in direzione orizzontale. Le feritoie che consentono l'ingresso dell'acqua possono essere realizzate impiegando per il rivestimento della galleria dei mattoni forati.

Se le gallerie sono poco profonde (ricoprimento massimo di 8 metri) vengono realizzate all'interno di trincee di scavo, le quali saranno successivamente oggetto di ricoprimento. Nello scavo, sul lato in cui è presente la falda viene disposto del materiale drenante per consentire un prelievo più efficace.



E' importante effettuare preliminarmente un attento studio idrologico per valutare:

- la profondità di uno strato impermeabile del terreno;
- lo spessore della falda;
- una stima delle portate prelevabili.

La pendenza del manufatto è inferiore a quella del terreno, affinché sia possibile portare in superficie l'acqua captata.

Se l'orografia del terreno non lo consente diventa indispensabile realizzare una vasca di raccolta ad una estremità della galleria, in prossimità della quale vengono installate delle pompe che sollevino l'acqua ad una vasca in quota.

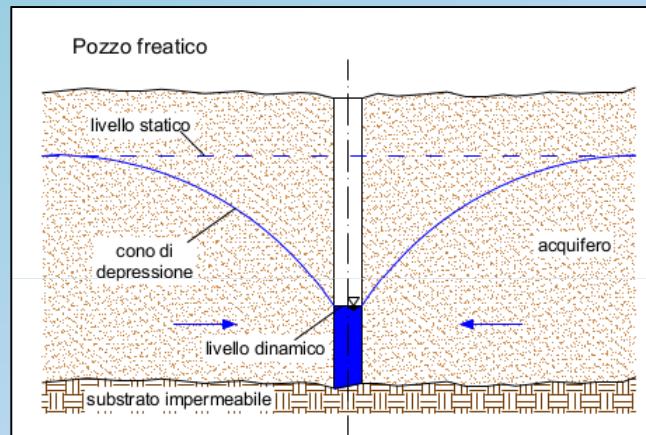
Le fonti di approvvigionamento idrico

Captazione da falde

La captazione da falda è consentita mediante trincee o gallerie filtranti (per falde freatiche superficiali) oppure pozzi (per falde profonde).

I pozzi

- **scavati:** di forma circolare $\Phi > 1$ m. Posso essere realizzati a mano o con mezzi meccanici forniti di utensili di rottura del terreno (per falde freatiche)

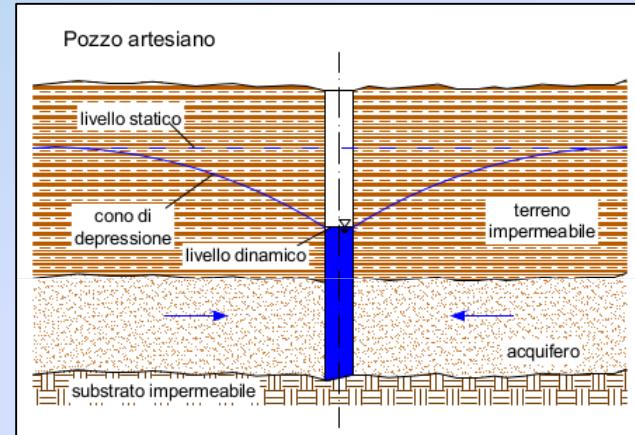


A seconda del tipo di terreno, il rivestimento deve essere inserito immediatamente, al pari dell'avanzamento dello scavo, oppure dopo aver raggiunto la profondità voluta.

Terminato lo scavo, le operazioni di finitura riguardano:

- sviluppo del pozzo: miglioramento locale della permeabilità artificialmente;
- sistemazione del pozzo nella zona dell'acquifero (filtri) e al di fuori di essa (rivestimento con colonna ascensionale);
- sistemazione in superficie (chiusura ermetica mediante flangia);
- installazione di dispositivi di emungimento (pompe).

- **trivellati:** possono raggiungere profondità elevate, anche centinaia di metri (per falde artesiane profonde)

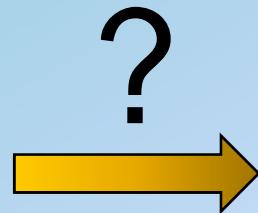


La tipologia di perforazione da adottare viene scelta in funzione:

- del diametro dello scavo;
- dalla profondità da raggiungere;
- dalla natura dei terreni da attraversare.

Reti di adduzione

Dalle opere di prese l'acqua viene convogliata l'acqua lungo una rete aperta di condotte adduttrici in pressione, al fine di alimentare i serbatoi di compenso ubicati in corrispondenza dei centri urbani da servire.



L'alimentazione dei
serbatoi avviene



a gravità: il moto dell'acqua è garantito dalla differenza di quota (energia potenziale) tra punto iniziale (punto di captazione) e finale (serbatoio)

con pompaggio: se il moto a gravità non è possibile, è necessario un sollevamento meccanico mediante pompe (che implicano costi energetici spesso elevati)

Perché la reti sono generalmente a pressione?

L'adozione di reti a pelo libero comporterebbero notevoli complicazioni costruttive e gestionali, quali:

- allungamento del tracciato per ottenere una pendenza sensibilmente costante;
- esproprio della fascia di terreno interessata a tutela della sicurezza igienica dell'acqua convogliata;
- costruzioni di costosi manufatti di attraversamento di depressioni vallive (ponti, canali, ecc.).

Assumendo dei sistemi a pressione la posa delle condotte avviene lungo percorsi facilmente accessibili o possibilmente già esistenti (si pensi ai vantaggi nei confronti di manutenzione e individuazione di possibili perdite idriche).

Materiali delle condotte

La scelta del materiale per un tratto di rete idrica dipende da fattori come le pressioni in gioco, le sollecitazioni dinamiche generate dal traffico (soprattutto nel caso di mezzi pesanti), le sollecitazioni derivanti da sovrapressioni di moto vario e predisposizione a fenomeni corrosivi.

- **Ghisa:** è una lega ferro-carbonio con elevata percentuale di carbonio (2,11% - 6,67%).

La *ghisa grigia* era maggiormente impiegata in passato, ma dimostrava una scarsa resistenza meccanica, maggiore fragilità, ridotta resistenza a trazione (200 N/mm^2).

A partire dagli anni 50 è stata prodotta la *ghisa sferoidale* (o *ghisa duttile*), la quale, grazie alla presenza di piccole percentuali di magnesio (0,04 – 0,08%), presenta caratteristiche notevolmente migliori rispetto alla precedente (resistenza a trazione 500 N/mm^2).

- **Acciaio:** esibisce migliori caratteristiche meccaniche rispetto alla ghisa, maggiore leggerezza e può essere sottoposto a pressioni nominali superiori, oltre al pregio della saldabilità. Lo svantaggio principale che caratterizza questo tipo di materiale è legato alla corrosione (attenzioni particolari in presenza di linee ferroviarie!).
- **Conglomerato cementizio:** manifesta un comportamento piuttosto fragile e bassa resistenza a trazione, pertanto richiede l'inserimento di armature longitudinali (maggiore resistenza flessionale) e trasversali (per assorbire gli sforzi di trazioni generati dalla pressione interna). Con la legge 257 del 1992 "Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto", quest'ultimo non dovrebbe più esser presente nelle reti idriche.
- **Materiale plastico:** rispetto alle tipologie precedenti offre buona resistenza alla corrosione, perfetta impermeabilità, bassi valori di scabrezza e soprattutto un peso ridotto ($\text{PVC} = 1370 - 1450 \text{ kg/m}^3$, acciaio 7900 kg/m^3 , cemento 2200 kg/m^3). Un altro vantaggio deriva dal maggior carico di snervamento raggiungibile dal materiale plastico rispetto al cemento (480 contro 150 kg/m^2). Lo svantaggio principale di questi materiali è associato al progressivo deterioramento subito a causa di un incremento termico (il PVC è contraddistinto da un coefficiente di dilatazione termica di $0,06 - 0,08 \text{ mm/m}^\circ\text{C}$, rispetto ai $0,01 \text{ mm/m}^\circ\text{C}$ del cemento).



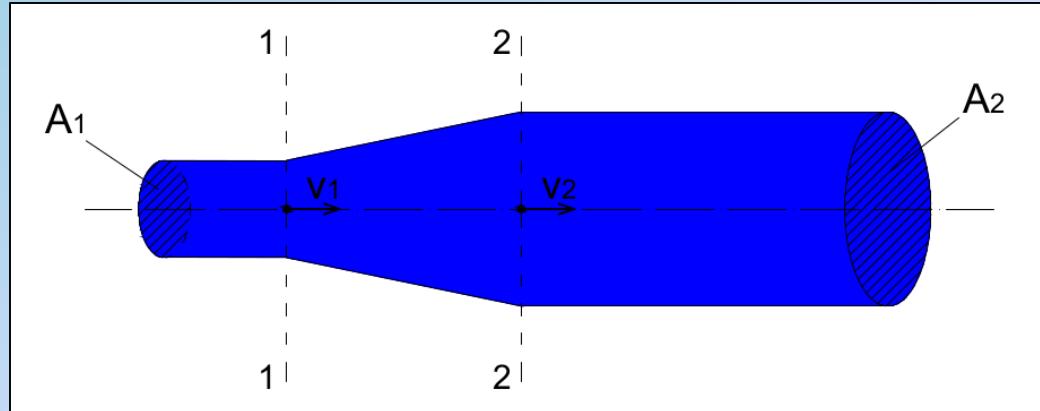
Idraulica dei moti a pressione

Equazione di continuità

Nelle ipotesi di:

- fluido ideale (assenza di perdite dovute agli attriti interni al fluido)
- sistema chiuso (assenza di scambi di massa con l'esterno)
- moto permanente (costanza delle grandezze nel tempo)

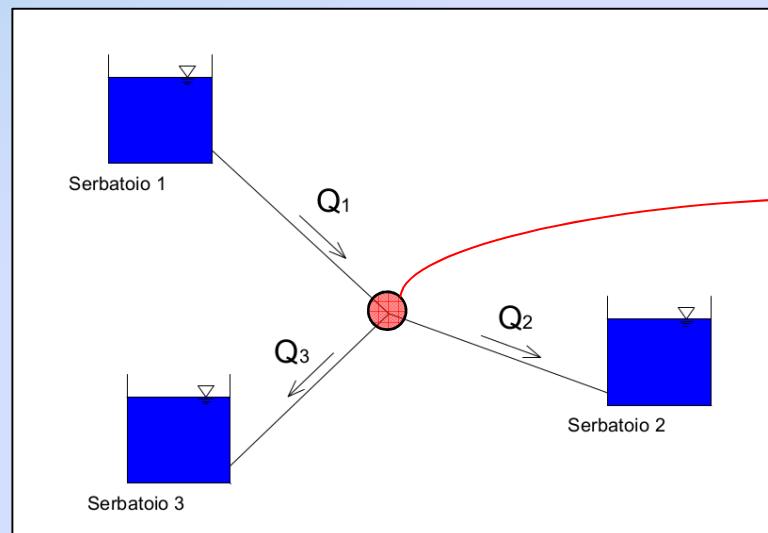
la **portata volumetrica** in qualsiasi sezione normale all'asse della corrente liquida **rimane costante**.



$$Q_v = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = \text{cost}$$

In regime stazionario, le velocità sono inversamente proporzionali alle sezioni e quindi al quadrato dei diametri.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$



Al generico nodo la somma delle portate entranti deve essere pari alla somma delle portate uscenti.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

Idraulica dei moti a pressione

Il teorema di Bernoulli

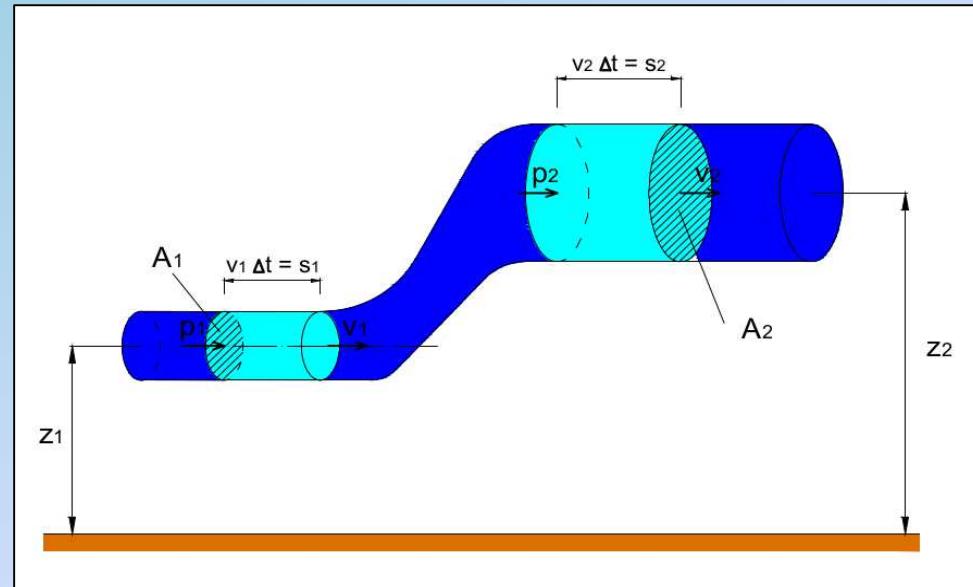
Nel suo moto il fluido cambia quota, velocità e pressione, ma una certa combinazione di queste quantità rimane **invariata**.

Ipotesi:

- fluido incompressibile;
- sistema chiuso (assenza di scambi di massa con l'esterno);
- moto permanente (costanza delle grandezze nel tempo);
- fluido ideale (assenza di perdite dovute agli attriti interni al fluido)

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{cost}$$

Energia totale ← ()
Altezza piezometrica ← ()
Altezza cinematica ← ()
Altezza geometrica ← ()



H: carico totale

p: pressione

γ : peso specifico del fluido (ρg)

ρ : densità del fluido

v: velocità del flusso

g: accelerazione di gravità (9,806 m/s²)

z: quota altimetrica (altezza rispetto a un riferimento orizzontale)

In condizioni di moto permanente la portata $Q = A \cdot v = \text{costante}$

Ipotizzando un tratto orizzontale ($z_1 = z_2$), se la sezione *A* diminuisce, aumenta la velocità *v* e si riduce la pressione *p*.

Idraulica dei moti a pressione

Equazione di conservazione dell'energia nei fluidi reali

Nel caso di fluidi reali si generano delle perdite di carico dovute agli attriti tra le particelle nel fluido e a turbolenze.

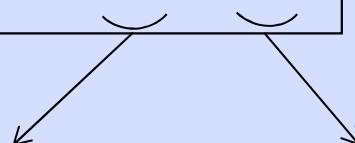
In questo caso si parla di:

- perdite di carico distribuite: riferite all'attrito viscoso che si esercita fra le particelle aventi diversa velocità a causa dell'aderenza tra il fluido e la superficie della condotta (maggiore è la scabrezza della tubazione, maggiori sono le perdite di carico);
- perdite di carico concentrate: generate dalla dissipazione di energia a causa degli urti tra le particelle che si verificano in prossimità di effetti turbolenti ad esempio in corrispondenza di brusche variazioni di sezione, presenza di valvole ecc.

Siccome il trinomio di Bernoulli definisce una energia per unità di peso, nel caso di fluidi reali il suo valore si riduce nel senso del moto (a meno che non siano interposti dispositivi di pompaggio).

Se ipotizziamo che il fluido si muova dalla sezione 1 alla sezione 2, l'equazione di conservazione dell'energia diventa:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H_L + H_C$$



Perdite di carico distribuite

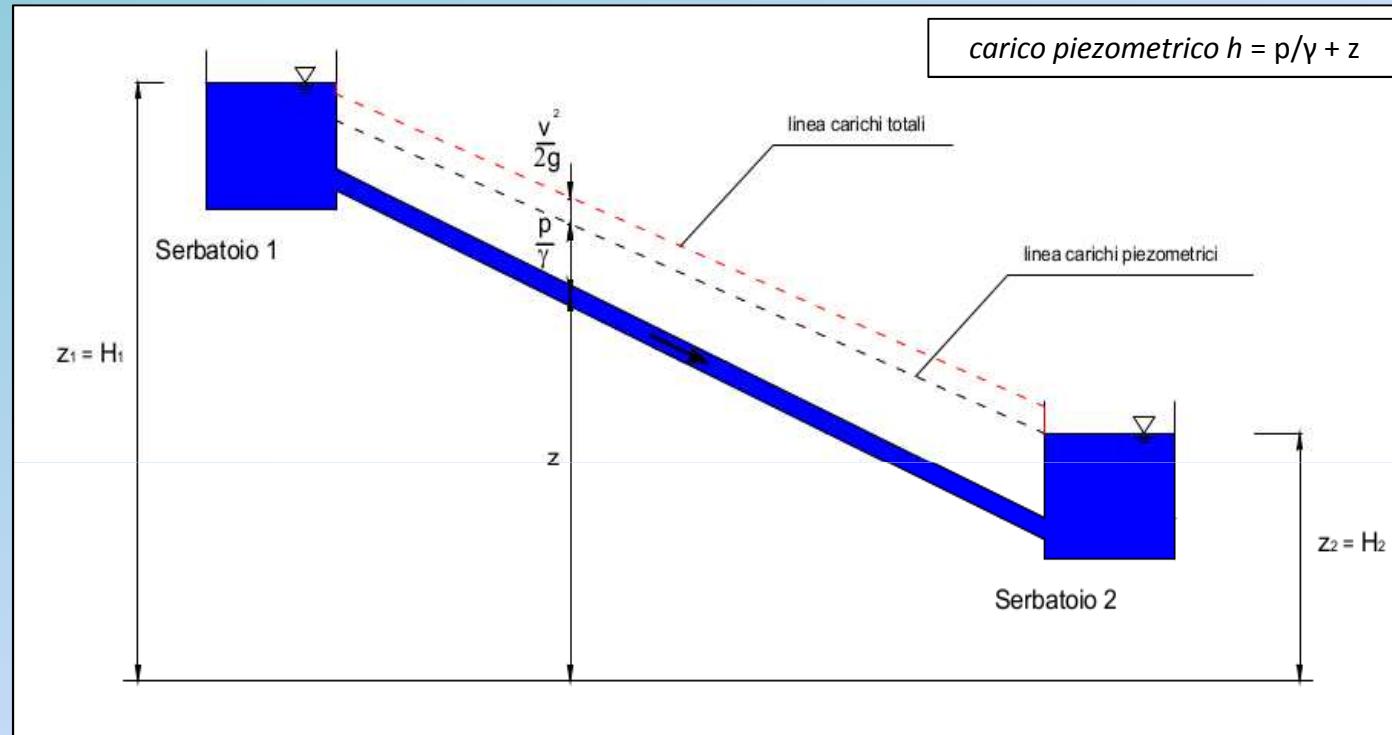
*Perdite di carico
concentrate*

L'entità delle perdite di carico è proporzionale alla velocità del fluido.

Idraulica dei moti a pressione

Equazione di conservazione dell'energia nei fluidi reali

Si riportano di seguito alcuni esempi.



Perdite di carico distribuite H_L

$$\frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2g} L$$

λ fattore di attrito (adimensionale)

D diametro equivalente della condotta (m)

v velocità media del fluido nella tubazione

L lunghezza della condotta (m)

Perdite di carico concentrate H_C

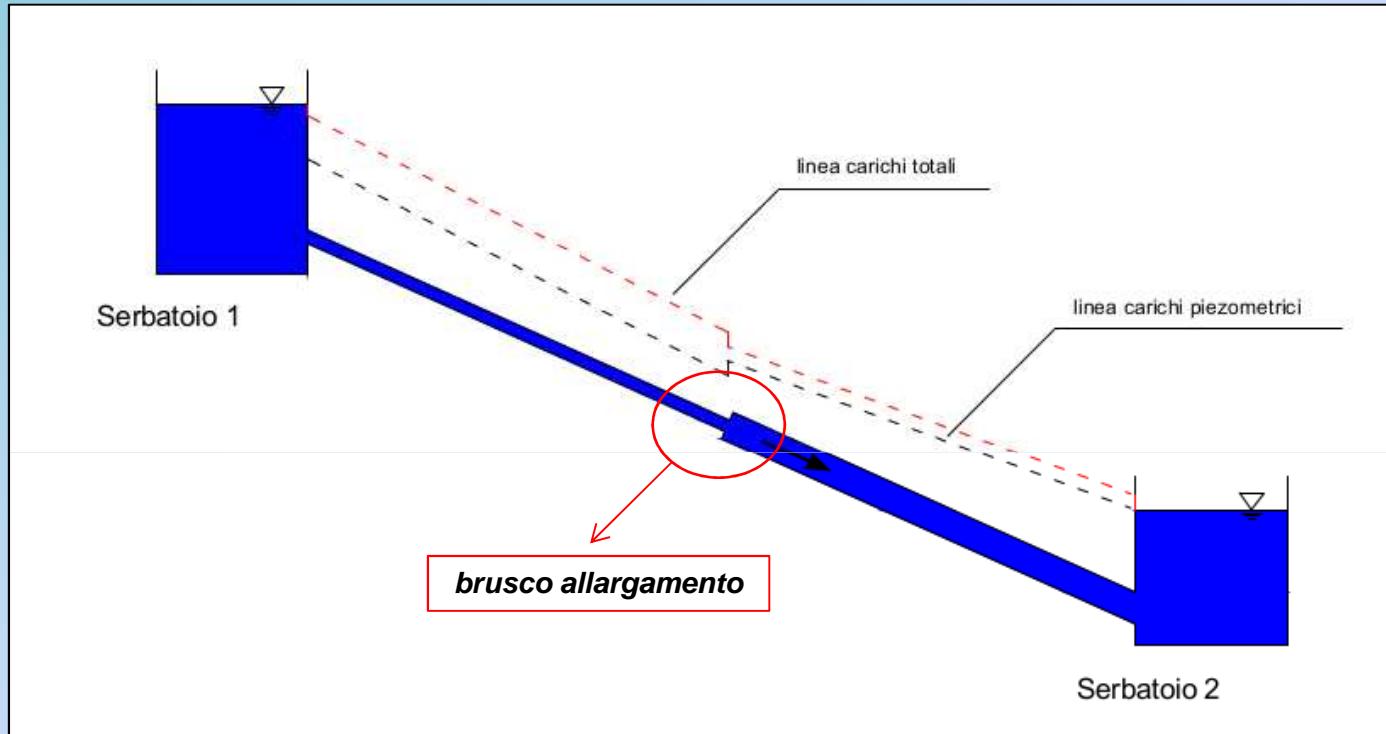
$$\xi \frac{v^2}{2g}$$

- allo sbocco del serbatoio (1) $\xi = 0,5$
- all'imbocco del serbatoio (2) $\xi = 1,0$

Idraulica dei moti a pressione

Equazione di conservazione dell'energia nei fluidi reali

Si riportano di seguito alcuni esempi.



Perdite di carico distribuite H_L

$$\frac{\lambda_i}{D_i} \frac{v_i^2}{2g} L_i$$

λ fattore di attrito (adimensionale)

D diametro equivalente della condotta (m)

v velocità media del fluido nella tubazione

L lunghezza della condotta (m)

Perdite di carico concentrate H_C

$$\xi \frac{v_i^2}{2g}$$

- allo sbocco del serbatoio (1) $\xi = 0,5$
- all'imbocco del serbatoio (2) $\xi = 1,0$

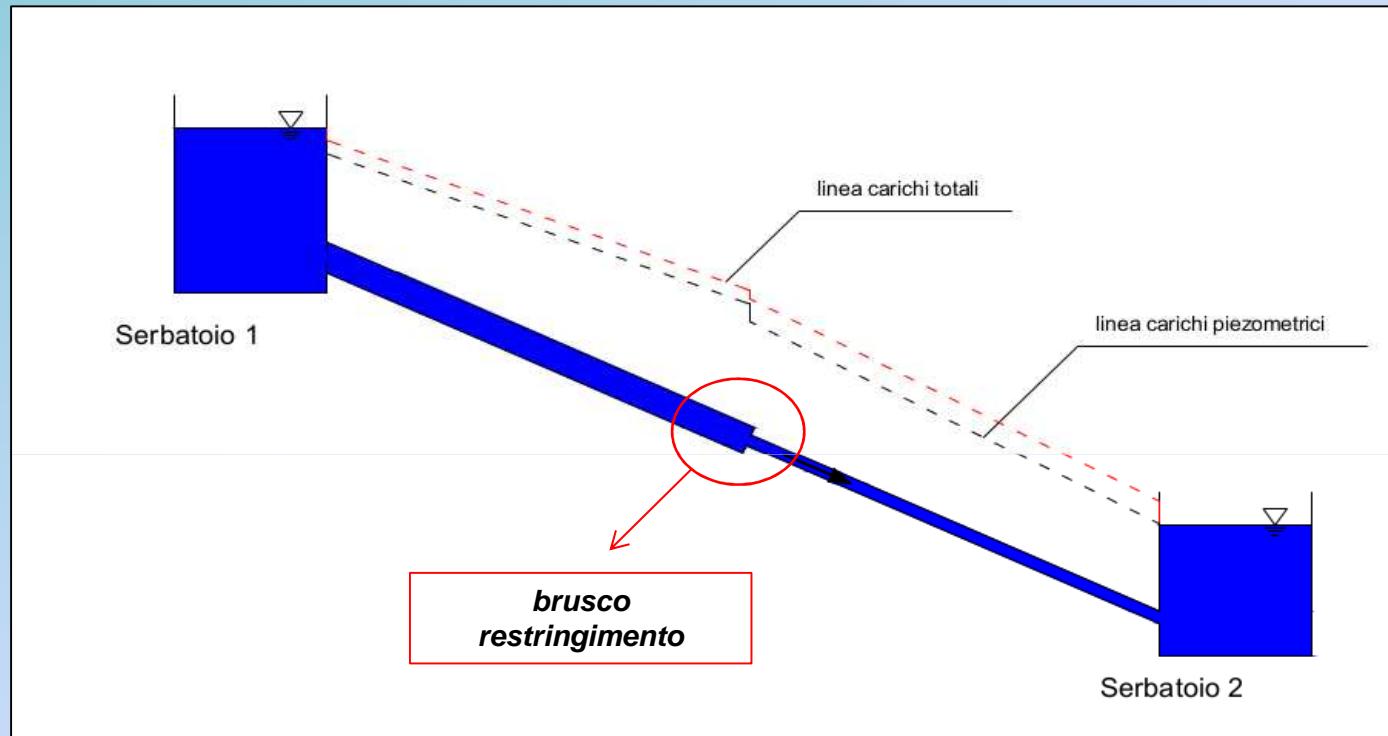
$$\frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

- brusco allargamento

Idraulica dei moti a pressione

Equazione di conservazione dell'energia nei fluidi reali

Si riportano di seguito alcuni esempi.



Perdite di carico distribuite H_L

$$\frac{\lambda_i}{D_i} \frac{v_i^2}{2g} L_i$$

λ fattore di attrito (adimensionale)
 D diametro equivalente della condotta (m)
 v velocità media del fluido nella tubazione
 L lunghezza della condotta (m)

Perdite di carico concentrate H_C

$$\xi \frac{v_i^2}{2g}$$

- allo sbocco del serbatoio (1) $\xi = 0,5$
- all'imbocco del serbatoio (2) $\xi = 1,0$

$$k \frac{v_2^2}{2g}$$

- brusco restringimento

A_2/A_1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
k	0,47	0,44	0,40	0,35	0,28	0,21	0,10	0

I serbatoi di compenso

Consentono di accumulare il volume d'acqua in eccesso nel caso in cui la portata in ingresso sia superiore all'uscita e sfruttarlo come integrazione qualora si verificasse la condizione opposta (portata in ingresso insufficiente a soddisfare l'uscita).

In funzione della loro collocazione rispetto al terreno, possono essere distinti in:

- **serbatoi a terra/semi interrati:** per alimentare i centri abitati di montagna o collina.

Vantaggi:

- a) economici;
- b) minor impatto ambientale;

- **serbatoi pensili:** a servizio di centri abitati di pianura. Per garantire il carico sufficiente la vasca è sopraelevata rispetto al terreno circostante, con opportune strutture di sostegno;
- **serbatoi a terra con torrino piezometrico:** l'acqua viene sollevata da serbatoi a terra di elevata capacità alla vasca pensile adiacente.

Vantaggi:

- a) riduzioni dei volumi della vasca pensile;
- b) il torrino assicura il controllo della quota piezometrica in rete;

- **serbatoi a terra con autoclave:** il carico in rete viene garantito da un serbatoio di capacità limitata in acciaio, a pressione, connesso a monte ad un pompaggio che preleva l'acqua da una vasca a terra.

Vantaggi:

- a) minor impatto ambientale (per poche utenze)



Serbatoio semi interrato



Serbatoio pensile

I serbatoi di compenso

Equazione dei serbatoi

Per calcolare la **capacità di compenso**, si integra l'equazione di continuità del serbatoio:

$$Q_e(t) - Q_u(t) - Q_s(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

$Q_e(t)$, $Q_u(t)$, $Q_s(t)$ indicano rispettivamente la portata in ingresso, uscita e sfiorata (attraverso gli organi di scarico) dal serbatoio nell'intervallo di tempo dt . $W(t)$ indica il volume invasato.

Ipotizzando nulla la portata sfiorata, la capacità di compenso può essere determinata sommando i valori assoluti delle massime differenze tra volumi cumulati entranti (V_e) e uscenti (V_u) nel periodo di riferimento.

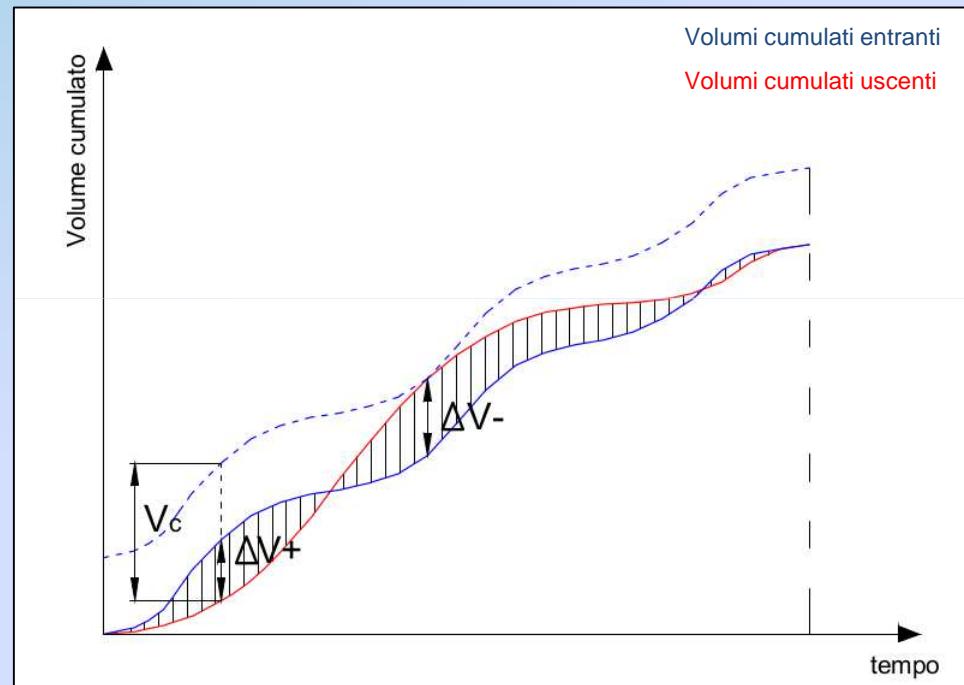
$$V_e(t) = \int_0^t Q_e(\tau) d\tau \quad V_u(t) = \int_0^t Q_u(\tau) d\tau$$

Le pendenze delle tangenti delle curve rappresentano le portate all'istante t .

Per calcolare la capacità totale di un serbatoio bisogna tener conto inoltre di altri parametri:

- **volume morto**: volume non utilizzabile compreso tra il fondo vasca e la presa di uscita (altezza 15 – 20 cm);
- **volume antincendio**: capacità sufficiente a garantire una portata antincendio di 2 – 3 ore in caso di emergenza $Q_{ai} = 6\sqrt{P}$ con P indicante il numero di abitanti espresso in migliaia.
- **volume di riserva**: capacità richiesta in caso si presentino situazioni di emergenza (es. rotture di condotte adduttrici)

$$V_{ris} \approx 0,2(V_c + V_{ai})$$



I serbatoi di compenso

Legge di Torricelli

La velocità di un fluido in uscita da un foro (di dimensione ridotta se rapportata con le dimensioni del recipiente) è pari alla radice quadrata del doppio prodotto dell'accelerazione di gravità e dell'altezza della superficie del liquido rispetto al baricentro del foro stesso.

Facendo riferimento alle sezioni 1 (baricentro dell'orifizio) e 2 (superficie libera), il teorema di Bernoulli afferma che:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + y_2$$

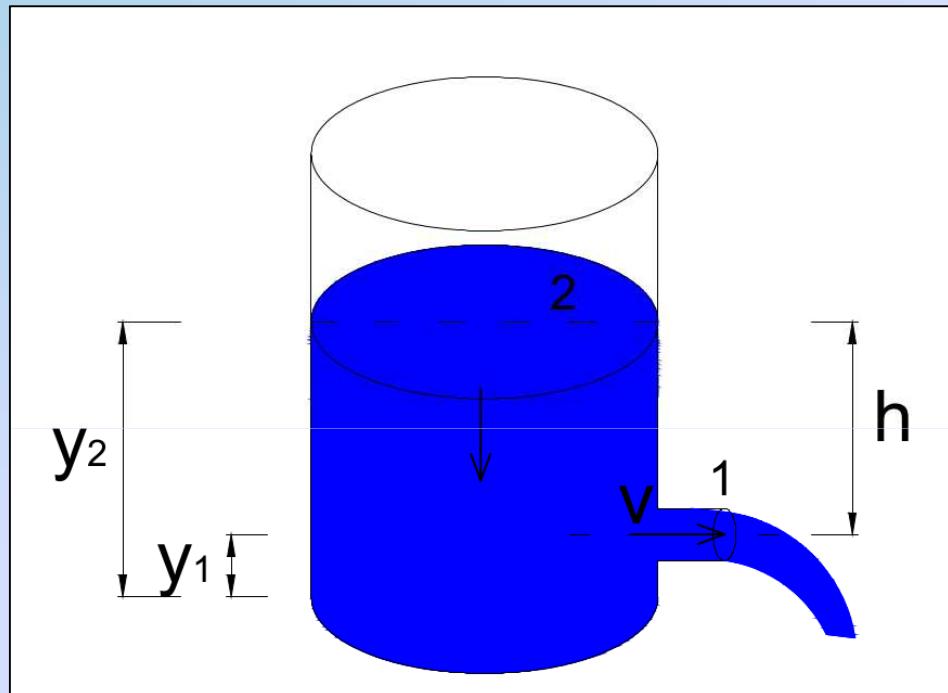
Considerando che:

- l'area del foro è molto minore di quella della vasca (pertanto è possibile trascurare la velocità del fluido in superficie (v_2))
- i punti 1 e 2 sono entrambi a contatto con l'atmosfera, pertanto le pressioni p_1 e p_2 sono uguali

l'equazione precedente può essere riscritta come:

$$v_1^2 = 2g(y_2 - y_1)$$

$$v_1 = \sqrt{2gh}$$



Il termine h prende il nome di **carico idraulico**.

La velocità del fluido è pari quindi a quella che avrebbe durante una caduta libera da una altezza h .

Impianti di sollevamento

Nel caso in cui non sia possibile una alimentazione a gravità, è necessario ricorrere ad impianti di pompaggio.

Definiti H_g e H_m rispettivamente il dislivello geodetico (dislivello topografico tra la quota del bacino di presa e quello di scarico, indipendente dalla portata) e la prevalenza della pompa (energia che il dispositivo fornisce per unità di peso del fluido), si definisce curva caratteristica dell'impianto:

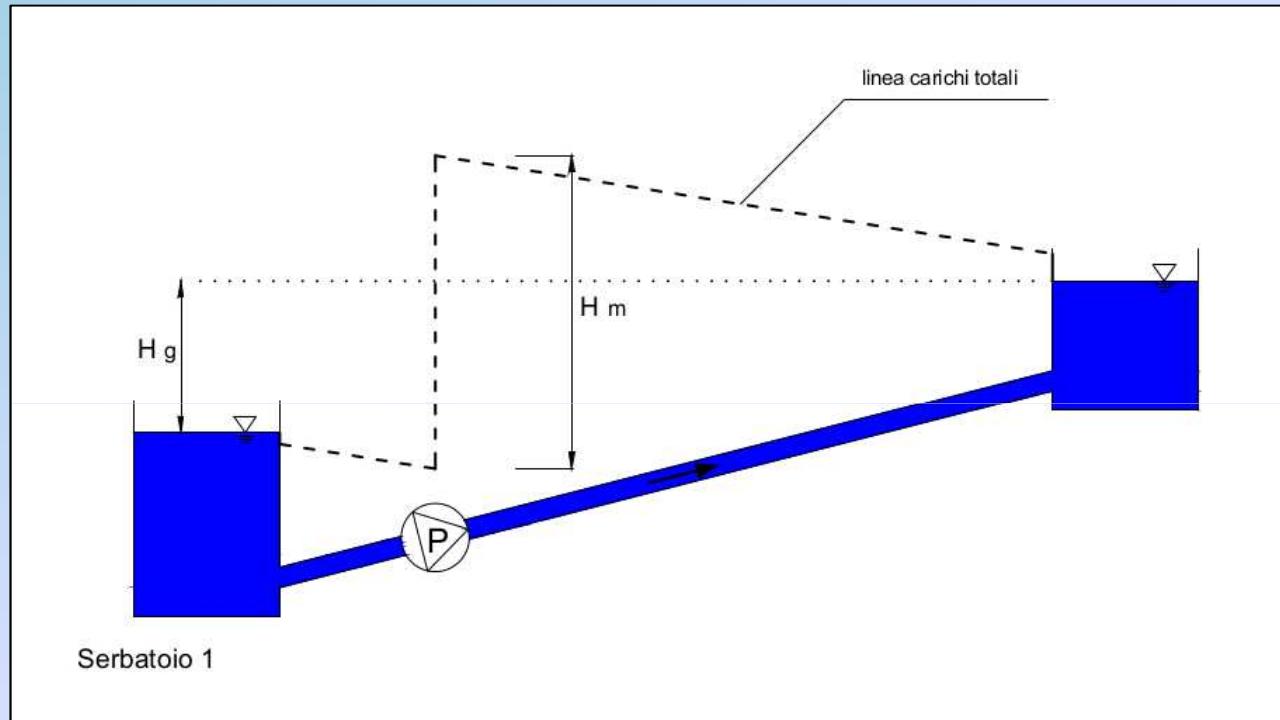
$$H_m = H_g + H_L + H_C$$

La potenza P_u trasferita al liquido è data da:

$$P_u = \gamma \cdot Q \cdot H_m$$

L'efficienza della pompa può essere limitata a causa di:

- perdite idrauliche (ad esempio turbolenze);
- perdite meccaniche (dovute ad attriti);
- perdite volumetriche (a causa di trafilamenti).



Per queste ragioni la potenza che la pompa deve assorbire dal motore, indicando con η il rendimento, è pari a:

$$P_a = \frac{P_u}{\eta} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{\eta} \longrightarrow P_a > P_u$$

Impianti di sollevamento

La relazione che lega le grandezze appena citate viene rappresentata attraverso i diagrammi delle **curve caratteristiche delle pompe**, funzioni a loro volta del diametro e di velocità di rotazione della girante. Questi grafici vengono forniti dalla casa costruttrice.

Il punto di intersezione tra la curva caratteristica della pompa e quella dell'impianto identifica il **punto di funzionamento** della pompa in termini di prevalenza e portata.

I valori dei parametri in corrispondenza del punto di rendimento massimo vengono definiti **nominali**.

Possibilità di accoppiamento delle pompe:

- richiesta superiore di portata → pompe in parallelo
- necessità di maggior prevalenza → pompe in serie

Costi di costruzione dell'impianto

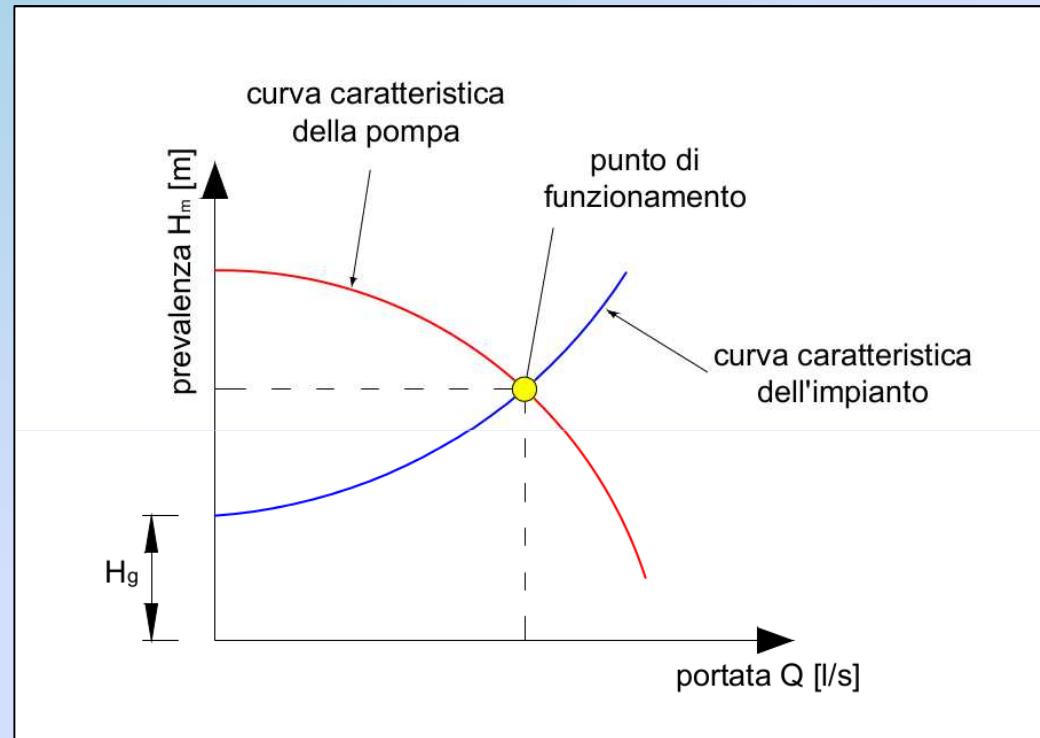
- costo della condotta posta in opera (funzione del diametro);
- costo della centrale di sollevamento.

Costi di esercizio

- spese energetiche

$$E = P_a \cdot \Delta T \cdot c = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{\eta} \cdot \Delta T \cdot c$$

- spese di manutenzione (~ 2% delle spese di impianto)
- spese di personale



E : costo totale dell'energia [€]

ΔT : durata del pompaggio [h]

c : costo unitario dell'energia [€/kW h]

Le reti di distribuzione

Attraverso questi sistemi a pressione l'acqua giunge all'utente finale.

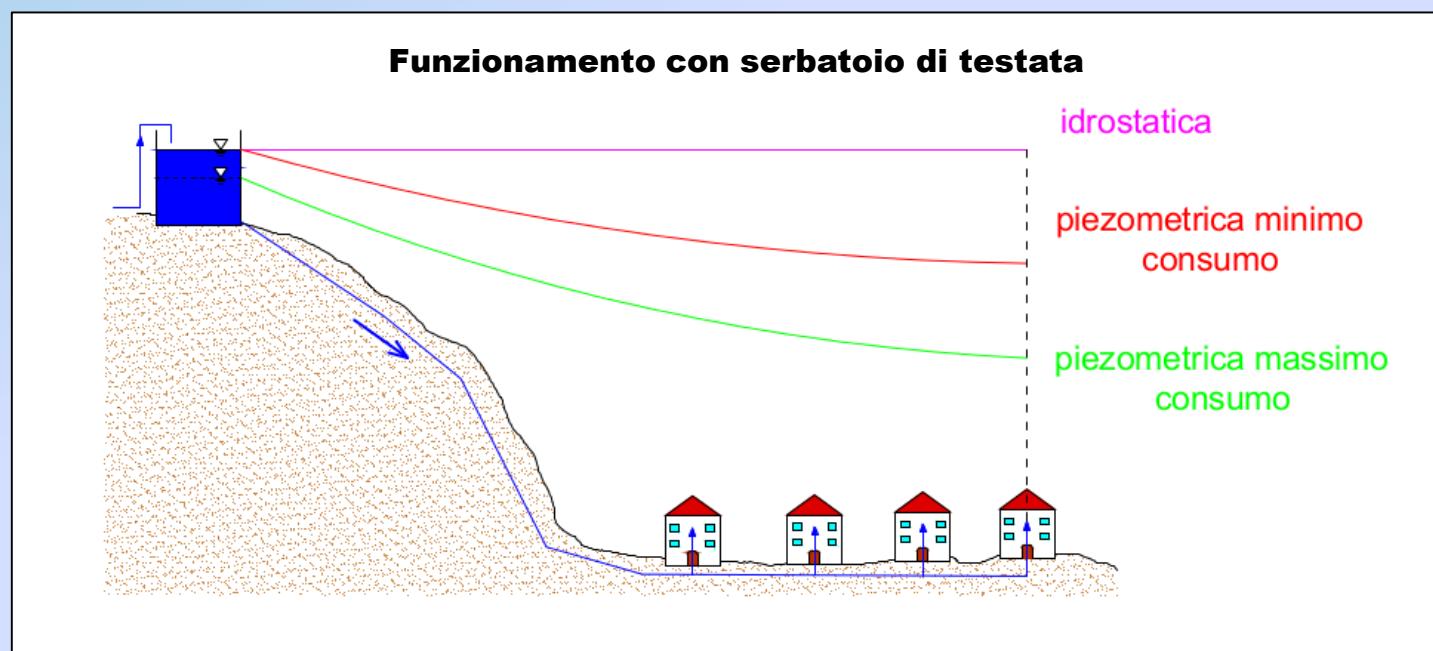
Da un punto di vista gerarchico, si possono distinguere:

- *condotte di avvicinamento* (di maggiore diametro, si propagano dai serbatoi verso l'area da servire);
- *condotte di alimentazione* (di diametro inferiore rispetto a quelle di avvicinamento);
- *condotte distributrici* (di diametro solitamente inferiore ai 100 mm, su queste tubazioni vengono installati i contatori delle utenze).

L'alimentazione delle utenze può avvenire a gravità oppure tramite pompaggio diretto in rete.

E' buona norma cercare di privilegiare la prima modalità, al fine di limitare i costi energetici ed evitare eccessivi sbalzi di pressione in rete.

Nel caso di **serbatoio di testata** l'intera rete viene servita unicamente da quest'ultimo.

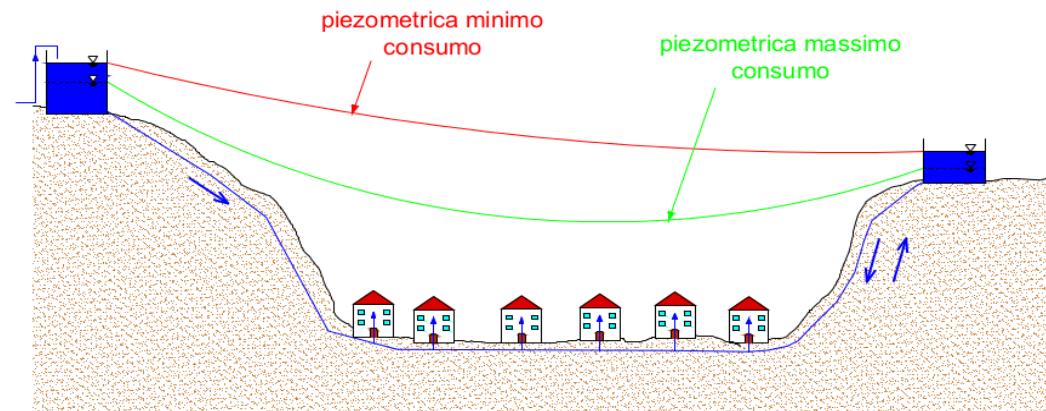


Le reti di distribuzione

Nel caso di reti di notevoli estensioni, per limitare le oscillazioni piezometriche viene adottato un serbatoio di estremità.

La sua posizione deve esser tale da consentirne il riempimento durante le ore di minor consumo (nelle ore notturne) e allo stesso tempo fornire una adeguata pressione alle utenze nelle ore diurne di maggiore richiesta idrica.

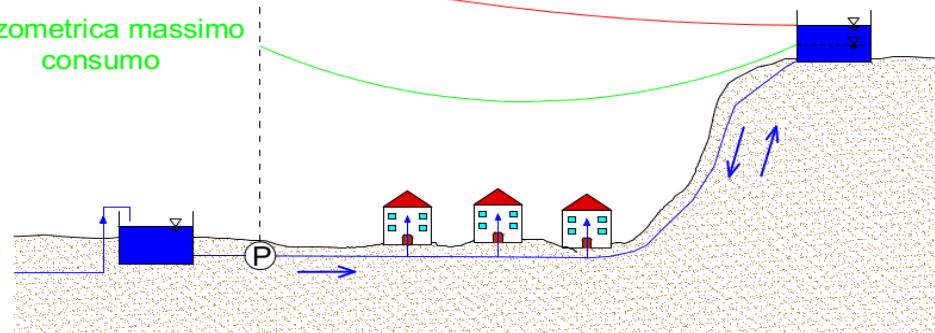
Funzionamento con serbatoio di estremità



Alimentazione diretta in rete da pompaggio

piezometrica minimo consumo

piezometrica massimo consumo



Pompaggio diretto in rete

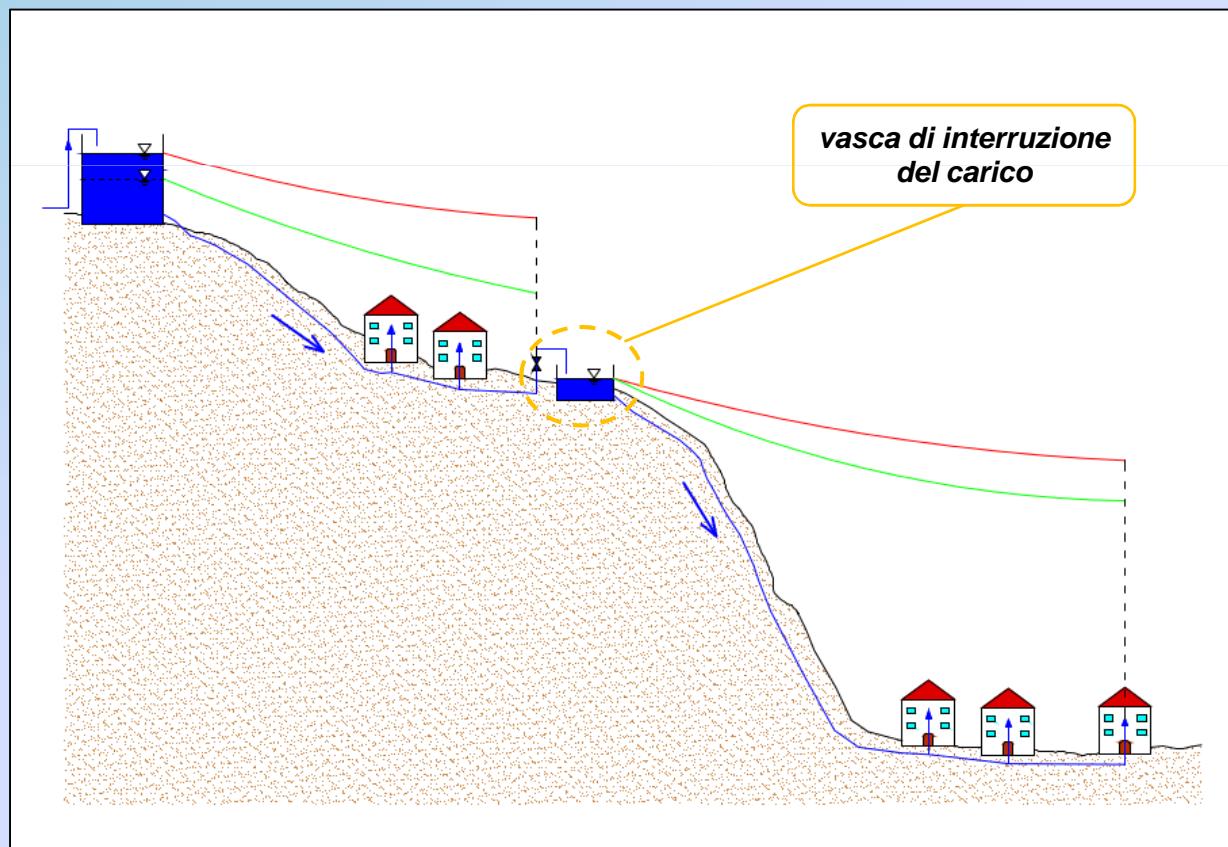
Durante le ore diurne le utenze vengono alimentate direttamente da pompaggio e in parte anche a gravità dal serbatoio.

Nelle ore notturne, di minore consumo, le pompe alimentano il serbatoio.

Progettare un acquedotto

Per la corretta progettazione di una rete acquedottistica è necessario:

- effettuare una analisi urbanistico – topografica, nella quale studiare la morfologia del territorio, la distribuzione delle utenze da servire (bisogna considerare lo sviluppo dell'area nei successivi 50 anni almeno);
- individuare le fonti di approvvigionamento presenti cercando di privilegiare una alimentazione a gravità, affinché si riducano il più possibile le spese energetiche derivanti da pompaggio.
- nell'ipotesi di servire le utenze a gravità da serbatoio, individuare i punti più consoni sul territorio per la loro realizzazione tenendo conto di vincoli paesaggistici e impatto ambientale (pensile / interrato) e in maniera tale da garantire adeguate pressioni a valle, lungo la rete di distribuzione. Se necessario, in aree contraddistinte da forti pendenze orografiche ricorrere a vasche di interruzione del carico.



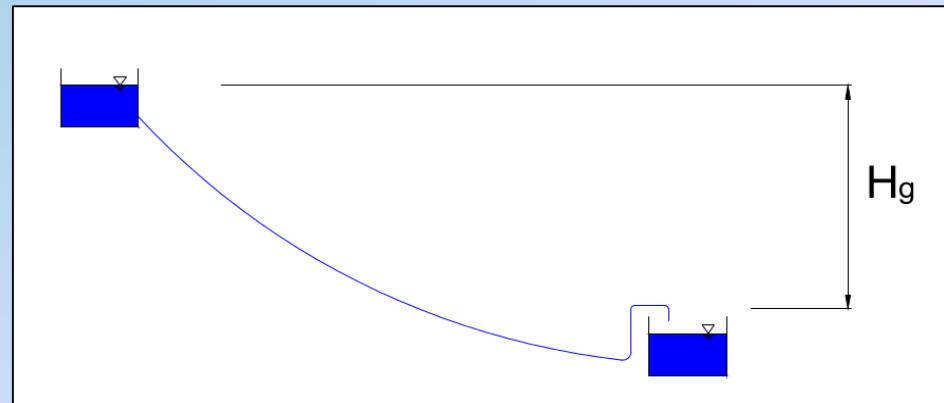
Progettare un acquedotto

Noto il tracciato piano – altimetrico da seguire, la portata da convogliare e la tipologia di materiale delle condotte, si calcola il diametro teorico necessario attraverso l'equazione di Bernoulli, solitamente in condizioni di moto permanente.

Il diametro effettivo da adottare viene scelto tra quelli a disposizione in commercio (generalmente quello immediatamente maggiore di quello teorico).

$$H_g = L \frac{10,29}{k_s^2} \frac{Q_{\max}^2}{D^{5,33}}$$

Come scabrezza di progetto k_s si considera quella di tubi usati (massima prevista durante la vita dell'opera)

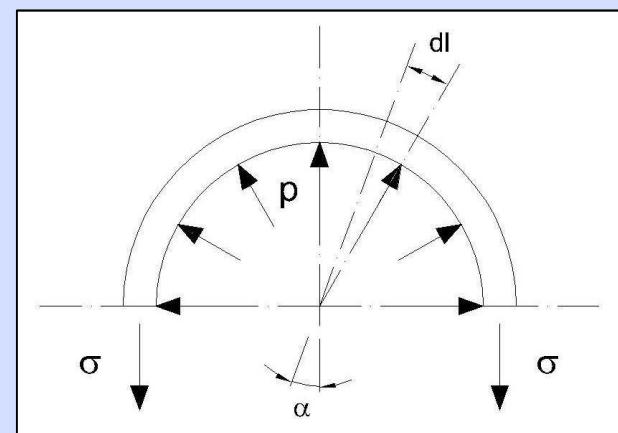


E' importante **verificare** che:

- le **pressioni** di esercizio non superino gli 80 – 100 metri e non manifestino valori inferiori a 0,5 atmosfere;
- le pressioni non superino in nessuna condizione di esercizio la resistenza meccanica delle tubazioni;
- le **velocità** siano comprese tra 0,5 e 2 m/s (consigliato 0,8 – 1,5 m/s) affinché non siano troppo basse per motivi igienici (riscaldamento dell'acqua), ma nemmeno troppo alte per non danneggiare i giunti, con conseguenti perdite idriche.

Definito $s (< D)$ lo spessore della condotta, p la pressione interna ipotizzata costante, la tensione σ della tubazione è valutabile con la formula di Mariotte:

$$\sigma = \frac{p \cdot D}{2s}$$



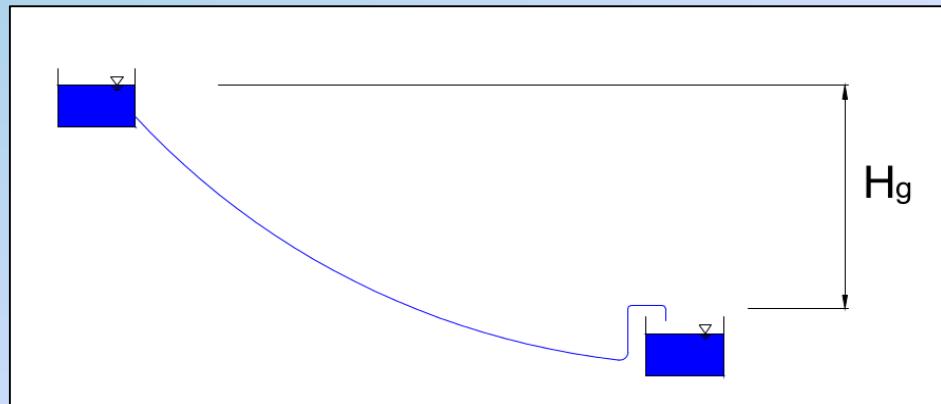
Progettare un acquedotto

Noto il tracciato piano – altimetrico da seguire, la portata da convogliare e la tipologia di materiale delle condotte, si calcola il diametro teorico necessario attraverso l'equazione di Bernoulli, solitamente in condizioni di moto permanente.

Il diametro effettivo da adottare viene scelto tra quelli a disposizione in commercio (generalmente quello immediatamente maggiore di quello teorico).

$$H_g = L \frac{10,29}{k_s^2} \frac{Q_{\max}^2}{D^{5,33}}$$

Come scabrezza di progetto k_s si considera quella di tubi usati (massima prevista durante la vita dell'opera)



E' importante **verificare** che:

- le **pressioni** di esercizio non superino gli 80 – 100 metri e non manifestino valori inferiori a 0,5 atmosfere;
- le pressioni non superino in nessuna condizione di esercizio la resistenza meccanica delle tubazioni;
- le **velocità** siano comprese tra 0,5 e 2 m/s (consigliato 0,8 – 1,5 m/s) affinché non siano troppo basse per motivi igienici (riscaldamento dell'acqua), ma nemmeno troppo alte per non danneggiare i giunti, con conseguenti perdite idriche.

Lungo le **reti di distribuzione**, nelle varie condizioni di esercizio, bisogna verificare che:

- le pressioni siano comprese tra 20 – 80 metri di colonna d'acqua;
- la pressione ai nodi non subisca oscillazioni superiori ai 20 – 25 metri durante la giornata a causa della variazione di richiesta idrica;
- la pressione sia ovunque superiore a 10 metri in condizione di **emergenza antincendio** con livello del serbatoio minimo (si ipotizza di erogare solo il 75% della portata media nel giorno di massimo consumo alle utenze);
- la pressione sia ovunque superiore a 20 metri in caso di **rottura di condotta in una maglia principale** con livello del serbatoio minimo (si ipotizza di erogare solo il 50% della portata media nel giorno di massimo consumo alle utenze).

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

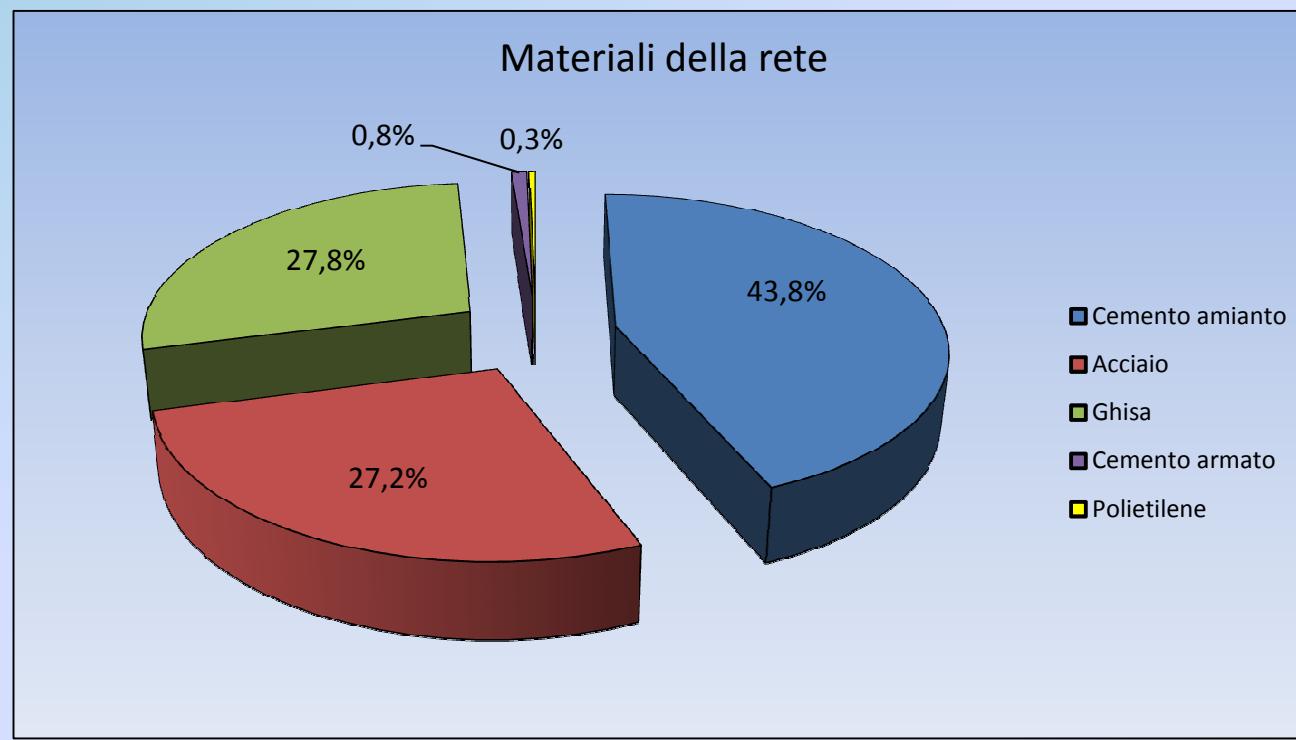
Introduzione

Attualmente la rete di CAFC S.p.A. gestisce gli acquedotti di 83 Comuni nella provincia di Udine, per un'area che si sviluppa 55 km in direzione est – ovest e 75 km nella direzione nord – sud, per un totale di oltre 2000 km², con al suo interno una forte diversificazione del territorio, sia da un punto di vista geologico, che orografico che insediativo.

La rete si sviluppa per una lunghezza di circa 4000 km e serve oltre 230.000 utenti, con picchi che possono raggiungere anche i 400.000 nella stagione estiva, grazie all'attrazione turistica del territorio, in particolar modo delle località balneari.

Ogni anno mediamente vengono erogati circa 53 milioni di metri cubi.

In questo lavoro si è tenuto conto sia delle linee di adduzione principali, che delle condotte di avvicinamento e distributrici principali. La rete analizzata si estende per una lunghezza di circa 800 km.



Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Introduzione

Attualmente la rete di CAFC S.p.A. gestisce gli acquedotti di 83 Comuni nella provincia di Udine, per un'area che si sviluppa 55 km in direzione est – ovest e 75 km nella direzione nord – sud, per un totale di oltre 2000 km², con al suo interno una forte diversificazione del territorio, sia da un punto di vista geologico, che orografico che insediativo.

La rete si sviluppa per una lunghezza di circa 4000 km e serve oltre 230.000 utenti, con picchi che possono raggiungere anche i 400.000 nella stagione estiva, grazie all'attrazione turistica del territorio, in particolar modo delle località balneari.

Ogni anno mediamente vengono erogati circa 53 milioni di metri cubi.

In questo lavoro si è tenuto conto sia delle linee di adduzione principali, che delle condotte di avvicinamento e distributrici principali. La rete analizzata si estende per una lunghezza di circa 800 km.

L'intero sistema idrico viene servito da 4 punti di alimentazione, localizzati a:

- **Molino del Bosso** (del 1930): in Comune di Artegna, sono presenti 12 pozzi dai quali altrettante pompe sollevano una portata complessiva di 1800 l/s. In prossimità della centrale era ubicata la sede del telecontrollo (attualmente trasferita nella sede principale di via Palmanova a Udine), attraverso la quale possibile monitorare l'intera rete in maniera continua, 24 ore su 24.
- **Biauzzo** (del 1964): in Comune di Codroipo, sono presenti 2 pozzi dai quali 4 coppie di elettropompe possono garantire complessivamente una portata di 950 l/s.
- **Fauglis** (del 1987): in Comune di Gonars, sono situati 3 pozzi in grado di fornire al serbatoio pensile adiacente una portata totale di 500 l/s.
- **Musi** (del 1932): in Comune di Lusevera, dove le opere di presa captano a gravità le acque del Torre, per servire poi i serbatoi e le utenze ubicate nei comuni di Lusevera, Tarcento, Magnano e Buja.

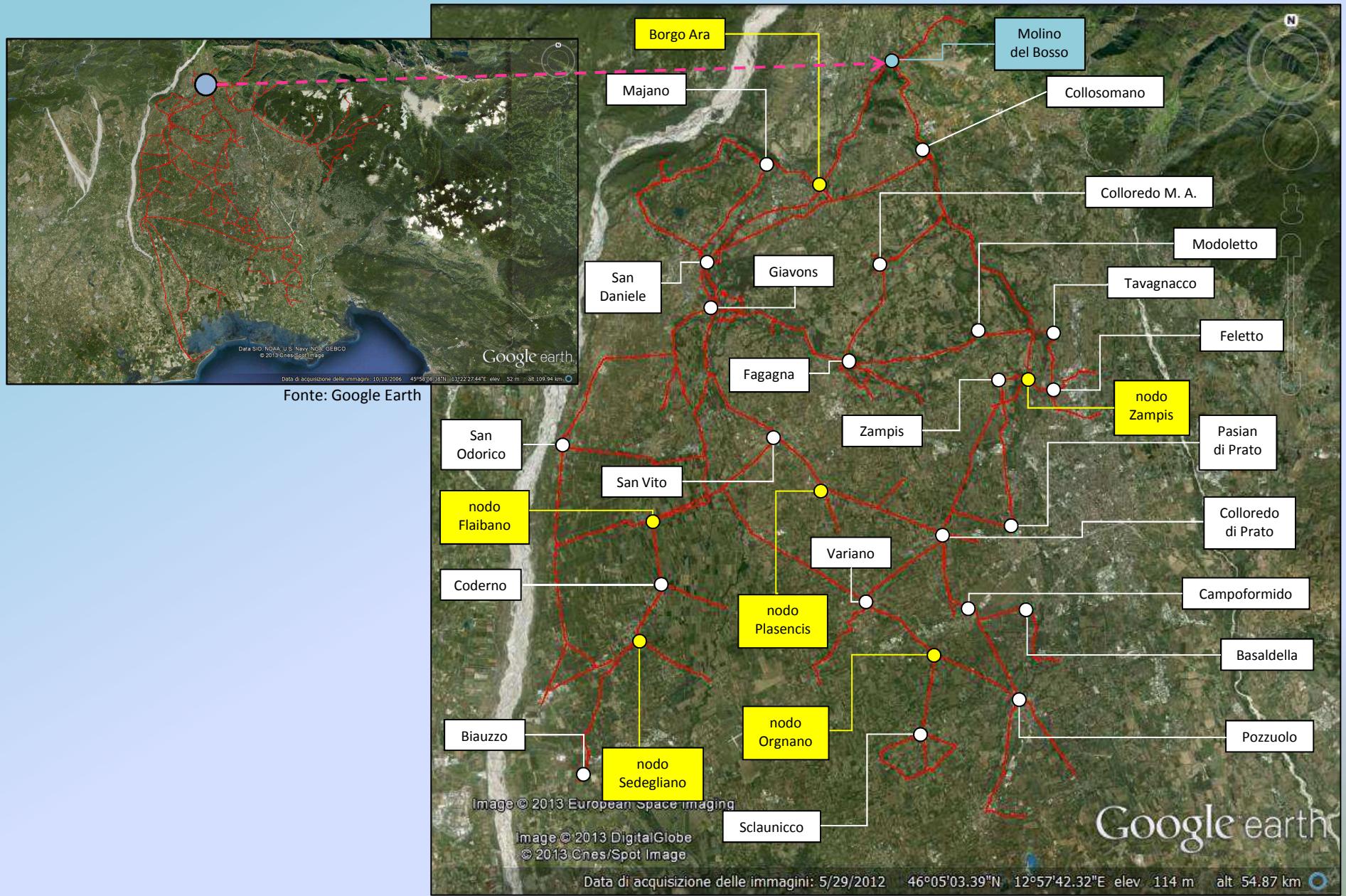
Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Punti di alimentazione della rete



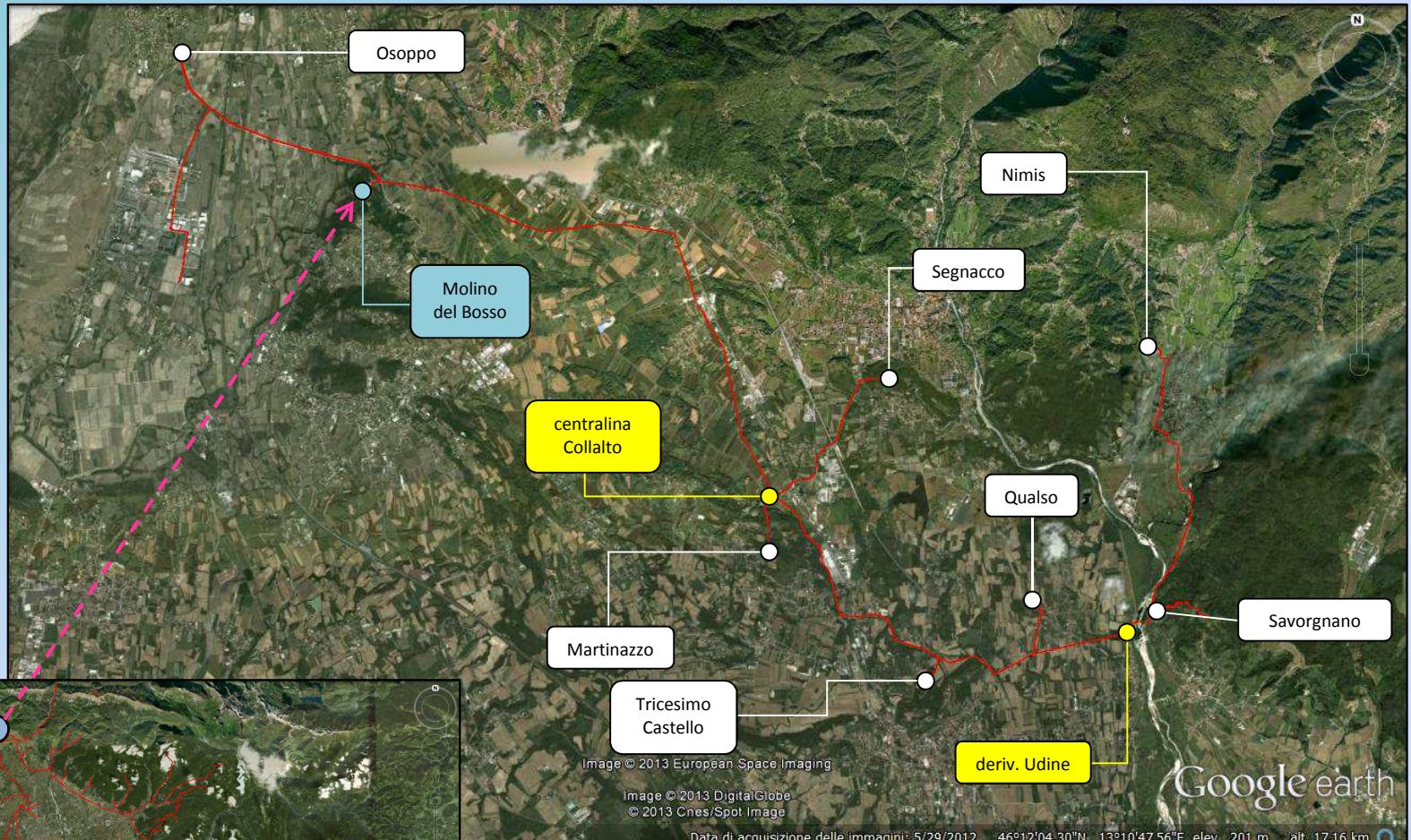
Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Linea di adduzione Friuli centrale

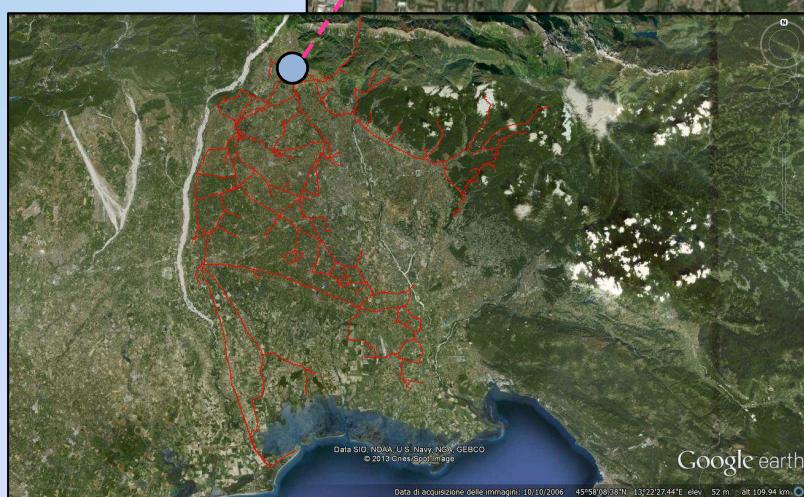


Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Linea di adduzione Molino del Bosso – Savorgnano del Torre

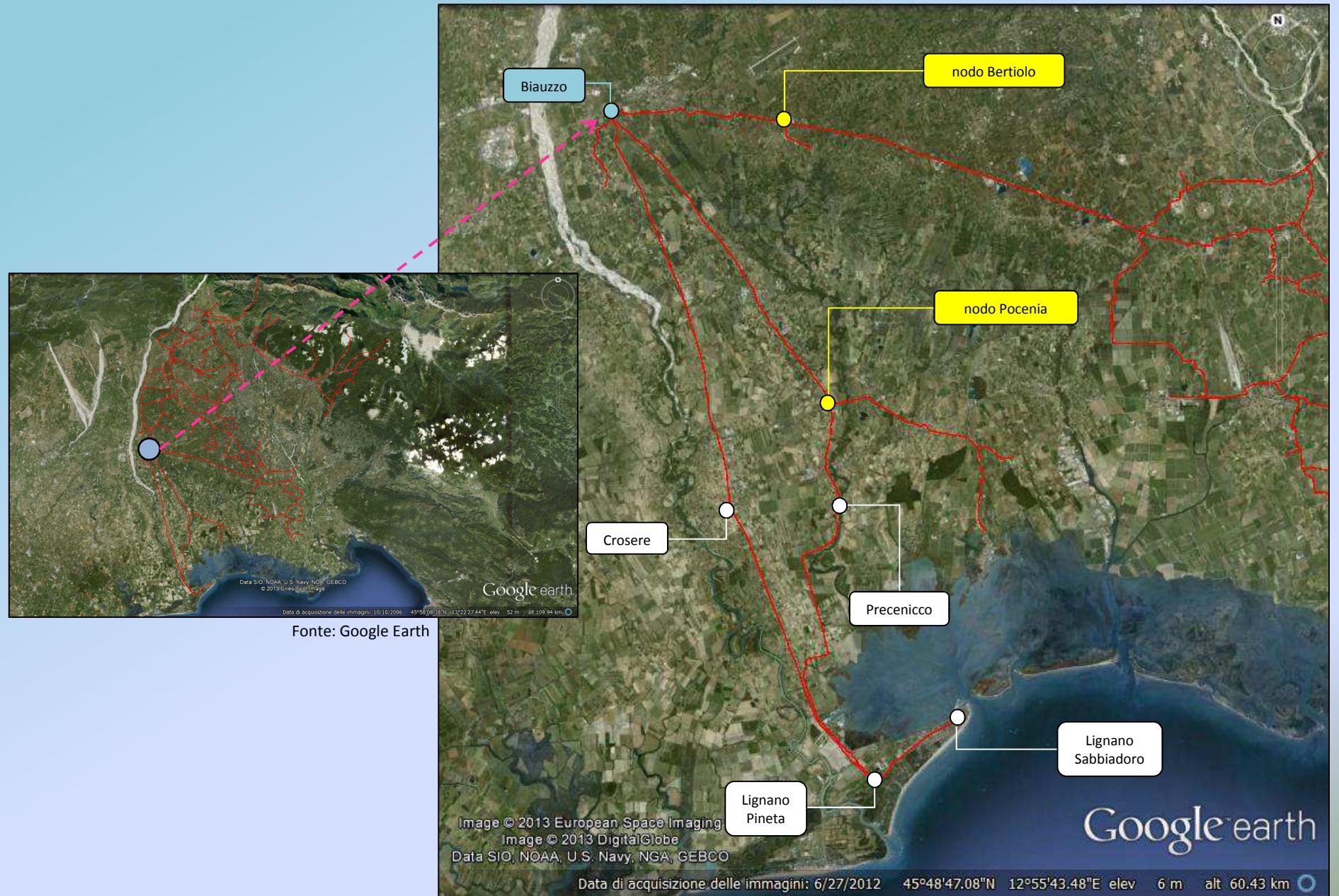


Fonte: Google Earth



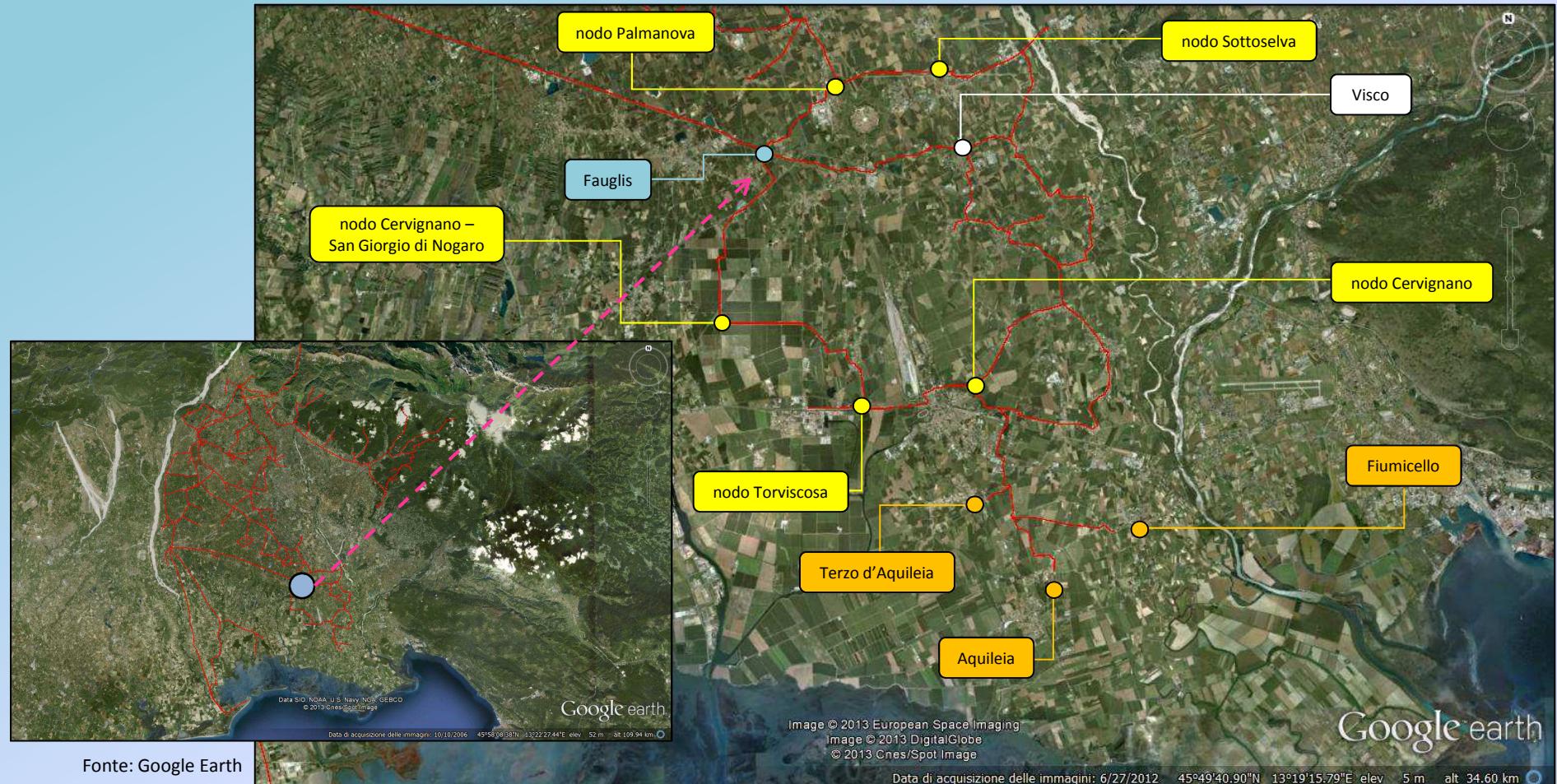
Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Linea di adduzione Biauzzo - Lignano



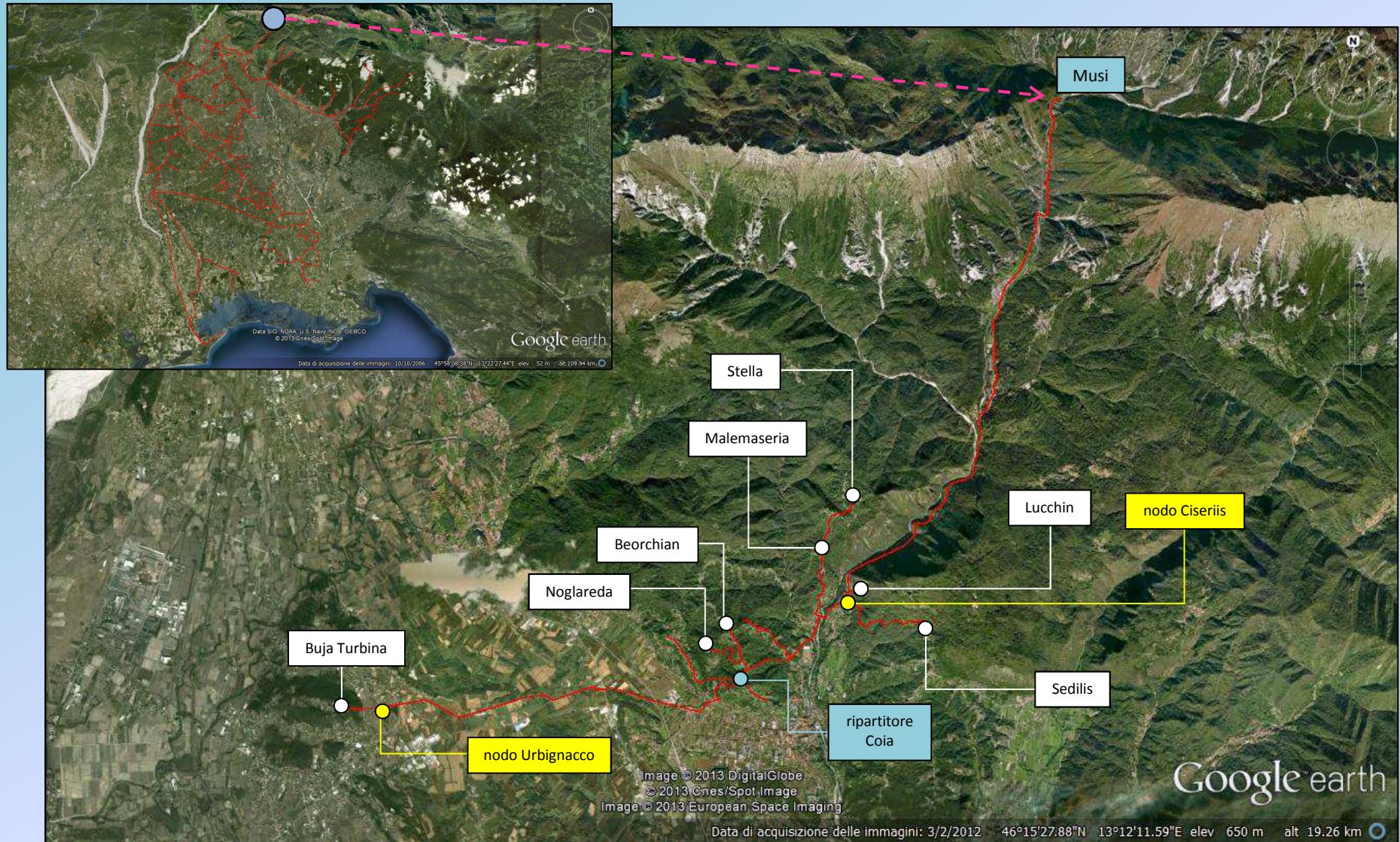
Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Linea di adduzione servita da Fauglis



Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Linea di adduzione del Musi



Fonte: Google Earth

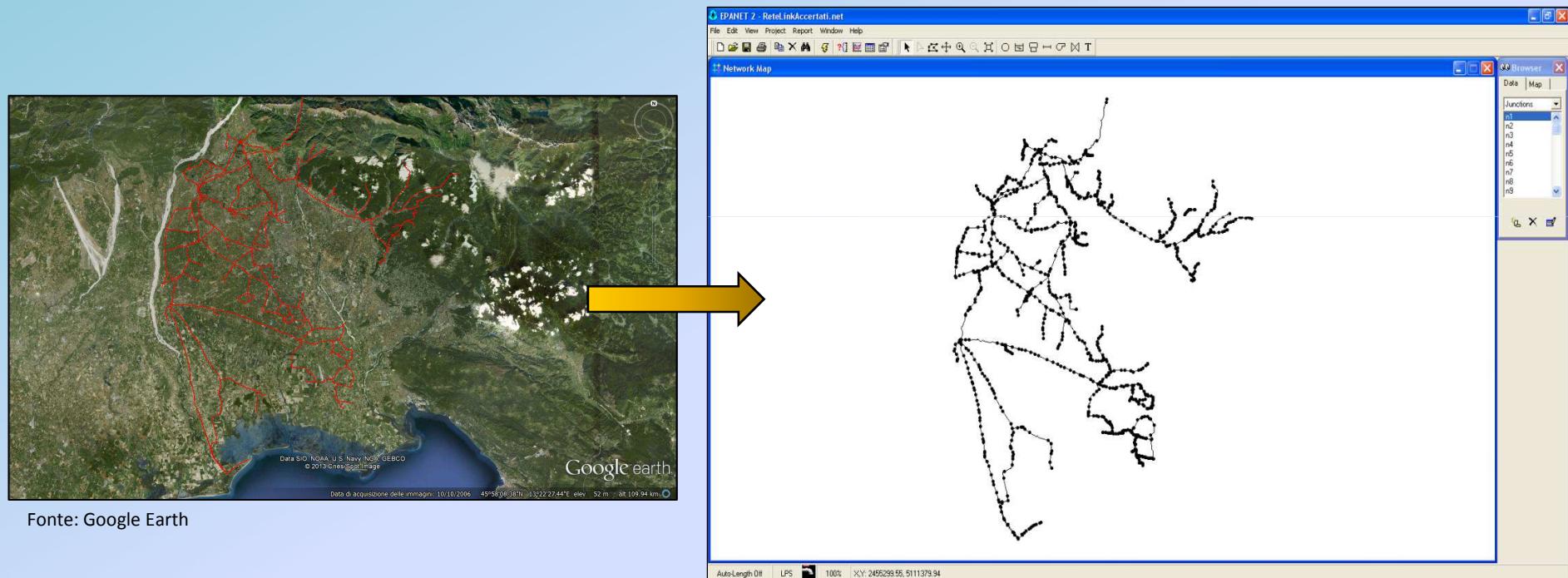
Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Realizzazione del modello numerico

1. Geometria della rete

- Conoscenza del tracciato planimetrico della rete: la topologia e la lunghezza delle condotte sono state fornite in formato *.dwg da CAFC S.p.A.;
- Il file è stato convertito in *.net affinché fosse compatibile con il solutore idraulico EPANET.

Inizialmente il modello contava 1509 nodi e 1263 tratti di connessione.



Fonte: Google Earth

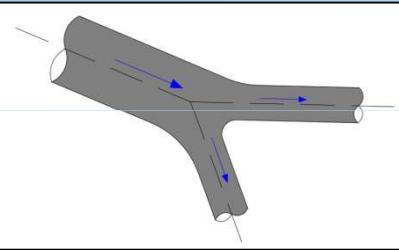
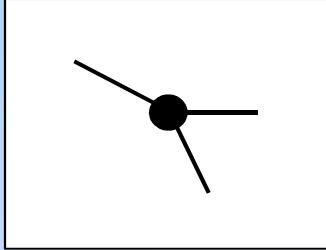
Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Realizzazione del modello numerico

1. Geometria della rete

- Conoscenza del tracciato planimetrico della rete: la topologia e la lunghezza delle condotte sono state fornite in formato *.dwg da CAFC S.p.A.;
- Il file è stato convertito in *.net affinché fosse compatibile con il solutore idraulico EPANET.
Inizialmente il modello contava 1509 nodi e 1263 tratti di connessione.
- Assegnazione dei parametri di modellazione:

Nodi (junctions)

<u>Elemento fisico</u>	<u>Elemento di modellazione</u>	<u>Parametri caratteristici</u>																												
		<table border="1"><thead><tr><th>Property</th><th>Value</th></tr></thead><tbody><tr><td>*Junction ID</td><td>n435</td></tr><tr><td>X-Coordinate</td><td>2371176.48</td></tr><tr><td>Y-Coordinate</td><td>5115307.74</td></tr><tr><td>Description</td><td></td></tr><tr><td>Tag</td><td></td></tr><tr><td>*Elevation</td><td>159.6</td></tr><tr><td>Base Demand</td><td>0</td></tr><tr><td>Demand Pattern</td><td></td></tr><tr><td>Demand Categories</td><td>1</td></tr><tr><td>Emitter Coeff.</td><td></td></tr><tr><td>Initial Quality</td><td></td></tr><tr><td>Source Quality</td><td></td></tr><tr><td>Actual Demand</td><td>N/A</td></tr></tbody></table> <p>Identificativo dell'elemento Coordinate del nodo nel riferimento Gauss - Boaga Quota altimetrica del nodo [m s.l.m.] ricavabile dalla Carta Tecnica 1:5000</p>	Property	Value	*Junction ID	n435	X-Coordinate	2371176.48	Y-Coordinate	5115307.74	Description		Tag		*Elevation	159.6	Base Demand	0	Demand Pattern		Demand Categories	1	Emitter Coeff.		Initial Quality		Source Quality		Actual Demand	N/A
Property	Value																													
*Junction ID	n435																													
X-Coordinate	2371176.48																													
Y-Coordinate	5115307.74																													
Description																														
Tag																														
*Elevation	159.6																													
Base Demand	0																													
Demand Pattern																														
Demand Categories	1																													
Emitter Coeff.																														
Initial Quality																														
Source Quality																														
Actual Demand	N/A																													

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

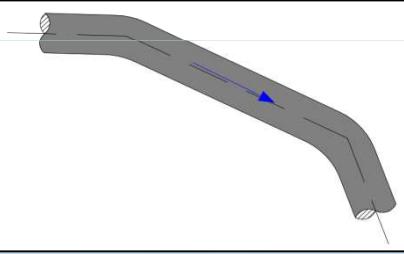
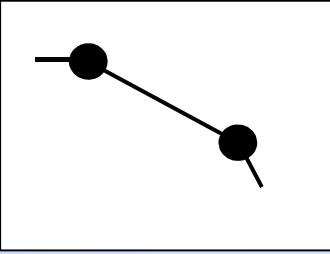
Realizzazione del modello numerico

1. Geometria della rete

- Conoscenza del tracciato planimetrico della rete: la topologia e la lunghezza delle condotte sono state fornite in formato *.dwg da CAFC S.p.A.;
- Il file è stato convertito in *.net affinché fosse compatibile con il solutore idraulico EPANET.
Inizialmente il modello contava 1509 nodi e 1263 tratti di connessione.
- Assegnazione dei parametri di modellazione:

Nodi (junctions)

Condotte (pipes)

<u>Elemento fisico</u>	<u>Elemento di modellazione</u>	<u>Parametri caratteristici</u>																										
		<table border="1"><thead><tr><th>Property</th><th>Value</th></tr></thead><tbody><tr><td>*Pipe ID</td><td>p344</td></tr><tr><td>*Start Node</td><td>n428</td></tr><tr><td>*End Node</td><td>n435</td></tr><tr><td>Description</td><td>Acciaio</td></tr><tr><td>Tag</td><td>1409</td></tr><tr><td>*Length</td><td>500</td></tr><tr><td>*Diameter</td><td>130</td></tr><tr><td>Loss Coeff.</td><td>0</td></tr><tr><td>Initial Status</td><td>Open</td></tr><tr><td>Bulk Coeff.</td><td></td></tr><tr><td>Wall Coeff.</td><td></td></tr><tr><td>Flow</td><td>#N/A</td></tr></tbody></table> <p>Identificativo dell'elemento <i>pipe</i></p> <p>Identificativo dei nodi di estremità</p> <p>Materiale</p> <p>Lunghezza del tratto di condotta [m]</p> <p>Diametro [mm]</p> <p>Scabrezza (Hazen – Williams)</p>	Property	Value	*Pipe ID	p344	*Start Node	n428	*End Node	n435	Description	Acciaio	Tag	1409	*Length	500	*Diameter	130	Loss Coeff.	0	Initial Status	Open	Bulk Coeff.		Wall Coeff.		Flow	#N/A
Property	Value																											
*Pipe ID	p344																											
*Start Node	n428																											
*End Node	n435																											
Description	Acciaio																											
Tag	1409																											
*Length	500																											
*Diameter	130																											
Loss Coeff.	0																											
Initial Status	Open																											
Bulk Coeff.																												
Wall Coeff.																												
Flow	#N/A																											

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Realizzazione del modello numerico

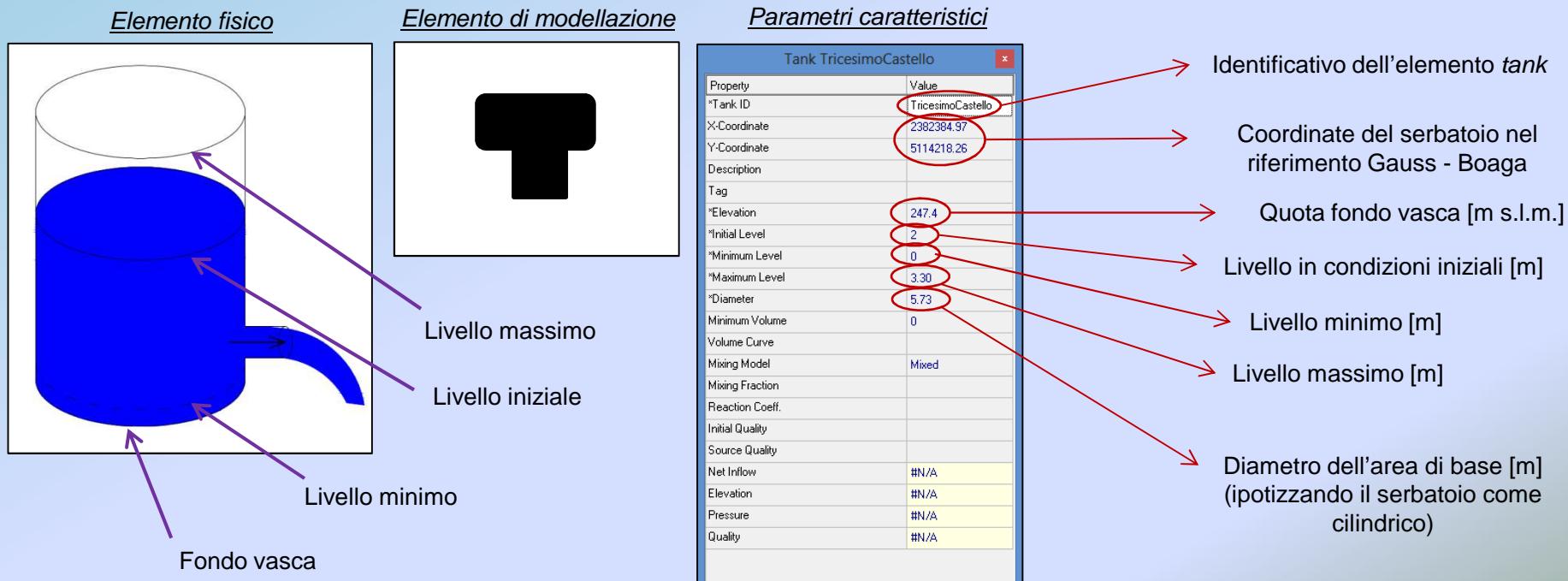
1. Geometria della rete

- Conoscenza del tracciato planimetrico della rete: la topologia e la lunghezza delle condotte sono state fornite in formato *.dwg da CAFC S.p.A.;
- Il file è stato convertito in *.net affinché fosse compatibile con il solutore idraulico EPANET.
Inizialmente il modello contava 1509 nodi e 1263 tratti di connessione.
- Assegnazione dei parametri di modellazione:

Nodi (junctions)

Condotte (pipes)

Serbatoi (tanks)



Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Realizzazione del modello numerico

1. Geometria della rete

- Conoscenza del tracciato planimetrico della rete: la topologia e la lunghezza delle condotte sono state fornite in formato *.dwg da CAFC S.p.A.;
- Il file è stato convertito in *.net affinché fosse compatibile con il solutore idraulico EPANET.
Inizialmente il modello contava 1509 nodi e 1263 tratti di connessione.
- Assegnazione dei parametri di modellazione:

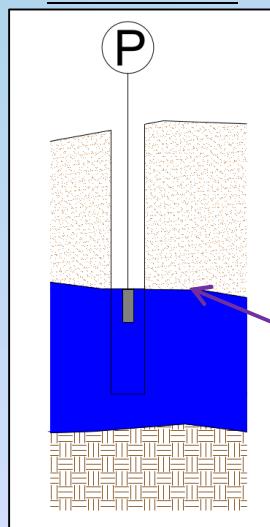
Nodi (junctions)

Condotti (pipes)

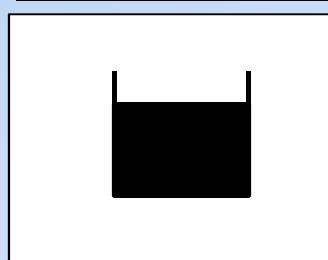
Serbatoi (tanks)

Pozzi / sorgenti (reservoir)

Elemento fisico



Elemento di modellazione



Livello di falda

Parametri caratteristici

Property	Value
Reservoir ID	Musi
X-Coordinate	2387026.71
Y-Coordinate	5129705.43
Description	
Tag	
Total Head	527.4
Head Pattern	#N/A
Initial Quality	#N/A
Source Quality	#N/A
Net Inflow	#N/A
Elevation	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Identificativo dell'elemento *reservoir*

Coordinate del serbatoio nel riferimento Gauss - Boaga

Carico totale [m s.l.m.]

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Realizzazione del modello numerico

1. Geometria della rete

- Conoscenza del tracciato planimetrico della rete: la topologia e la lunghezza delle condotte sono state fornite in formato *.dwg da CAFC S.p.A.;
- Il file è stato convertito in *.net affinché fosse compatibile con il solutore idraulico EPANET.

Inizialmente il modello contava 1509 nodi e 1263 tratti di connessione.

- Assegnazione dei parametri di modellazione:

Nodi (junctions)

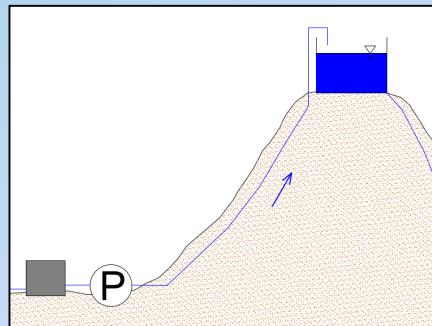
Condotti (pipes)

Serbatoi (tanks)

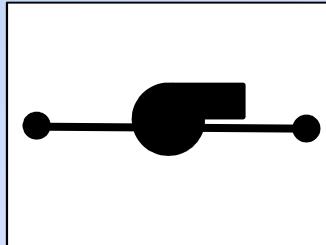
Pozzi / sorgenti (reservoir)

Pompe (pumps)

Elemento fisico



Elemento di modellazione



Parametri caratteristici

Property	Value
*Pump ID	PuSegnacco
*Start Node	iTar41
*End Node	n894
Description	
Tag	
Pump Curve	CurvSegnacco
Power	
Speed	
Pattern	
Initial Status	Closed
Effic. Curve	
Energy Price	
Price Pattern	
Flow	#N/A
Headloss	#N/A
Quality	#N/A

Identificativo dell'elemento *pump*

Identificativo dei nodi di estremità

Curva caratteristica di riferimento
(oggetto di calibrazione).

Per descrivere la pompa si può
definire in alternativa una potenza
costante ("Power") o la velocità di
rotazione ("Speed").

Stato della pompa ad inizio
simulazione

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

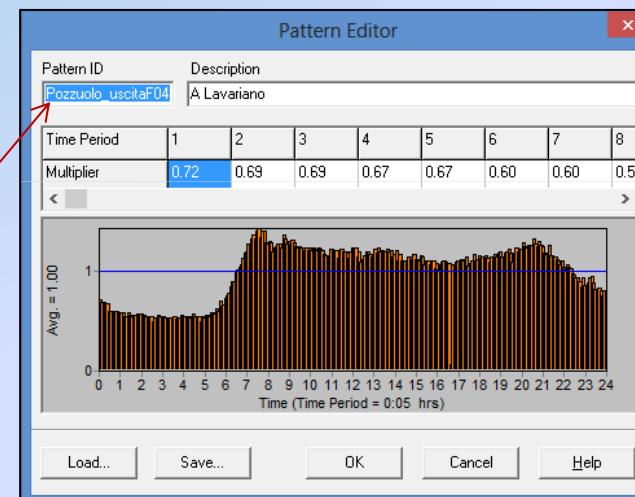
Realizzazione del modello numerico

2. Inserimento delle condizioni al contorno

Come condizioni al contorno si è scelto di adottare le portate in uscita dai serbatoi verso le reti di distribuzione dei Comuni serviti. Per simulare il comportamento del sistema in un giorno tipo, affinché sia possibile avere una contemporaneità sulle misurazioni, si è fatto riferimento ai dati forniti dagli archivi del telecontrollo (utilizzati anche in seguito per la fase di calibrazione del modello).

Junction n1268	
Property	Value
*Junction ID	n1268
X-Coordinate	2380374.30
Y-Coordinate	5094381.07
Description	
Tag	
*Elevation	68.9
Base Demand	16.22
Demand Pattern	Pozzuolo_uscitaF04
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Base Demand: Domanda media giornaliera in uscita dal serbatoio [l/s]



Pattern: moltiplicatori (time step di 5 minuti) con media unitaria per esprimere la variabilità giornaliera della portata media (Base Demand).

$$Q_{uscita} = \text{Base Demand} \cdot \text{Pattern}$$

Nel caso in cui si consideri come condizione al contorno una *immissione di portata* (ad esempio una linea adduttrice non modellata come il Cornappo che alimenta comunque parte dei serbatoi del sistema), la Base Demand deve assumersi con valore negativo.

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Realizzazione del modello numerico

3. Inserimento dei controlli iniziali sul sistema

Il software Epanet consente di simulare lo stato e la regolazione di componenti quali pompe o valvole motorizzate mediante righe di comando. Nel sistema reale il funzionamento di questi dispositivi dipende da alcuni parametri come il raggiungimento di valori di soglia del livello nelle vasche dei serbatoi. Inizialmente in alcuni casi, siccome i dati di input non sempre sono apparsi affidabili, si è scelto di regolarne il funzionamento in relazione all'effettivo orario di azionamento nel giorno oggetto di simulazione (07 novembre 2011).

Nella sezione *Controls/Simple* del Browser sono state riportate ad esempio le seguenti diciture:

LINK PuMajano OPEN AT CLOCKTIME 0:00



La pompa che alimenta il serbatoio di Majano viene attivata dalle 0:00 alle 0:29 (quando il livello in vasca raggiunge i 4,69 m)

LINK PuMajano CLOSED AT CLOCKTIME 0:29

LINK V03_Zampis CLOSED AT CLOCKTIME 0:00



La valvola motorizzata on – off in ingresso al serbatoio, mantenuta chiusa a inizio simulazione, viene aperta solamente all'1:10 (quando il livello in vasca è sceso a quasi 3,50 m).

LINK V03_Zampis OPEN AT CLOCKTIME 1:10



LINK pTrep2 OPEN IF NODE TreppoGrande_pensile ABOVE 2.56

LINK pTrep2 CLOSED IF NODE TreppoGrande_pensile BELOW 2.54



Sfioro di un serbatoio: in questo caso il serbatoio pensile attraverso lo sfioro alimenta il serbatoio interrato adiacente, attraverso la condotta di collegamento tra le due vasche pTrep2. Quest'ultima nel modello viene aperta solamente nel caso in cui il livello in vasca del pensile raggiunga la quota di sfioro (2,56 m) e chiusa ad una quota leggermente inferiore.

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Campagne di misura

I dati forniti dal telecontrollo in alcuni casi non sono stati sufficienti, in quanto talvolta affetti da errori strumentali oppure inadatti a cogliere l'inversione di flusso in una condotta.

Per risolvere questi problemi, incrementare i punti di monitoraggio su un sistema così esteso, controllare l'effettivo stato di chiusura-apertura di alcune valvole o semplicemente verificare l'affidabilità di alcuni strumenti fissi installati in sito, sono state eseguite numerose campagne di misura con l'ausilio di misuratori di portata a tempo di transito Serie TTFM100B e micromanometri HD2114.2.

Misuratore di portata a tempo di transito



Misuratore di pressione



Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Campagne di misura – Misuratore di portata a tempo di transito

Il moto del fluido all'interno della condotta genera una variazione nel tempo impiegato per l'attraversamento da parte dell'onda ultrasonica, in funzione del verso della corrente: la velocità di propagazione del segnale infatti aumenta se il suo percorso è concorde a quello del flusso del liquido, mentre viceversa diminuisce nell'altro caso.

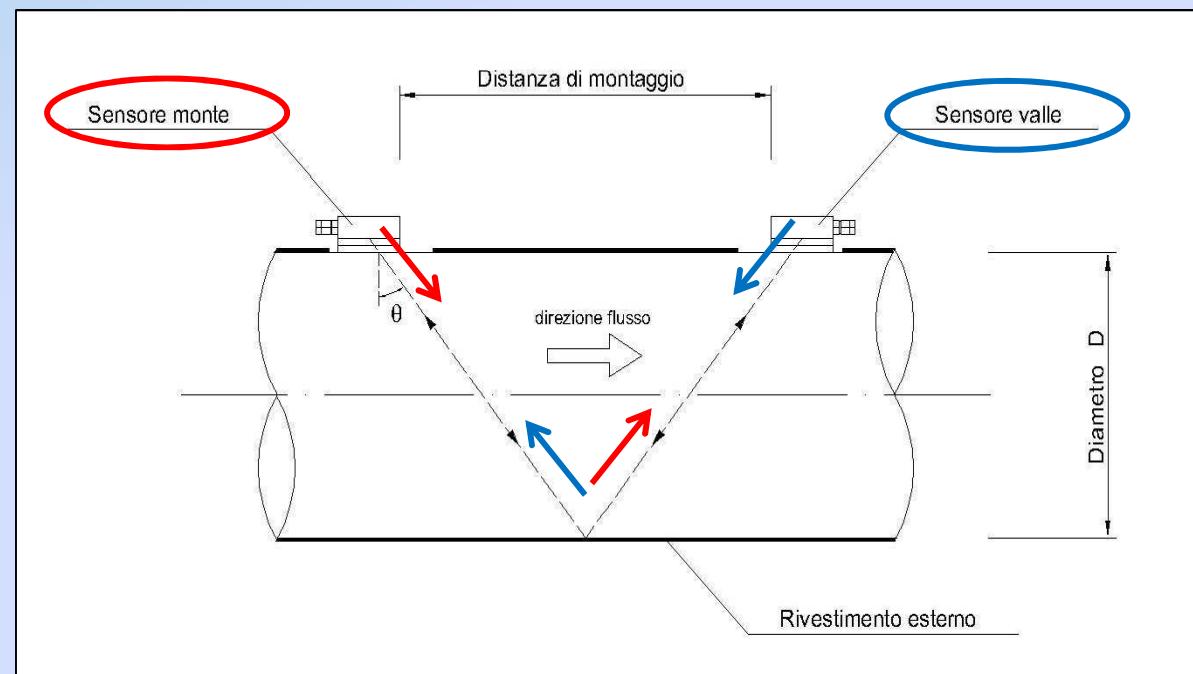
Questo fenomeno crea una differenza di tempo che viene calcolata con l'elaboratore e, in funzione di essa, è possibile quantificare la velocità del fluido stesso.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Tempo di attraversamento positivo: } t_{disc} = \frac{D}{c_0 + V \cdot \sin \alpha} \\ \text{Tempo di attraversamento negativo: } t_{asc} = \frac{D}{c_0 - V \cdot \sin \alpha} \end{array} \right.$$

con c_0 velocità di propagazione del suono nel fluido in condizioni statiche.

$$c_0 = \frac{D}{t_{disc}} - V \cdot \sin \alpha = \frac{D}{t_{asc}} + V \cdot \sin \alpha$$

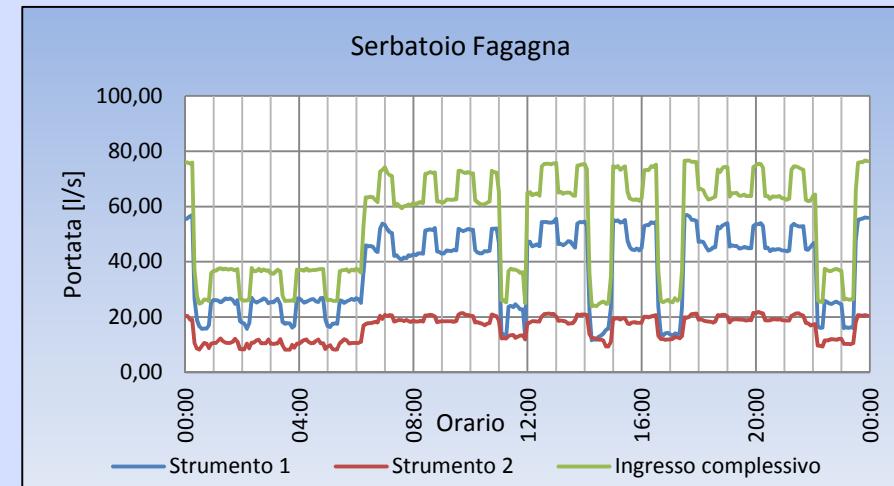
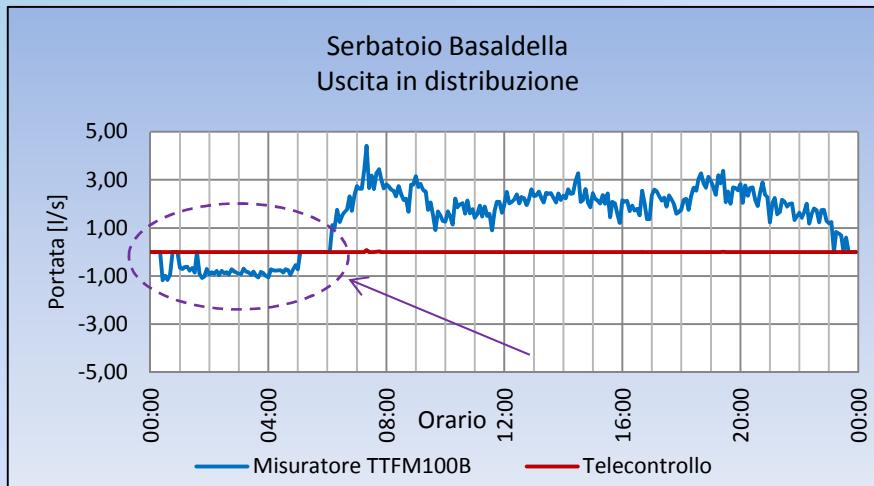
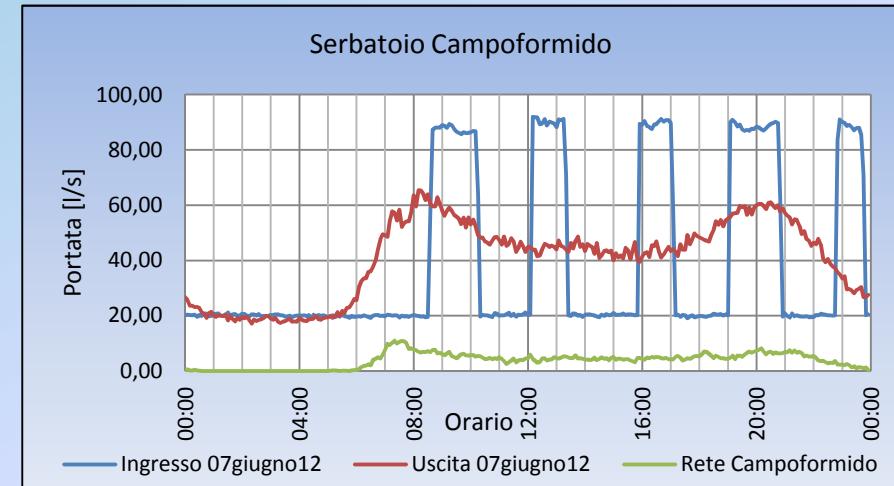
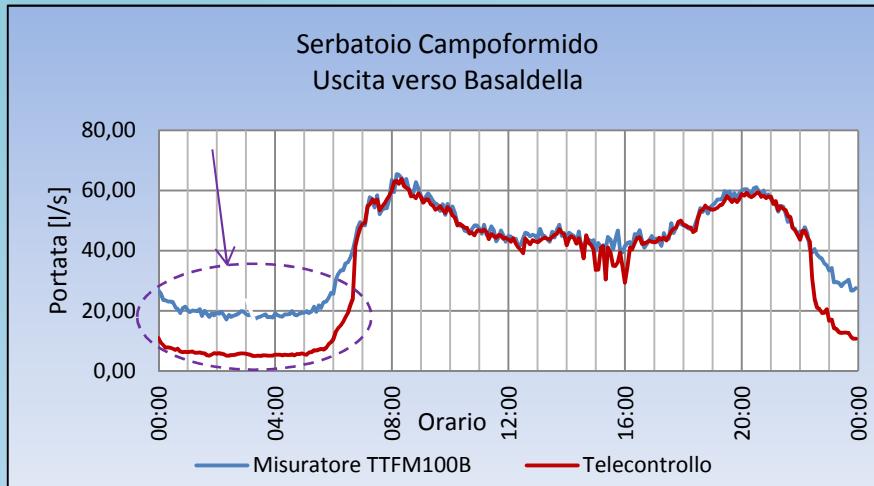
$$V = \frac{D}{\sin 2\alpha} \left(\frac{\Delta t}{t_{asc} \cdot t_{disc}} \right)$$



Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Campagne di misura – Misuratore di portata a tempo di transito

Risultati ottenuti



Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Calibrazione del modello

La fase di **calibrazione** consiste nell'intervenire su parametri come la scabrezza delle condotte, la domanda ai nodi (allacci di utenze o presenza di possibili perdite in rete) e la valutazione delle perdite di carico localizzate, in maniera tale da rendere quanto possibile minimo lo scarto tra i valori calcolati dal modello (in termini di pressioni e portate) e quelli osservati (ricavati da telecontrollo o campagne di misura).

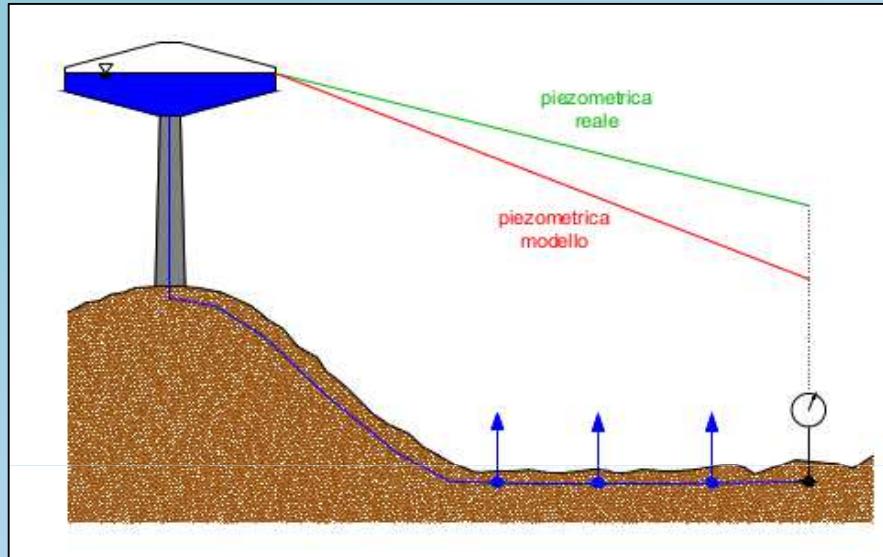
L'importanza della calibrazione può essere riassunta in 3 punti:

- **comprendione**: consente una migliore e accurata lettura del sistema idraulico e a quali parametri esso risulta maggiormente sensibile, affinché quindi essi siano determinati con particolare attenzione durante la realizzazione del modello;
- **riproducibilità**: una volta terminata la calibrazione, il modello deve essere in grado di riprodurre quanto più fedelmente possibile il sistema reale, affinché possa essere utilizzato anche per fini decisionali;
- **eliminazione degli errori**: durante la fase di calibrazione è possibile scoprire degli errori di tipo geometrico (diametro delle condotte, connessioni non segnalate) e funzionale (trafilamenti di valvole, by pass aperti) oppure stimare possibili perdite in rete e approssimativamente le zone in cui possono essere localizzate.

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

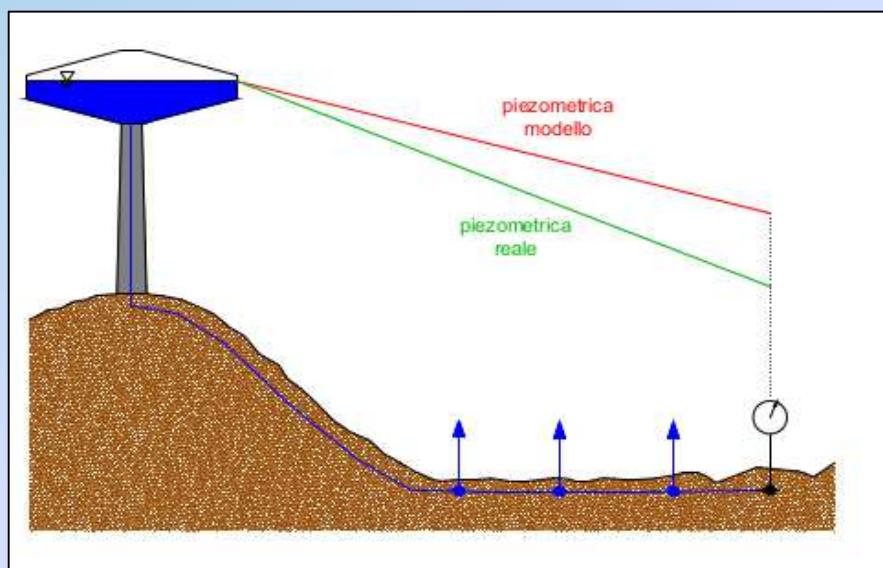
Calibrazione del modello

Scabrezza delle condotte e allacci utenze



1°caso:

Se la linea dei carichi piezometrici del modello è più bassa di quella derivante dalle misurazioni in situ, significa che le perdite previste sono maggiori di quelle reali, pertanto è necessario aumentare il coefficiente di scabrezza C (nella formulazione di Hazen – Williams) e/o diminuire la domanda idrica ai nodi.

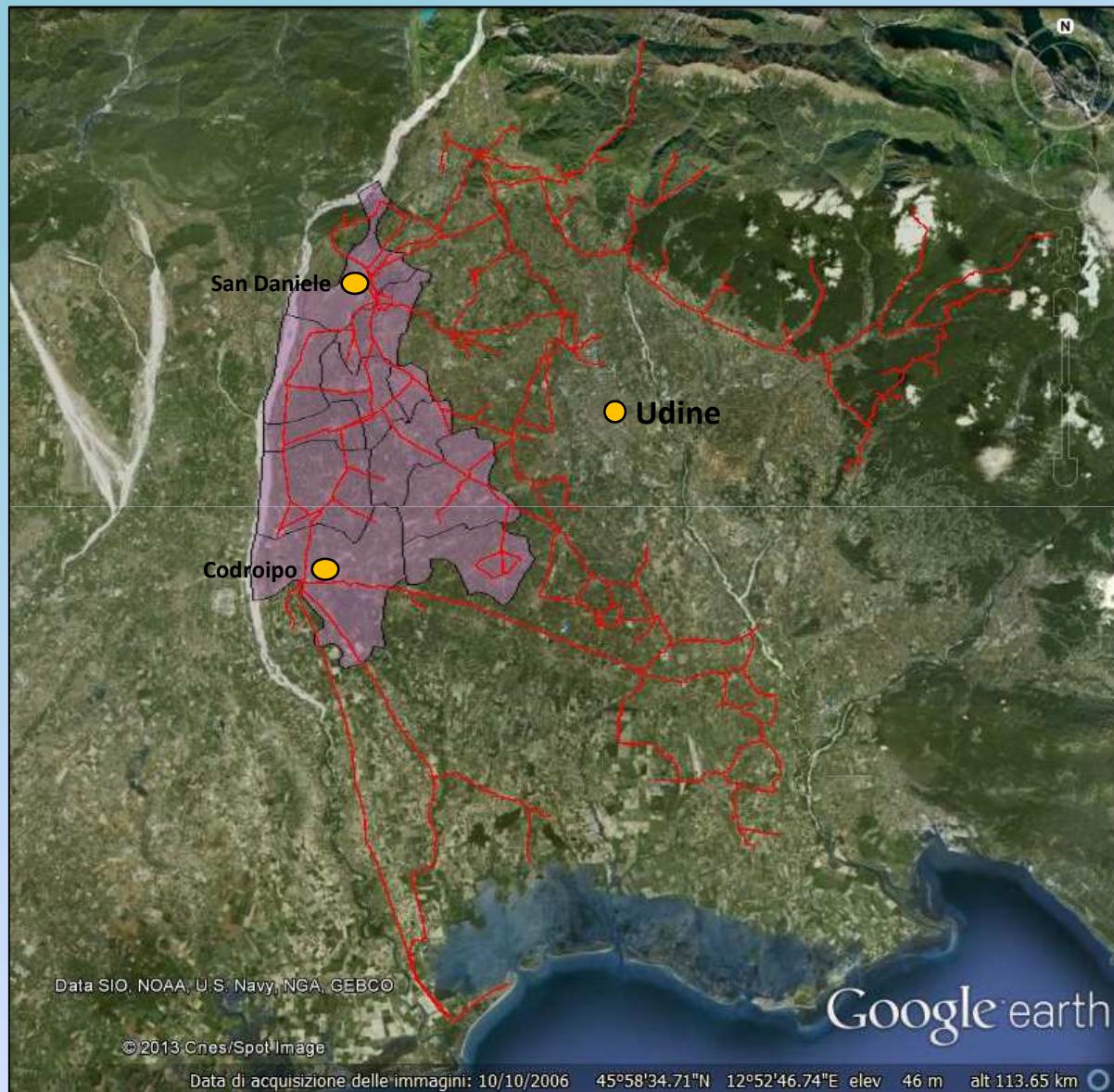


2°caso:

Se la linea dei carichi piezometrici del modello è più alta di quella derivante dalle misurazioni in situ, significa che le perdite previste sono minori di quelle reali, quindi è opportuno ridurre il coefficiente di scabrezza C e/o incrementare la domanda ai nodi.

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Calibrazione del modello



Per avvicinarsi al caso reale, è stata effettuata una redistribuzione della portata in uscita da alcuni serbatoi, in funzione dell'area da essi servita.

Nota la portata in uscita dal serbatoio, essa è stata ripartita nei Comuni evidenziati (regione servita dall'impianto di Giavons) esclusivamente in funzione del numero di abitanti residenti per ciascuna frazione.

E' una distribuzione comunque approssimativa in quanto non tiene conto della presenza e localizzazione di perdite idriche, né dell'influenza di strutture industriali.

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

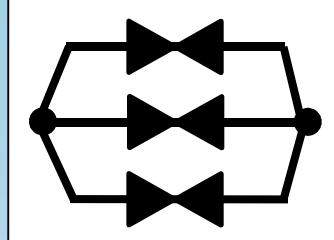
Calibrazione del modello

Calibrazione delle valvole

Epanet consente di assegnare una perdita di carico a ciascuna valvola modellata. Talvolta è sufficiente definire un unico valore (per valvole motorizzate on-off oppure, PRV, PSV o per simulare flange opportunamente tarate dagli operatori).

In molti casi però, in ingresso a un serbatoio sono presenti valvole di controllo livello, il cui grado di apertura varia in funzione del tirante idrico in vasca, affinché questo rimanga sufficientemente costante. In queste eventualità la valvola è stata modellata come un insieme di valvole in parallelo, ciascuna contraddistinta da un proprio coefficiente di perdita di carico.

Elemento di modellazione



Condizione iniziale: tutte le valvole sono chiuse
(portata transitante nulla)

Apertura
valvola 1

Il numero delle valvole impiegate non deve esser troppo ridotto per evitare si presentino picchi irreali di portata, ma nemmeno eccessivo da influenzare i tempi di simulazione.

Apertura valvola 2
(con perdita di
carico > V1)

Il livello scende
eccessivamente?

No

Il livello sale
eccessivamente?

No

La combinazione
di valvole aperte
è adeguata

Apertura valvola 3
(con perdita di
carico > V2)

Il livello scende
eccessivamente?

No

Il livello sale
eccessivamente?

No

Ricalibrazione della
valvola 1 (altrimenti Q=0)

Ricalibrare le valvole
modellate con
diverso setting o
aggiungerne ulteriori

Il livello scende
eccessivamente?

No

Il livello sale
eccessivamente?

No

Si

Chiusura o ricalibrazione valvola 2 con
maggior coefficiente di perdita localizzata

Si

Chiusura
valvola 3

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Analisi qualitativa

Il solutore consente di simulare anche il trasporto (e quindi la diffusione) di sostanze inquinanti in una rete a pressione.

La concentrazione c_{ij} della sostanza disiolta lungo il tratto che connette i nodi i e j può essere espressa come:

$$\frac{dc_{ij}}{dt} = -\left(\frac{dq_{ij}}{A_{ij}} \right) \left(\frac{dc_{ij}}{dx_{ij}} \right) + \theta(c_{ij}) \quad q_{ij} \text{ indica la portata transitante nella condotta di sezione } A_{ij}$$

Il fluido durante il moto può subire una variazione di concentrazione della sostanza disiolta a causa di reazioni all'interno della massa (*reazioni di bulk flow*) oppure con il materiale di rivestimento che costituisce le pareti della condotta (*reazioni di wall flow*).

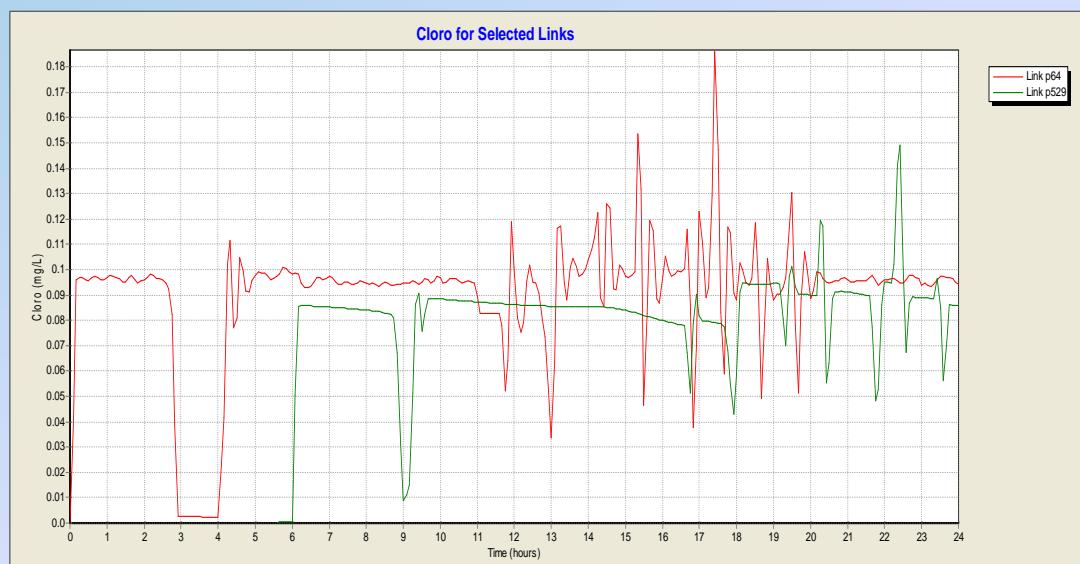
$\theta(c_{ij})$: Grado di reazione della sostanza

k_b : coeff. di bulk

k_w : coeff. di wall

n : ordine di reazione

R_H : raggio idraulico



Esempio di propagazione di una sostanza immessa in rete (effetto della clorazione):

facendo riferimento alla linea di adduzione DN 700 che collega l'impianto di **Molino del Bosso** con **Giavons**, si nota immediatamente una traslazione del tempo di inizio degli effetti della sostanza disiolta, come allo stesso tempo una riduzione della sua concentrazione.

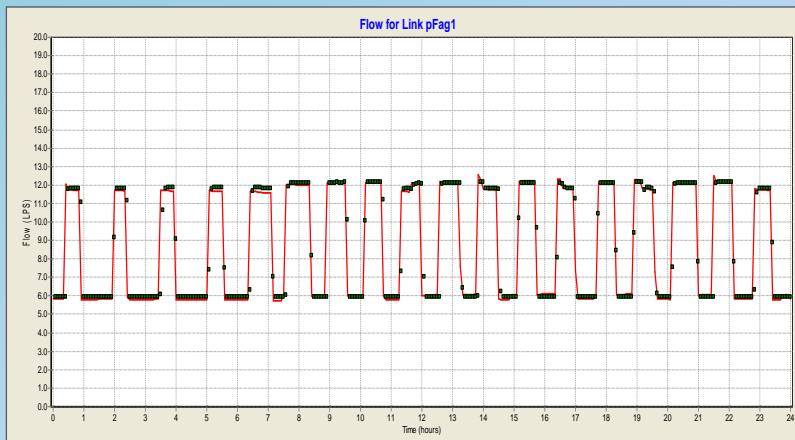
Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Calibrazione del modello

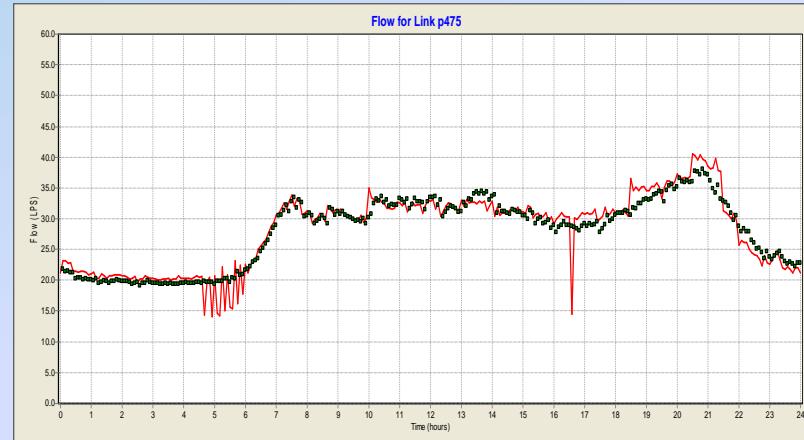
Risultati ottenuti

Il software consente di confrontare graficamente i **valori osservati** (immessi in formato *.dat) e quelli **calcolati**, per rendersi conto della bontà della calibrazione del modello, in termini di portata, pressione in rete e livello idrico in serbatoio.

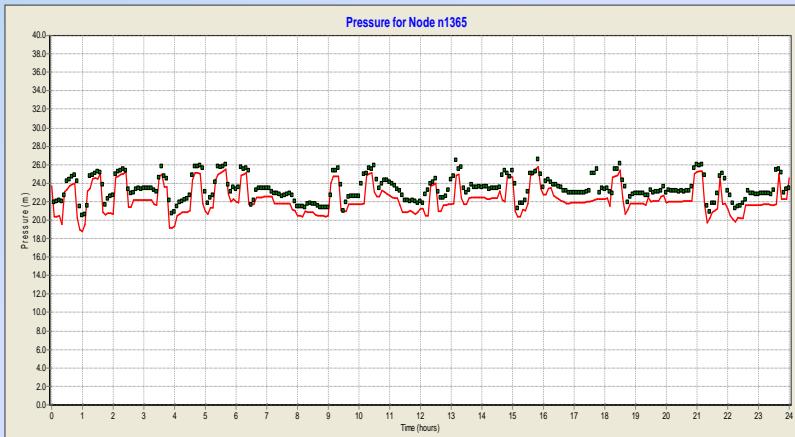
Portata in ingresso al serbatoio di Colle degli Alberi



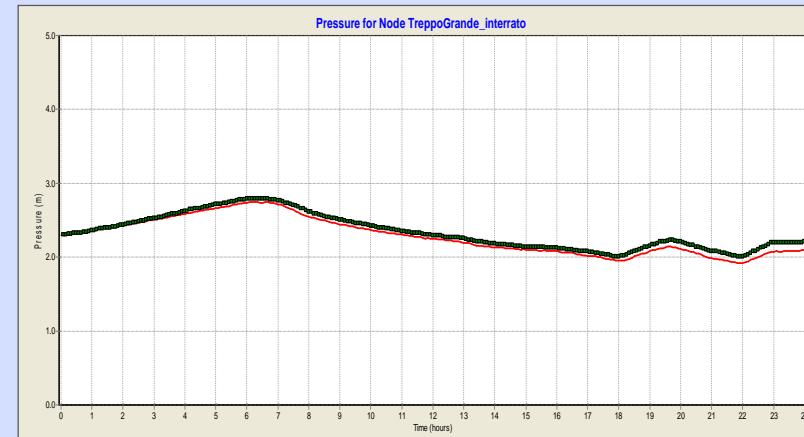
Portata in ingresso al serbatoio di Pozzuolo



Pressione a monte del sollevamento di Braidamatta (Tricesimo)



Livello del serbatoio interrato di Treppo

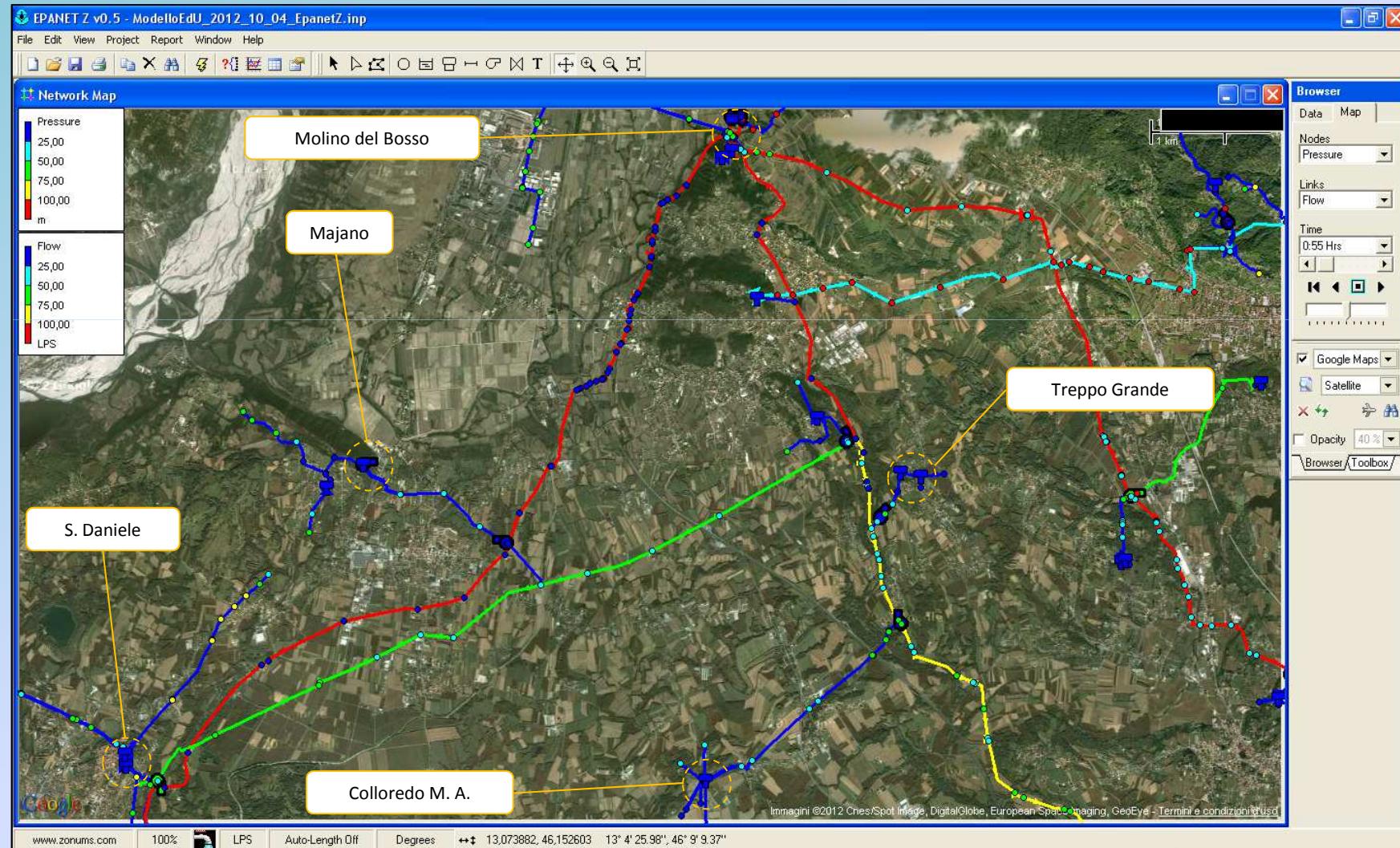


Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Calibrazione del modello

Risultati ottenuti

Con il modello calibrato è possibile conoscere la pressione e la portata circolante in ogni punto della rete.



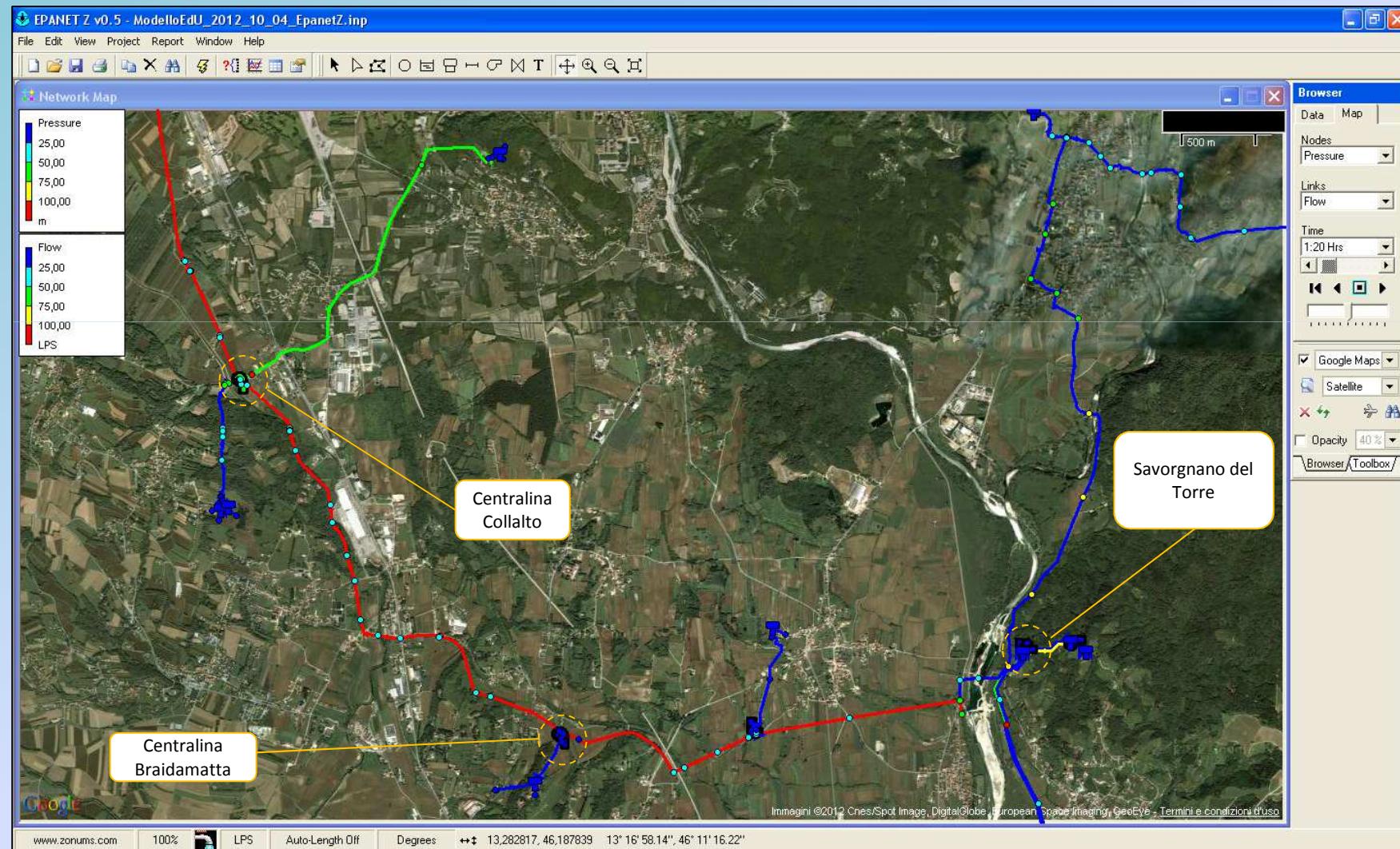
Fonte: Epanet Z + Google Maps

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Calibrazione del modello

Risultati ottenuti

Con il modello calibrato è possibile conoscere la pressione e la portata circolante in ogni punto della rete.



Fonte: Epanet Z + Google Maps

Caso applicativo: la rete di adduzione principale di CAFC S.p.A.

Sviluppi futuri: il modello come strumento di gestione

Il modello realizzato consente, oltre ad una migliore comprensione della rete, una conduzione più attenta del sistema, l'individuazione dei punti critici e pertanto lo studio di possibili scenari di intervento, atti a garantire un servizio ottimale alle utenze, ridurre gli sprechi idrici e allo stesso tempo i costi di gestione, magari cercando delle soluzioni alternative rispetto alle attuali (notevoli risultati sono già stati ottenuti per reti di distribuzione come Gemona e San Daniele).

Un importante impiego può rivelarsi l'analisi della risposta del sistema ad un temporaneo disservizio dei pompaggi in corrispondenza delle principali opere di presa.

Nelle ipotesi:

- di interrompere l'alimentazione al serbatoio superiore di Molino del Bosso alle 0:00,
- che il livello idrico in vasca sia massimo,

il tempo massimo di ripristino del sistema è di 1h e 40 minuti, istante nel quale la vasca, nelle condizioni stabilite, si svuota completamente.

A questo punto è possibile individuare delle soluzioni di intervento per mitigare queste situazioni di emergenza (ad esempio una connessione della rete servita da Molino del Bosso con la linea di adduzione del Musi).

