



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

Dipartimento di Ingegneria Civile
e Ambientale

**Progettazione di una rete
acquedottistica per Cognola e
San Donà (TN)**

Autori :

Gianluca Pelagatti 198365
Pasquale di Tolla 197990
Umberto Gallina 197363

Professori :

Maurizio Righetti
Andrea Menapace
Nicola di Marco

Anno Accademico 2017/2018

Indice

1	Studio preliminare	7
1.1	Previsione demografica	7
1.2	Studio della domanda idrica	8
1.3	Reperimento di una sorgente secondaria	12
2	Dimensionamento delle opere di adduzione	15
2.1	Adduzione Laste	16
2.2	Serbatoio Laste	17
2.3	Adduzione Ponte Alto	20
2.4	Serbatoio Ponte Alto	23
2.5	Trattamento di clorazione	25
3	Dimensionamento della rete di distribuzione	27
3.1	Il metodo di Cross	27
3.2	Dimensionamento manuale della rete principale	28
4	Verifica del sistema acquedottistico	33
4.1	Ottimizzazione della rete	38
5	Stima dei costi di messa in opera e materiale	41
5.1	Sistema di pompaggio	42
5.2	Conclusioni	45

Obiettivo del progetto

La finalità di questo studio è il progetto di una rete acquedottistica nell'area residenziale di Cognola e San Donà, parte della circoscrizione Argentario della città di Trento.

Si sfruttano 2 sorgenti per servire una popolazione distribuita su un territorio di quasi 3 chilometri quadrati su un dislivello complessivo di circa 200m.

Si presenta l'area geografica di interesse a nord del capoluogo trentino, caratterizzata dai rilievi Calisio e Celva e dal torrente Fersina, che sfocia nel fiume Adige circa 4 chilometri più a valle. La circoscrizione Argentario è composta dalle varie frazioni limitrofe, quali Martignano, Moia, Montevaccino, San Vito, Tavernaro e Villamontagna¹.

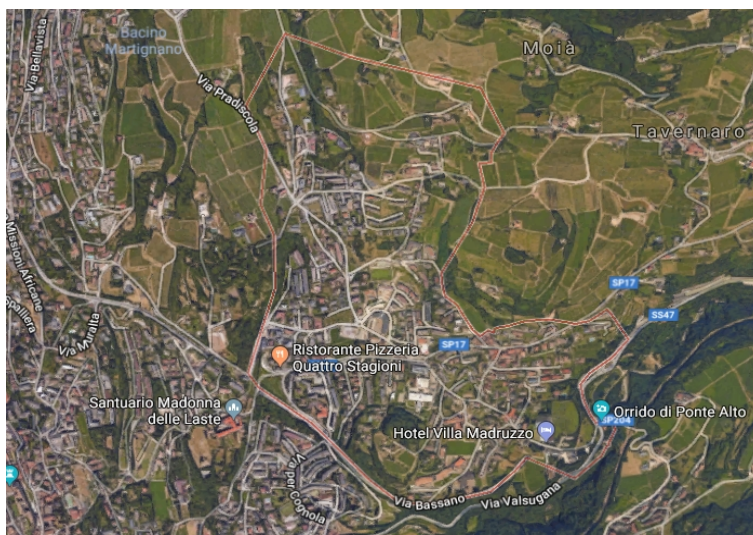


Figura 1: Cognola.

Si garantisce il servizio di approvvigionamento idrico anche per il quartiere di valle di Bolghera, situato a Est del torrente Fersina e caratterizzato dal polo ospedaliero di Santa Chiara.

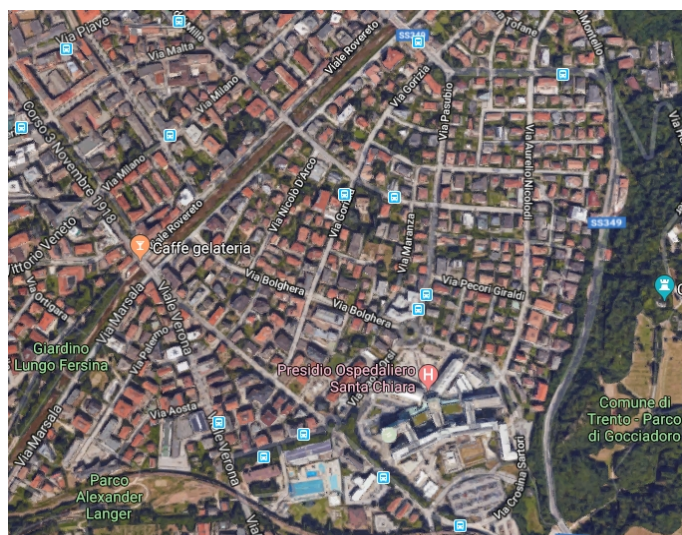


Figura 2: Bolghera.

Una corretta valutazione della domanda idrica richiede la conoscenza dell'entità della popolazione da servire (a cui è stato dedicato uno dei capitoli successivi) e dei vari servizi che l'area offre.

Si nota in località Cognola una serie di raggruppamenti di edifici residenziali a cui si aggiungono 3 istituti di istruzione di grado primario e infantile, serviti da diversi bar e ristoranti. Di grande interesse sono l'albergo di Villa Madruzzo in località Ponte Alto insieme ai supermercati presenti sia in Cognola che in San Donà.

Di principale importanza al fine dello studio idrologico è il cosiddetto "Orrido di Ponte Alto", una gola scavata negli anni dalla forza del torrente Fersina, particolarmente interessante in quanto sarà utilizzato come sorgente idrica di supporto al serbatoio principale già esistente di Laste².

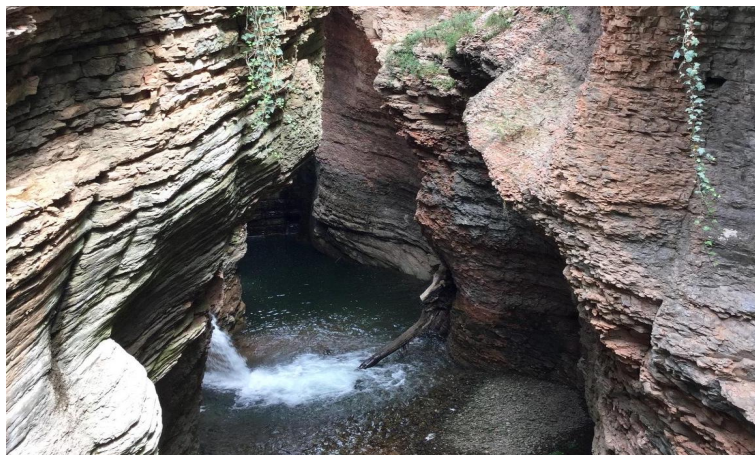


Figura 3: Gola dell'Orrido di Ponte Alto.

È inoltre da tenere in particolare considerazione l'ospedale di Santa Chiara del quartiere di Bolghera, composto inoltre da un buon numero di isolati residenziali e quindi ben servito da locali di ristorazione e supermercati. Da evidenziare è il parco Gocciadoro, vero polmone verde dell'area e punto di incontro di diverse generazioni; si segnalano infine poli sportivi, quali il Centro Sportivo Manazzon composto da palestre e piscine.

Capitolo 1

Studio preliminare

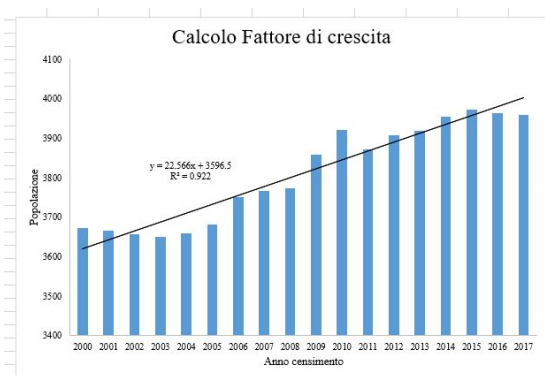
1.1 Previsione demografica

Nella fase preliminare del progetto, sono state condotte numerose ricerche volte alla stima degli abitanti delle zone in esame. In particolare si è ricercato un metodo adatto a interpretare la serie storica a disposizione per poter avere una stima della popolazione ad un adeguato tempo di ritorno. Per un'opera acquadottistica si sceglie di solito un T_R pari a 50 anni.

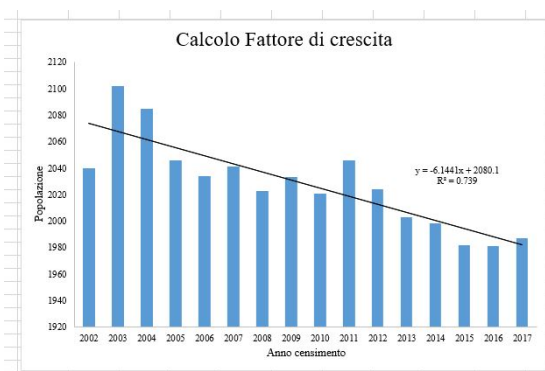
Il modello utilizzato è stato quello della curva logistica, poiché si adatta al meglio a una popolazione che non è in fase esponenziale di crescita, ma che si assesta su valori stabili (leggeri cali o incrementi). Il modello si presenta nella forma¹¹

$$P(T_R) = \frac{P_\infty}{1 + ae^{-bt}} \quad (1.1)$$

dove P_∞ è calcolato come $P_\infty = P_0\alpha$. Il coefficiente α è il fattore di crescita, ed è il coefficiente angolare della retta di regressione applicata alla serie storica di dati in esame. I coefficienti a e b sono anch'essi facilmente calcolabili dalla serie storica di dati (1.1).



(a) Cognola



(b) San Donà - Laste

Figura 1.1: Regressione della serie storica di dati della popolazione.

In questo modo sono state ottenute le previsioni per i due centri riportate in *Tabella 1.1*

Centro	Previsione
Cognola	4 149
San Donà - Laste	2 127

Tabella 1.1: Previsioni per i due centri in esame.

1.2 Studio della domanda idrica

Per la redazione del progetto, per prima cosa, si è studiata l'area in esame, andando a determinare i soggetti fruitori di tale opera, ovvero gli abitanti equivalenti dell'area. Da uno studio statistico sulla popolazione condotta dal Comune di Trento nel 2017 sono stati ricavati i dati di popolazione di Cognola, San Donà

e Laste relativi all'anno 2017³ (*Tabella 1.2*).

Area	Abitanti		
	Maschi	Femmine	totale
Cognola	1927	2031	3958
San Donà - Laste	965	1022	1987

Tabella 1.2: Dati di popolazione relativi all'anno 2017 per le aree in esame.

Come dato di progetto sono stati presi i valori ottenuti dalle previsioni di popolazioni esposte nel paragrafo precedente, i cui risultati sono riportati in *Tabella 1.3*.

Area	Abitanti
Cognola	4149
San Donà - Laste	2127

Tabella 1.3: Stima della popolazione relativa all'anno 2057 per le aree in esame.

Il passo successivo è stato stimare gli abitanti equivalenti delle attività presenti nella zona. Nella *Tabella 1.4* sono state riportate le attività rilevate nell'area di studio con la conseguente conversione in abitanti equivalenti.

Attività commerciali	N dipendenti	Abitanti equivalenti
Farmacia	3	1
Lavanderia	1	0.33
Cooperativa COOP	15	3
Cooperativa COOP	2	0.66
TOT ABITANTI EQUIVALENTI		7

Tabella 1.4: Conversione delle attività commerciali in abitanti equivalenti.

Hotel	N posti letto	Abitanti equivalenti
Villa Madruzzo	171	171
TOT ABITANTI EQUIVALENTI	171	171

Tabella 1.5: Conversione degli hotel in abitanti equivalenti.

Ristoranti	N tavoli	Abitanti equivalenti
Quattro Stagioni	160	53.33
Cognola	100	33.33
Calcaioli	80	26.66
Villa Madruzzo	200	66.66
Corallo	100	33.33
L'angolo del mare	50	16.66
TOT ABITANTI EQUIVALENTI	690	230

Tabella 1.6: Conversione dei ristoranti commerciali in abitanti equivalenti.

Scuole	N banchi	Abitanti equivalenti
Bernardi	223	22.3
Belenzini	139	13.9
Argentario	1 018	101.8
TOT ABITANTI EQUIVALENTI		138

Tabella 1.7: Conversione delle scuole in abitanti equivalenti.

Bar - circoli	N dipendenti	Abitanti equivalenti
Argentario	3	0.42
Rigotti	1	0.16
Circolo	3	0.42
Satellite	2	0.28
TOT ABITANTI EQUIVALENTI	9	1.28

Tabella 1.8: Conversione di circoli e bar in abitanti equivalenti.

A tale scopo si sono adottati i parametri comunemente utilizzati dall'ARPA⁴, e riportati in *Tabella 1.9*.

Attività	Abitanti equivalenti
Scuole	1 ab. eq. ogni 10 posti banco
Attività commerciali	1 ab. eq. ogni 3 dipendenti
Bar - circoli	1 ab. eq. ogni 7 dipendenti
Hotel	1 ab. eq. ogni 1 posto letto
Ristoranti	1 ab. eq. ogni 3 posti

Tabella 1.9: Criteri di conversione degli abitanti equivalenti.

Si contano perciò un totale di 547.29 abitanti equivalenti; sommando a questi i dati di popolazione, si ottiene un totale di a 6493 unità.

Prendendo da normativa una dotazione idrica di progetto pari a $250 \frac{l}{ab.g.}$ ⁵ (e definendo questa grandezza come *il volume medio annuo di acqua assegnato ad un abitante equivalente*)⁶, è stata poi calcolata la portata media annua come

$$\bar{Q} = \frac{dot * ab_{eq}}{86\,400} \quad (1.2)$$

Lavorando con un centro di ridotte dimensioni (quindi con una domanda idrica molto variabile nell'arco della giornata) è stato possibile prendere un ρ_g (coefficiente di punta giornaliero) pari a 1.5 per ricavare la portata relativa al giorno di massimo consumo Q_{gmax} .

$$Q_{gmax} = \rho_g * \bar{Q} \quad (1.3)$$

Eseguendo i calcoli si sono ottenuti i valori riportati in *Tabella 1.10*. Con Q_{gTOT} è stata chiamata la portata relativa al giorno di massimo consumo totale, ottenuta sommando al dato calcolato sull'area Cognola - San Donà - Laste il dato progettuale relativo al quartiere di Bolghera e pari a $120 \frac{l}{s}$.

Portata	Valore $\frac{l}{s}$
\bar{Q}	18.78
Q_{gmax}	28.77
Q_{gTOT}	148.77

Tabella 1.10: Valori di portata calcolati.

1.3 Reperimento di una sorgente secondaria

Dallo studio sin qui condotto, ne consegue che la sola sorgente in località Laste non può far fronte all'intera domanda idrica calcolata, essendo la portata disponibile reperibile in tale sito pari a $130 \frac{l}{s}$. Per poter servire l'intera area di studio (compreso il quartiere di Bolghera), ci si è serviti del RIASPT⁵ redatto dalla Protezione Civile; si è scelto quindi di utilizzare la sorgente di Ponte Alto, posta a una quota di 280 metri sul livello del mare, che si origina nella gola del Torrente Fersina, poco sotto l'orrido di Ponte Alto. Qui un cunicolo si addentra fin oltre la serra di Ponte Alto (dove è collocata una imponente briglia la cui prima edificazione risale al 1540) dove riceve l'acqua da vari spilloni inseriti nel renaio del Torrente Fersina (*Figura 2.4*).



Figura 1.2: Foto della sorgente delle Laste.

Anche se tale sorgente si trova ad una quota bassa rispetto alla zona da rifornire (si pensi che nella zona alta di Cognola, denominata Zen, si arriva intorno ai 400 metri) essa è localizzata poco sotto Cognola e risulta facile trasportare l'acqua fino a San Donà. Inoltre, come sarà spiegato in seguito, il dislivello esistente può essere facilmente superato inserendo un sistema di pompaggio all'interno del complesso di captazione. Altro vantaggio risiede nella posizione opposta che occupa la sorgente rispetto a quella delle Laste, rendendo possibile una settorizzazione della rete di distribuzione (con diminuzione dei costi e aumento dell'efficienza).

Da diverse analisi effettuate su vari campioni di tale sorgente, si registra una bassa conducibilità elettrica (minore di $240 \frac{\mu S}{cm}$) dovuta alla scarsa mineralizzazione dell'acqua. Ciò potrebbe essere dovuto al ridotto tempo di permanenza dei fluidi circolanti a contatto con la matrice acquifera: volumi ingenti di acque sono veicolate dalla superficie alle quote inferiori per mezzo di ampi circuiti, impostati lungo le direzioni di faglia, con tempi di permanenza mediamente brevi. Altro dato importante è la marcata presenza di silice disciolta ($21.4 \frac{mg}{l}$) a fronte

di una scarsa concentrazione di carbonati; si suppone dunque che le acque più profonde vengano a contatto con il letto dell'acquifero, costituito da rocce silicatiche del basamento cristallino, con dei tempi di soggiorno nella zona satura mediamente lunghi. La presenza di silice potrebbe necessitare il dimensionamento di un dissabbiatore, con il quale depurare un'acqua nel complesso dalle buone caratteristiche chimiche e che risulta tutt'oggi captata per l'uso potabile della città di Trento, salvo un possibile fattore di rischio dato dalla presenza di arsenico disciolto che caratterizza tutte le acque della zona (si ricorda che un'importante opera di depurazione da arsenico è presente nei serbatoi di San Donà, dove sono presenti speciali filtri). Ultimo dato importante è la portata media, stimata intorno ai $50.6 \frac{l}{s}$.

Dallo stesso documento è stato possibile attingere ai dati relativi alla qualità delle acque captate dalla sorgente delle Laste. Tale fonte presenta un'elevata concentrazione di CHO_3 , pari a $325.6 \frac{mg}{l}$ e di nitrati (sopra i $10 \frac{mg}{l}$).

Capitolo 2

Dimensionamento delle opere di adduzione

Per poter progettare la rete di adduzione, definite le sorgenti e le portate da esse captate e definita una portata di progetto Q_{gTOT} pari a $148.77 \frac{l}{s}$, ci si è serviti di strumenti di georeferenziazione, in modo da rispettare eventuali vincoli altimetrici presenti nell'area in esame (*Figura 2.1*).

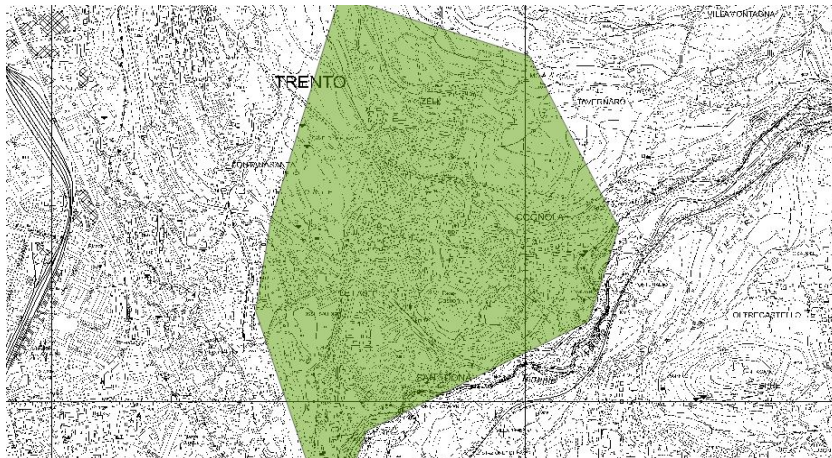


Figura 2.1: Carta tecnica con evidenziata l'area in cui condurre il progetto.

Avendo preso due sorgenti, si è deciso di progettare due schemi di adduzione separati, ognuno dei quali confluisce in un serbatoio distinto; ciò ha permesso di settorializzare la distribuzione. Si è perciò, almeno inizialmente, deciso di dividere in due regioni l'area da servire: la sorgente delle Laste fornirà acqua al quartiere di Bolghera e a San Donà, mentre la zona di Cognola sarà servita dalla sorgente di Ponte Alto. In questo modo, si è sfruttato il pompaggio necessario

nella sorgente di Ponte Alto (essendo essa ubicata a una quota di 280 metri⁵) per posizionare il serbatoio ad una quota maggiore rispetto alla zona da servire.

2.1 Adduzione Laste

In un primo momento si è deciso di porre il serbatoio in prossimità della sorgente, non esigendo di fatto di una vera e propria opera di adduzione (data l'orografia del terreno) e per poter poi posizionare il serbatoio ad una quota adeguata (in modo da sfruttare l'energia potenziale derivante).

Da una successiva verifica si è riscontrato che non venivano rispettate le pressioni minime da garantire nella rete di distribuzione, si è perciò posto il serbatoio a una quota di 380m e si è dimensionato un sistema di pompaggio per portare l'acqua a una quota maggiore: è stata calcolata la prevalenza della pompa come la differenza tra la quota di valle (del serbatoio) e quella di monte (la sorgente), alla quale si sono sommate le perdite in condotta⁶.

$$\Delta H = H_v - H_m + \alpha Q^2 \quad (2.1)$$

Il ΔH richiesto è di 61.74m. Altro parametro calcolato è stato l' $NPSH_{disp}$, che indica la pressione all'entrata dell'asse della bocca della pompa al di sotto della quale la pompa entra in cavitazione⁶.

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{ass}}{\gamma} = \frac{P_{atm}}{\gamma} + H_m - \alpha Q^2 - \frac{Q^2}{2gA^2} - Z_{pompa} \quad (2.2)$$

In questo caso il valore risultante è stato di 10.31 metri. Con questi due parametri si è scelta la pompa, preferendo un modello in camera secca (per evitare inquinamento dell'acqua a causa di possibili perdite di olio).

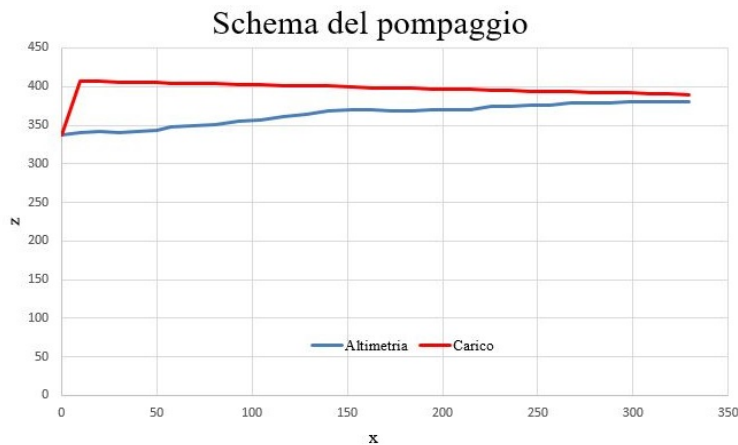


Figura 2.2: Andamento del dislivello altimetrico e del carico.

La portata di progetto, che coincide ovviamente con la portata di ingresso nel serbatoio, è stata presa pari a $Q_{gmax} = 128.85 \frac{l}{s}$.

2.2 Serbatoio Laste

Il serbatoio si colloca in prossimità della sorgente, e riceve un afflusso d'acqua pari a $V_{in} = 463.86 \frac{m^3}{h}$. Definito un pattern dei consumi orari (riportato in *Figura 2.3*), si è proceduto al calcolo della massima portata giornaliera per la zona di San Donà e Bolghera, sommando i contributi dei due centri.

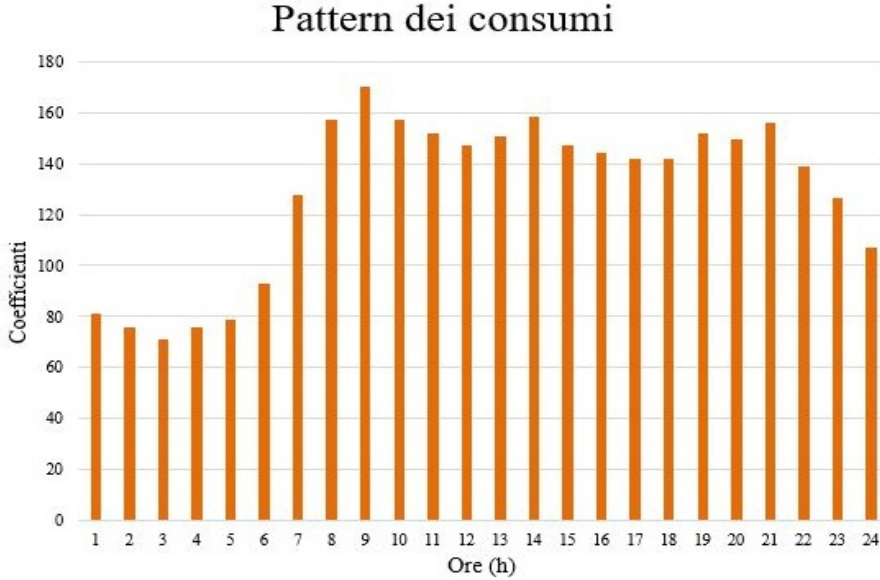


Figura 2.3: Pattern dei consumi giornalieri di San Donà e Bolghera.

Moltiplicando la $Q_{g,out}$ per i vari coefficienti orari, sono state calcolate le portate massime orarie $Q_{h,out}$, convertite poi in m^3 . Per trovare il volume di compenso richiesto V_c , si sono sommati i valori assoluti dei massimi dislivelli tra volumi cumulati in ingresso e in uscita secondo⁶ l'equazione:

$$V_c = |\Delta V_{MAX}| + |\Delta V_{min}| \quad (2.3)$$

dove $|\Delta V_{MAX}| = |MAX(\sum_{k=1}^n V_{h,in} - V_{h,out})|$, e analogamente $|\Delta V_{min}| = |min(\sum_{k=1}^n V_{h,in} - V_{h,out})|$. In questo modo si è cercato di incamerare acqua durante le ore di minimo consumo (quelle notturne), in modo poi durante i picchi giornalieri da poter rilasciare una portata di acqua sufficiente a coprire l'intera domanda idrica. Come si vede in *Figura 2.4*, $V_{g,in}$ risulta costante, poiché si è assunto che a sorgente fornisca in maniera costante il serbatoio, mentre il volume in uscita $V_{g,out}$ varia a seconda della domanda oraria.

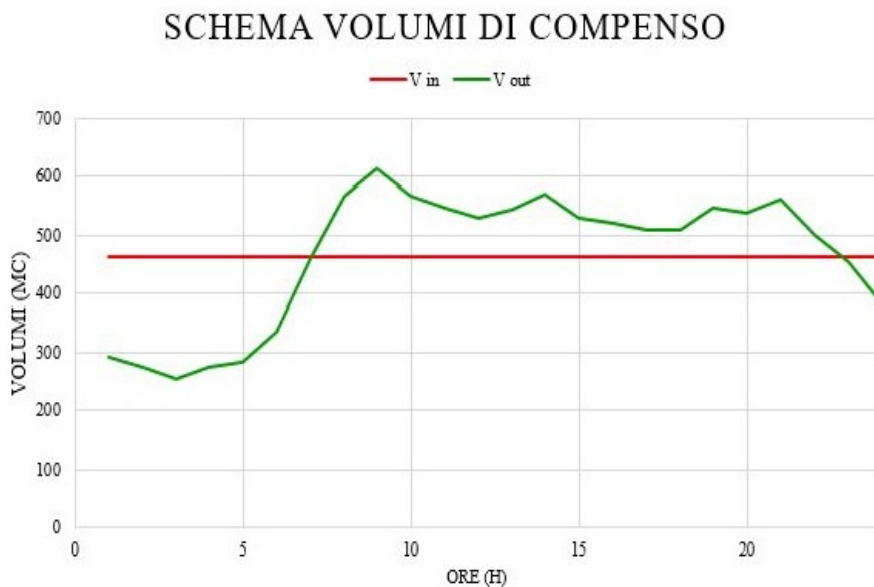


Figura 2.4: Volumi di compenso del serbatoio.

Graficamente si è tentato di uguagliare i volumi compresi tra le due curve: a sinistra (con la linea dei $V_{g,out}$ al di sotto di quella dei $V_{g,in}$) il volume di acqua incamerato durante le ore di minimo consumo che supplisce alla mancanza di volumi in ingresso dalla sorgente durante la giornata (la parte di grafico dove la domanda supera la disponibilità).

Successivamente si è calcolato un volume di ritegno o di sicurezza V_r definito come il volume necessario a rifornire la rete in caso di guasti e riparazioni (in dipendenza dal numero di abitanti da servire). Considerando solo la zona di San Donà e Laste si è al di sotto dei 3000 abitanti, ma, dovendo fornire acqua anche al quartiere della Bolghera, è giustificato l'utilizzo della formula riportata di seguito⁸.

$$V_r = \frac{1}{2} Q_{g,max} \frac{86400}{1000} \quad (2.4)$$

Infine, si è calcolato il volume antincendio V_i applicando le formule note in letteratura per piccoli centri abitati⁸.

$$V_i = n_i q_i t_h \frac{3600}{1000} \quad (2.5)$$

Sommando le tre frazioni si è stimato il volume totale del serbatoio come mostrato in *Tabella 2.1*.

Frazione	Valore [m^3]
Volume di Compenso	1 131
Volume di Riserva	225
Volume Antincendio	7.2
Volume Totale	1 363

Tabella 2.1: Volume del serbatoio delle Laste.

Non necessitando di maggiori quote, si consiglia la realizzazione di un serbatoio a terra con diametro pari a $20m$ e altezza $6m$.

2.3 Adduzione Ponte Alto

Come già detto in precedenza, la sorgente si trova a 280m s.m.m. in una conca naturale scavata dal torrente Fersina.

Per progettare l'adduzione sarebbe necessario scavare una galleria o pompare l'acqua dalla sorgente in una condotta in pressione per raggiungere il serbatoio collocato a 514m di altitudine.

Nel primo caso, la costruzione della galleria implicherebbe uno sforzo economico enorme e comporterebbe il passaggio per zone già edificate privatamente o con opere pubbliche.

L'installazione di un sistema di pompaggio con più pompe in serie, invece, risulta più utile e facile da attuare, permettendo di costruire un'opera di presa comprendente anche di una stazione di trattamento per l'acqua: essendo infatti un'acqua ricca di silice, si consiglia la creazione di un dissabbiatore per migliorarne la qualità.

Si precisa che il tratto a maggior pendenza si ha proprio nella parte iniziale dell'adduzione poiché la sorgente risulta incuneata in una cavità rispetto al terreno circostante (che invece si trova a una quota maggiore); la pompa permetterebbe di portare l'acqua al di sopra del livello geodetico e di sfruttare poi la cadente piezometrica data dalla gravità.

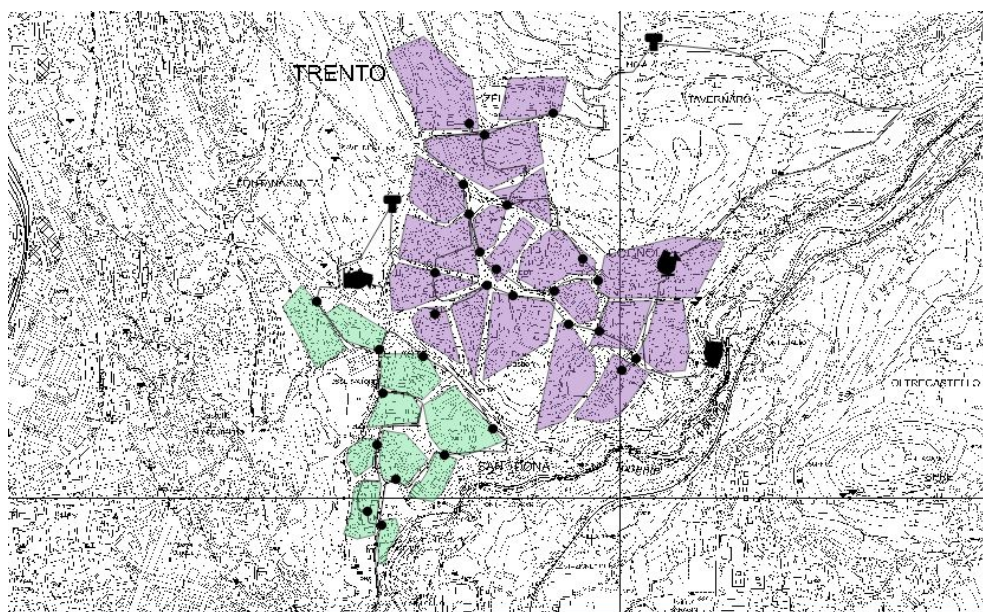


Figura 2.5: Schema di adduzione per la sorgente di Ponte Alto.

La portata di progetto è data dalla richiesta totale Q_{gTOT} di Cognola, si

ricorda che la portata fornita dalla sorgente è pari a

$$Q_{captabile} = \bar{Q}\rho_g = 32.66 * 1.5 = 49 \frac{l}{s} \quad (2.6)$$

perciò la sorgente è in grado di fornire la portata richiesta, pari a $19.32 \frac{l}{s}$ (portata nel giorno dei massimi consumi).

Nel progetto dell'opera di captazione, essendo la sorgente una sorta di serbatoio naturale, si è deciso di seguire lo schema classico di un'opera di presa: dal serbatoio naturale, per mezzo di una lastra porosa, l'acqua filtra in una vasca di raccolta per poi arrivare attraverso uno stramazzone nel sedimentatore ed infine nella vasca di presa. Qui la pompa fornisce all'acqua il carico necessario ad entrare nella condotta di adduzione.

La struttura geologica del sito di Ponte Alto è rappresentata da calcari micritici lastriformi rossi (spessi tra i 5 e i 15cm), talora selciferi, con interstrati marnosi. Nella parte basale, a causa dell'erosione del torrente, sono presenti formazioni rocciose inferiori rappresentate dalla Maiolica e dal Rosso Ammonitico Veronese e costituite da calcari micritici nodulari rossastri, bene stratificati, ad ammoniti⁶. Per queste ragioni si è deciso di porre uno strato di ghiaia per la captazione dell'acqua, in modo da non modificare la struttura della zona.

Per dimensionare il sedimentatore⁶ bisogna calcolare le misure della sezione B e H (prendendo una sezione rettangolare) e la lunghezza L . Per le prime due grandezze si sfrutta la definizione di portata

$$A = BH = \frac{Q}{u} \quad (2.7)$$

Prendendo una velocità di progetto $u = 0.2$, e la relazione $H = 0.8B$, possono calcolarsi le misure della sezione del dissabbiatore.

Per calcolare la lunghezza basta uguagliare la spinta di Archimede F_A alla forza di drag F_D :

$$F_A = V_s(\gamma_s - \gamma_{H_2O}) \quad (2.8)$$

dove V è il volume del sedimento, γ_s il peso specifico del sedimento e γ_{H_2O} il peso specifico dell'acqua;

$$F_D = C_D A \rho \frac{\omega^2}{2} \quad (2.9)$$

dove C_D è un coefficiente calcolabile come $C_D = \frac{24}{Re}$, g è l'accelerazione di gravità, A la sezione trasversale del sedimento, ω la velocità verticale del sedimento e ρ la densità dell'acqua. In questo modo si ricava il valore di ω come

$$\omega = \frac{1}{18} d_s^2 g \frac{\rho_s - \rho_{H_2O}}{\rho_{H_2O} \nu} \quad (2.10)$$

Avendo a che fare con materiale siliceo e considerando le particelle più piccole (per le quali le velocità di caduta sono minori) si prende un $\rho_s = 1600 \frac{kg_{peso}}{m^3}$, $\rho_{H_2O} = 1000 \frac{kg_{peso}}{m^3}$, $d_s = 200 \mu m$, $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ e $\nu = 10^{-6} \frac{m^2}{s}$. La velocità ω

risulta quindi pari a $0.0131 \frac{m}{s}$.

Conoscendo l'altezza H del dissabbiatore, e la velocità di percorrenza di progetto $u = 0.2$, si può trovare la lunghezza L dalla relazione

$$\frac{L}{u} = \frac{H}{w} \quad (2.11)$$

Alla L così calcolata è utile aggiungere un fattore di sicurezza moltiplicando il valore trovato per 1.3. Le dimensioni del dissabbiatore così calcolate sono

$$H = 0.278m \quad B = 0.348m \quad L = 4.25m$$

Portando tutto in misure commerciali si ottengono le dimensioni di progetto del dissabbiatore

$$H = 0.40m \quad B = 0.40m \quad L = 5m$$

Avendo un dislivello geodetico totale di $\Delta H = 234m$, si sono posti due sistemi di pompaggio in serie: uno incorporato nell'opera di presa e un altro ad una quota di $393m$, in una zona facilmente accessibile e raggiungibile in caso di ispezioni e manutenzione.

Per entrambi i pompaggi si sono scelte delle pompe in camera secca; Per poter però raffreddare il motore della pompa durante il funzionamento si sottolinea che si dovranno trovare degli accorgimenti da studiarsi caso per caso. In *Figura 2.6* è riportata la curva di macchina della pompa e alcune caratteristiche tecniche.

La prevalenza richiesta per la prima pompa è di $113m$, mentre per la seconda $120.4m$. Per quanto riguarda l' $NPSH$, parametro molto importante per capire la funzionalità dell'impianto, nel primo sistema è pari a $9.82m$, nel secondo $16.13m$. Le curve di funzionamento delle macchine sono state esplicitate nel paragrafo finale con la loro descrizione dettagliata.

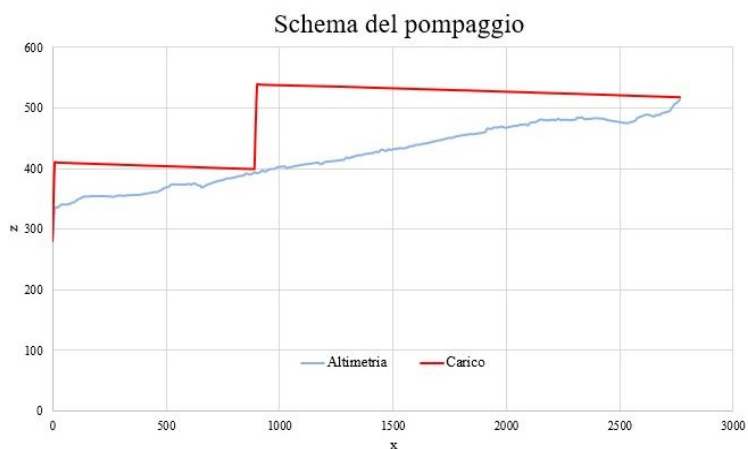


Figura 2.6: Andamento del dislivello altimetrico e del carico.

2.4 Serbatoio Ponte Alto

Poiché il serbatoio, come ampiamente detto, deve servire una regione situata a una quota non molto più bassa, il serbatoio da realizzare sarà a terra, dove è previsto l'arrivo dell'acqua sia dall'alto che dal basso in modo da poter sfruttare il ΔH massimo durante le ore di massimo consumo. Nel dimensionamento del volume si è seguito lo stesso procedimento usato per il serbatoio alimentato dalla sorgente delle Laste, utilizzando il pattern dei consumi relativo alla zona di Cognola (*Figura 2.6*).

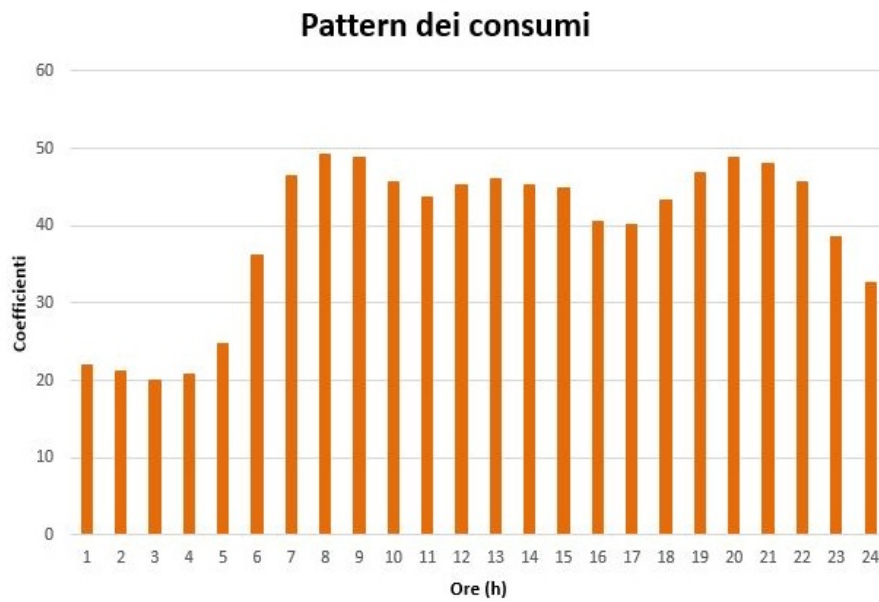


Figura 2.7: Pattern dei consumi giornalieri della zona di Cognola.

Dai calcoli risulta un volume pari a $377m^3$, come riportato in *Tabella 2.2*.

Frazione	Valore [m^3]
Volume di Compenso	296
Volume di Riserva	59
Volume Antincendio	22
Volume Totale	377

Tabella 2.2: Volume del serbatoio alimentato dalla sorgente di Ponte Alto.

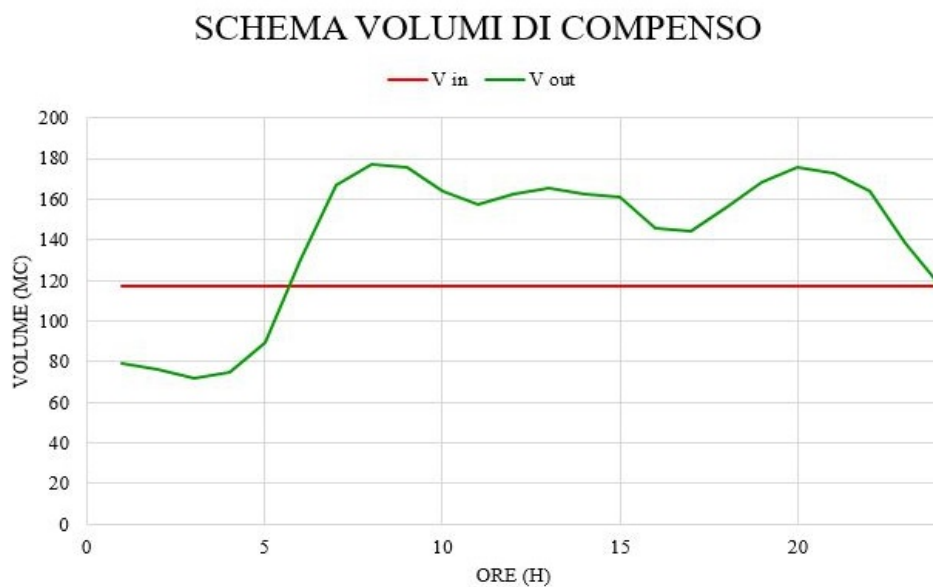


Figura 2.8: Volume di compenso del serbatoio.

2.5 Trattamento di clorazione

Per poter immettere le acque in rete risulta conveniente trattarle ulteriormente ed eseguire una disinfezione⁹. Il metodo più comune è la clorazione: viene aggiunto all'acqua ipoclorito di sodio in quantità congrue ($NaClO$) e si attende per un tempo almeno pari a 30 minuti prima di immettere l'acqua in rete in modo da permettere al cloro di eliminare eventuali batteri.

I parametri da seguire per stimare la bontà dell'acqua ad uso potabile sono quelli espressi nel *Decreto Legislativo del Presidente della Repubblica del 2 febbraio 2001, n. 31*. Ad oggi esistono sistemi alternativi di disinfezione, come trattamenti con ozono o raggi UV, i quali però non permettono una duratura qualità dell'acqua nel tempo. Una interessante applicazione potrebbe essere l'uso di un impianto di dosaggio ad energia fotovoltaica, in cui una pompa dosatrice elettromagnetica porta l'acqua in un comparto dove avviene il contatto con l' $NaClO$.

Capitolo 3

Dimensionamento della rete di distribuzione

3.1 Il metodo di Cross

Il metodo di Cross è un procedimento ideato dall'ingegnere Hardy Cross inizialmente per risolvere strutture a telaio staticamente indeterminate. Questo procedimento è stato in seguito applicato con successo anche alle reti di condotte in pressione.

L'equazione generale per la *portata correttiva* è data da⁶:

$$\Delta Q = \frac{\sum R_k |Q_k| Q_k}{2 \sum R_k |Q_k|} \quad (3.1)$$

da azzerare per trovare la portata passante nella rete esatta e calcolarne la pressione richiesta. Ci si basa sulla continuità della portata in ogni nodo di una rete a maglia chiusa a seguito di una portata ipotizzata di primo tentativo. Un fattore molto importante sarà la domanda ai nodi, che serve a ponderare la portata uscente in un determinato nodo.

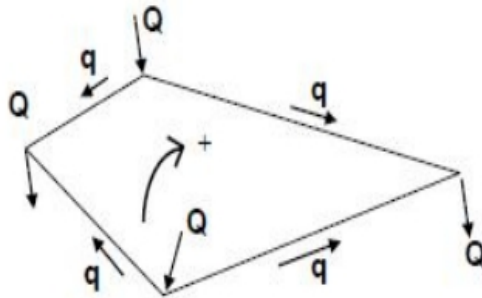


Figura 3.1: Esempio di maglia chiusa.

Per l'applicazione del metodo Hardy Cross è necessario tabulare tutti i nodi inserendo i dati progettuali di quota, domanda oraria, diametro e sezione. In una tabella parallela, si analizzano le condotte con i relativi dati di lunghezza, portata, diametro teorico e commerciale e parametro R .

3.2 Dimensionamento manuale della rete principale

La procedura si effettua con una scabrezza tipica di tubature a vecchio, ovvero fissando il coefficiente $K_s = 70 \frac{\sqrt[3]{m}}{s}$; successivamente si verificano pressioni nei nodi e velocità nelle condotte anche con un coefficiente $K_s = 100 \frac{\sqrt[3]{m}}{s}$ tipico per tubature nuove, dato che i limiti consentiti devono essere rispettati anche al tempo di avvio della rete nuova.

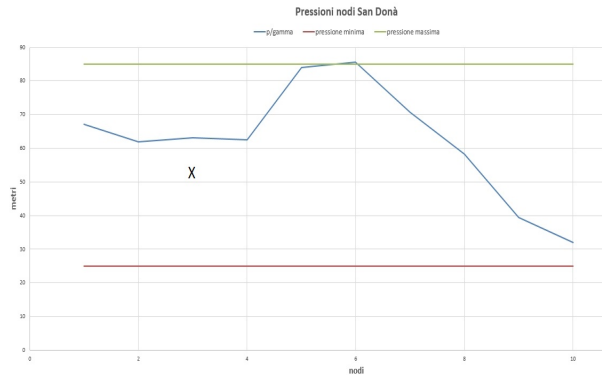


Figura 3.2: Pressioni ai nodi della rete di San Donà.

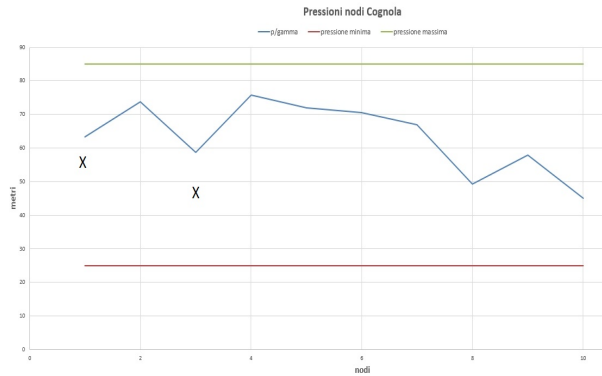


Figura 3.3: Pressioni ai nodi della rete di Cognola.

Nelle *Figure 3.2- 3.3* è visibile la pressione ai nodi delle due reti, confrontate con i limiti ipotizzati di pressione massima $P_{max} = 85m$ e minima $P_{min} = 25m$. I simboli X rappresentano i nodi forniti di valvole di dissipazione di pressione, grazie alle quali è stato possibile il rispetto dei limiti.

Il calcolo delle pressioni avviene tramite iterazioni a seguito di una prima ipotesi di partenza. La determinazione della pressione $\frac{p}{\gamma}$ avviene tramite un confronto dei carichi idraulici H , calcolati come:

$$\Delta H = q_s - R_{i-1}Q_{i-1}^2 - R_iQ_i^2 - X_i \quad (3.2)$$

dove q_s è la quota del serbatoio, le i sono i nodi e X_i è la dissipazione della valvola se è prevista, quindi si valuta una perdita di carico ad ogni nodo. Da questo valore si ricava la pressione (in metri) grazie alla differenza tra la quota e ΔH per ogni nodo. Evidentemente l'incognita del problema è il coefficiente

R , che si calcola analiticamente con⁶

$$R = \frac{10.29L}{K_s^2 D_{nom}^{5.33}} \quad (3.3)$$

Per ogni iterazione si ottengono valori di portata al nodo ed R diversi, ma sempre più vicini ai valori reali confrontabili, fino ad una differenza di minimo valore data attribuendo un'adeguata tolleranza.

Per implementare il metodo Hardy Cross, è necessario dividere il territorio di servizio in sottoaree di domanda. Ovvero ogni nodo corrisponde ad una quota parte della popolazione con una precisa domanda di portata, cui si basa il calcolo della portata in uscita del relativo nodo. In *Figura 3.4* si può vedere la divisione tramite QGIS delle due aree Cognola e San Donà.

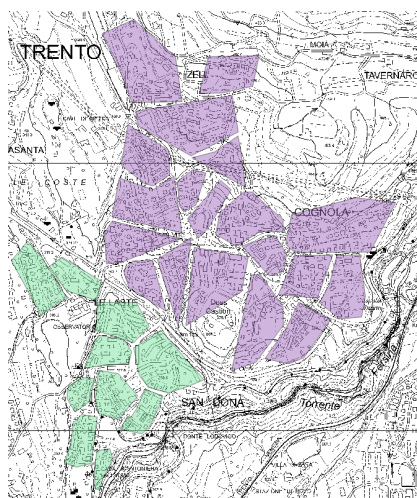


Figura 3.4: Sottoaree di domanda ai nodi.

Infine, si presentano i risultati così ottenuti, con cui è stato possibile graficare la verifica con metodo Hardy Cross:

(a) Rete di San Donà			(b) Rete di Cognola		
nodi	carico H	pressione	nodi	carico H	pressione
A	377.26	67.10	B	440.32	32.41
B	376.09	61.98	C	435.64	47.68
C	345.35	63.07	D	433.56	59.76
D	344.18	62.52	E	431.69	78.83
E	342.51	83.98	F	431.13	75.64
F	339.29	85.65	G	429.81	75.54
G	337.6	70.68	H	428.73	72.96
H	336.08	58.32	I	425.39	58.88
I	334.44	39.35	L	424.35	48.07
L	332.57	31.97	M	423.31	38.43
			N	419.97	47.56

Tabella 3.1: Risultati Hardy Cross.

La verifica riportata è stata condotta con ipotesi di condotta a vecchio, quindi con $K_s = 70 \frac{\sqrt{m}}{s}$; in *Tabella 3.1* si notano valori di pressione prossimi al limite ma accettabili.

Le due condotte alimentatrici, dal serbatoio alla maglia chiusa, sono attraversate da una portata fissa ed esatta in funzione del relativo serbatoio.

La rete di San Donà ha il serbatoio in Laste che fornisce una portata $Q_{max} = 193.27 \frac{l}{s}$ come somma di tutte le portate ponderate ai nodi dalle relative domande. Allo stesso modo nella rete di Cognola si vedrà una condotta dal serbatoio fornire $Q_{max} = 29 \frac{l}{s}$. Di conseguenza il dimensionamento porterà ad avere dei diametri di $450mm$ per San Donà e $200mm$ per Cognola

Capitolo 4

Verifica del sistema acquedottistico

Per la verifica del sistema si è utilizzato il programma *EPANET*: inizialmente, è stato testato il sistema tracciato con gli strumenti di georeferenziazione (seguendo il vincolo delle strade pubbliche e delle zone abitate da servire). In questa prima fase ci si è preoccupati di garantire una pressione minima a tutto il centro da servire.

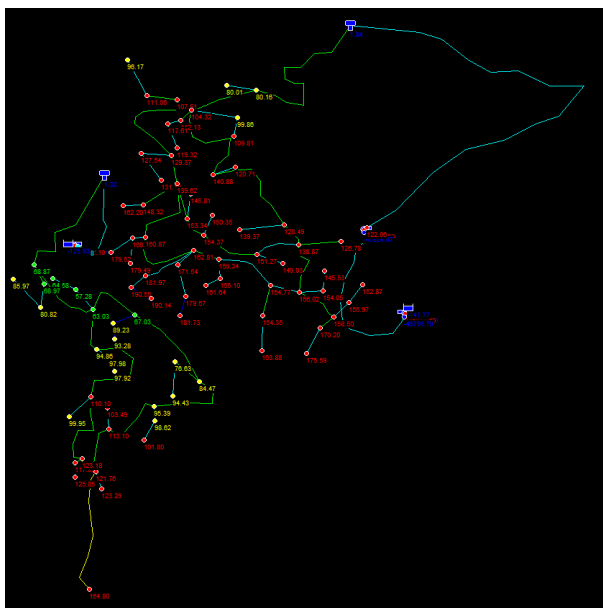


Figura 4.1: Prima verifica delle pressioni.

Come si può vedere in *Figura 4.1*, le pressioni nella rete sono piuttosto alte. Rispettando il vincolo della p_{min} , non si è riuscito a rispettare il vincolo della p_{max} , perciò sono state messe delle valvole di dissipazione localizzata nei punti più problematici della rete, in modo da avere il minor numero di valvole (e quindi il minor costo) e lo schema più ottimizzato (*Figura 4.3*). Le verifiche

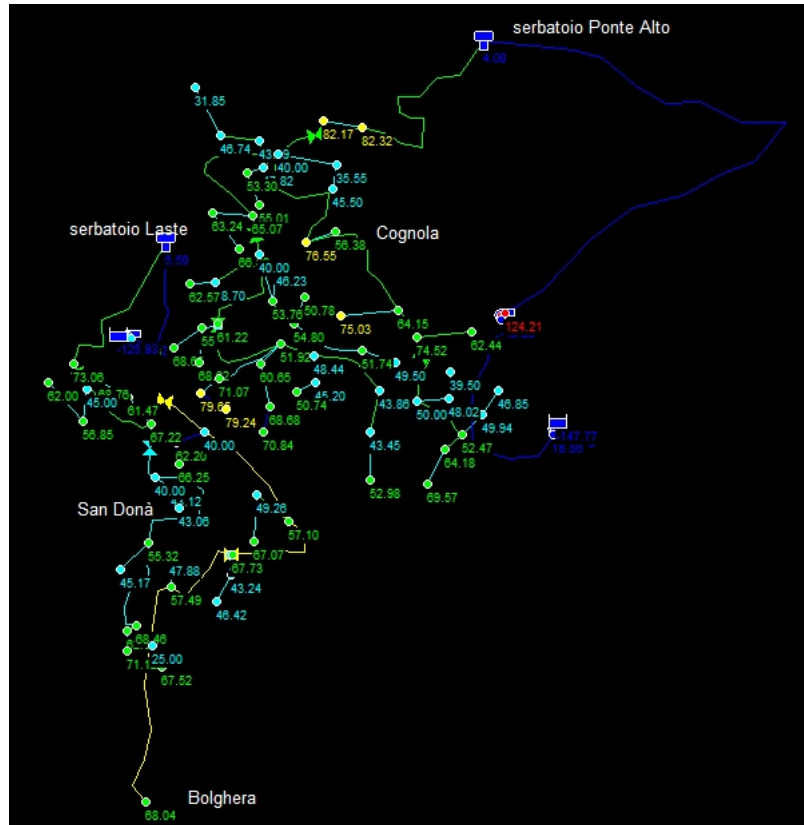
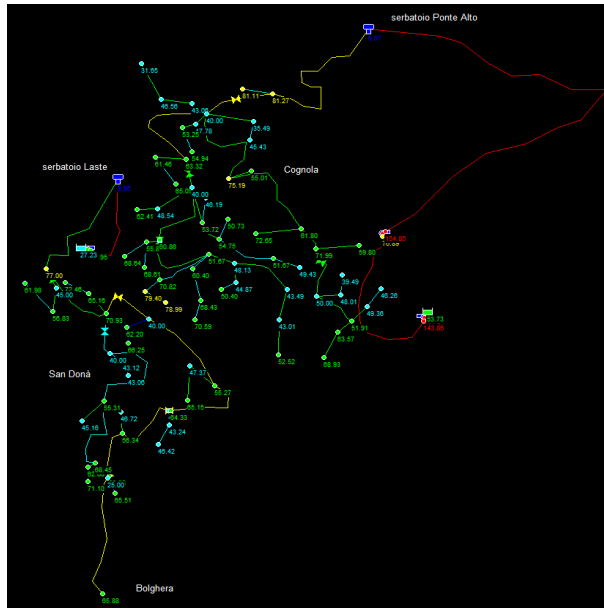
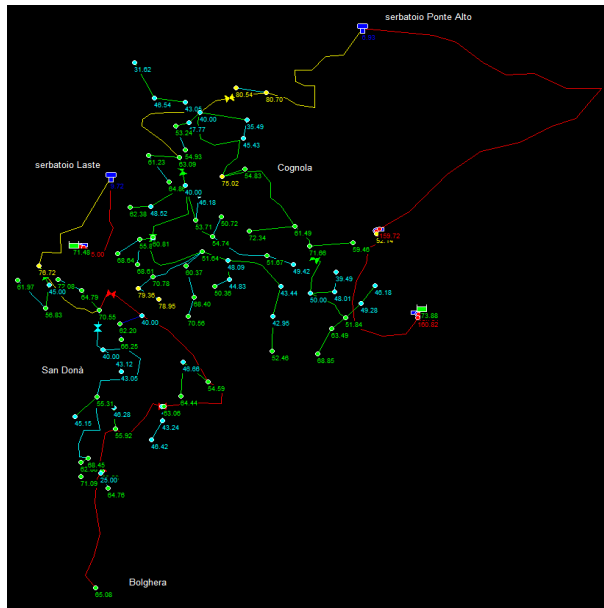


Figura 4.2: Sistema ottimizzato con l'uso di valvole.

sono state eseguite nell'ora dei massimi consumi (per verificare la pressione massima, *Figura 4.1*) e in quella dei minimi consumi (per rispettare le pressioni minime, *Figura 4.3*). Gestendo due reti scollegate tra loro sono stati assegnati due pattern di consumi diversi, quindi si distinguono la rete alimentata da Laste e quella alimentata da Ponte Alto.

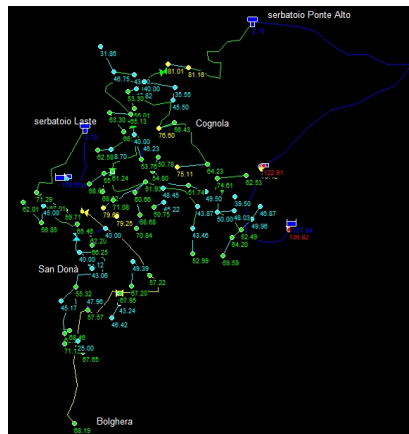


(a) Massimo per Laste, ore 21:00

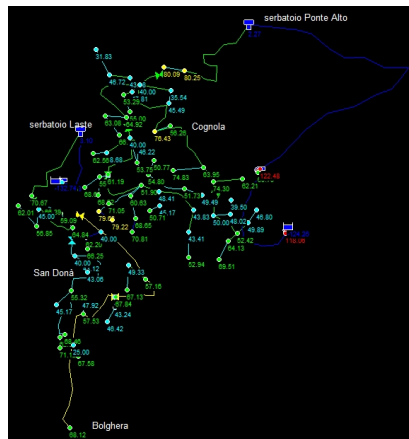


(b) Massimo per Ponte Alto, ore 20:00.

Figura 4.3: Verifica nell'ora dei massimi consumi.



(a) Minimo per Laste, ore 03:00



(b) Minimo per Ponte Alto, ore 04:00.

Figura 4.4: Verifica nell'ora dei minimi consumi.

Avendo a che fare con un sistema di ridotte dimensioni e isolato dal resto del centro abitato limitrofo (la zona urbana di Trento), il vincolo delle velocità non è sempre stato rispettato. Sono state riscontrate velocità al di sotto di quella minima consentita in rete, il che potrebbe pregiudicare le qualità dell'acqua. (Figura 4.4).

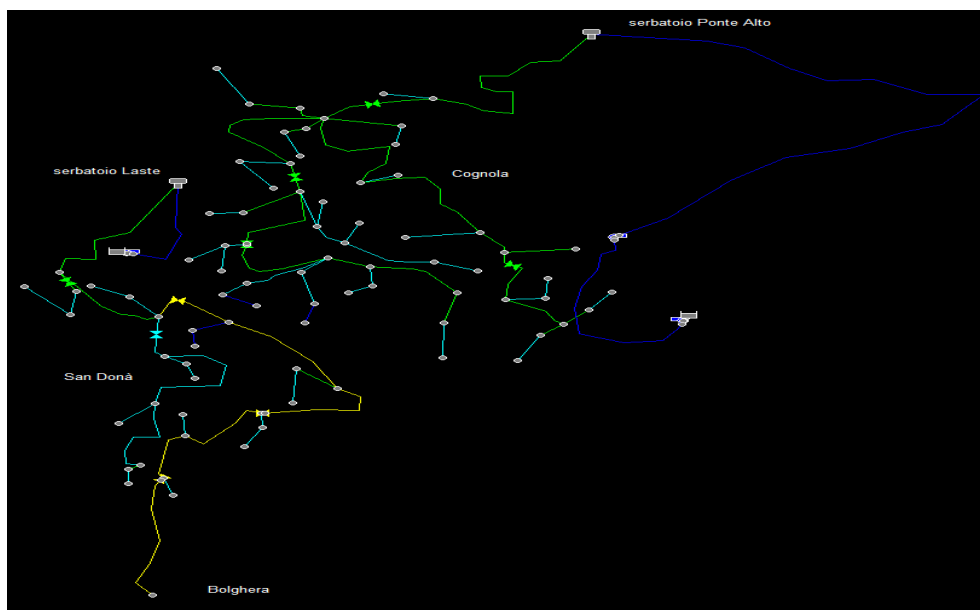


Figura 4.5: Verifica delle velocità.

Di seguito si riporta l'andamento delle velocità nella condotta di adduzione per il serbatoio della rete di Cognola dal secondo pompaggio (*Figura 4.5*). Risulta a velocità nulla nelle ore di minima richiesta, dove il serbatoio è autosufficiente grazie al livello iniziale impostato. Successivamente l'orario di minimo consumo, il serbatoio richiede acqua dalla sorgente, quindi si attivano le pompe alimentandolo dalla sorgente di Ponte Alto.

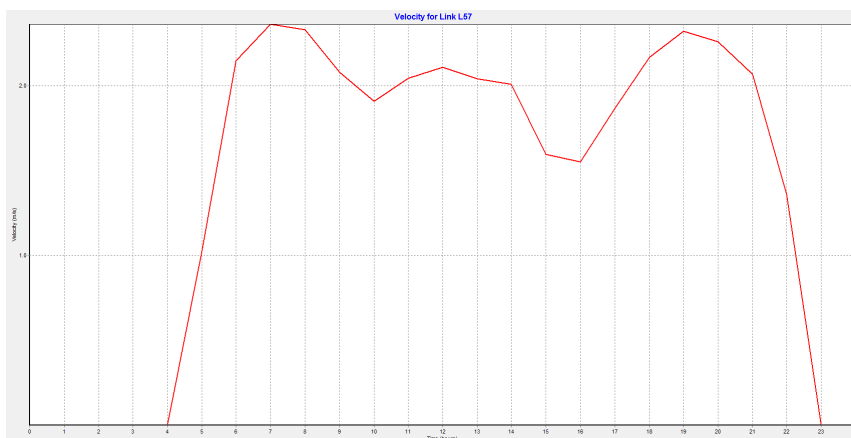


Figura 4.6: Velocità nell'adduzione di Cognola.

L'ultima verifica da effettuare è la disponibilità antincendio nell'ora dei massimi consumi. Nell'ipotesi di una richiesta immediata d'acqua, il serbatoio deve essere in grado di fornire l'adeguata parte capace di soddisfare la richiesta di emergenza. Dopo aver progettato il serbatoio con un volume antincendio relativo ad entrambe le reti, in base alla dimensione del centro abitato, si verifica la disponibilità d'acqua per le ore serali (di massimo consumo). Il metodo utilizzato viene dalla normativa e segue la relazione tra volume e abitanti: per il centro di San Donà si hanno circa 2040 abitanti, è quindi considerato *piccolo centro* e vale la formula⁸:

$$V_i = nqt_h \frac{3600}{1000} = 7.2m^3 \quad (4.1)$$

mentre per Cognola (circa 4000 abitanti), considerato *grande centro*, vale⁸:

$$V_i = 6\sqrt{N}t_h \frac{3600}{1000} = 22.8m^3 \quad (4.2)$$

dove si impone l'uso di 2 idranti con portata di $2\frac{l}{s}$ per almeno mezz'ora per aree residenziali come quella in progetto.

Alle ore 20:00 il serbatoio di Ponte Alto ha un tirante di $7m$, mentre alle 21:00 il serbatoio di Laste ha un tirante di $10m$.

4.1 Ottimizzazione della rete

Per come è stata tracciata, la rete presenta un punto debole, ovvero la distrettualizzazione delle due zone da servire (Cognola e San Donà - Laste) porta ad avere due zone rifornite da un unico serbatoio. Si considera utile proporre di collegare le due reti mediante una condotta munita di saracinesca. Sarebbe possibile (anche vedendo le pressioni che si hanno in verifica) fornire acqua in

periodi di crisi dal serbatoio collegato alla sorgente di Ponte Alto alla zona di San Donà. Si pensi a interventi localizzati sulla rete di San Donà e la necessità di pulire il serbatoio che rifornisce il centro abitato: con un collegamento sarebbe possibile non mandare in crisi il sistema; una saracinesca si aprirebbe in caso di necessità, mentre rimarrebbe chiusa per l'uso normale del sistema.

Proporre tale modifica e verifica utilizzando il software Epanet risulta complicato: il collegamento tra le due maglie implicherebbe la creazione di una rete "chiusa", il che creerebbe problemi al software nel suo sistema di calcolo.

Altro problema potrebbe essere rappresentato nell'avere, nella stessa condotta, due acque che provengono da due sorgenti diverse e presentano perciò caratteristiche chimico - fisiche differenti: si necessita perciò di un trattamento iniziale accurato, in modo da omogeneizzare le acque quando queste entreranno in tubazione.

Altro aspetto riguarda la corrosione dei tubi: è noto che i tubi in metallo subiscono fenomeni di degrado se posati in zone con terreni aggressivi, ad alta conducibilità o se posti in prossimità di ferrovie, tranvie o tubi del gas. I tubi scelti, anche più costosi rispetto ad altri disponibili sul mercato, presentano una zincatura effettuata con lega $Cu - Al$ che estende almeno del 40%¹² la vita utile della tubazione.

Capitolo 5

Stima dei costi di messa in opera e materiale

Un problema non secondario da considerare in fase progettuale è una stima preliminare dei costi. Sono stati considerati interventi di diverso genere con l'uso di materiali specifici, oltre che manufatti idraulici utili al corretto funzionamento della rete idrica.

Nelle scelte degli elementi dell'impianto, si è preferito dare maggior importanza al servizio, quindi cercando di ottimizzare le spese ma senza gravare sull'esercizio in sicurezza, garantendo all'utenza la necessaria fornitura del bene primario. La seguente *Tabella 5.1* aiuta a confrontare i diversi costi di costruzione dell'impianto, ma non di esercizio¹⁰.

La scelta del materiale principale dell'impianto è ricaduta sulla ghisa sferoidale, costosa ma necessaria per questo genere di impianto, capace di resistere alle alte pressioni grazie alle proprietà isotrope. La forma tronco conica della tubazione e il suo rivestimento interno liscio, garantiscono una fluidità di moto dell'acqua con poche perdite distribuite.

€	rete Congola	rete San Donà
Rete principale e distribuzione	377 105	570 878
Posa in opera	218 032	137 649
Impianto di pompaggio	52 000	19 500
Giunti	72 390	137 076
Valvole e saracinesche	19 070	17 920
Costo Totale	600 841	883 024

Tabella 5.1: Sintesi dei costi di produzione e posa in opera.

Si necessita l'uso di giunti a manicotto (sempre in ghisa sferoidale) stimandone le quantità in base alla lunghezza di ogni tubazione e con un costo relativo al diametro applicato.

Le valvole sono necessarie al funzionamento della rete, per cui sono state scelte in funzione alle pressioni da dissipare; 4 valvole per la rete di Cognola e 5 per San Donà, della stessa tipologia di intercettazione a flusso avviato PN40. Inoltre si è parlato dell'uso di saracinesche per ottimizzare la rete, richiedendo la *saracinesca a cuneo gommato corpo cilindrico PN40* in acciaio. Questi manufatti sono stati selezionati presso la ditta di fabbricazione abruzzese *Vemapla*.

5.1 Sistema di pompaggio

Per scegliere gli impianti di pompaggio dalle sorgenti ai serbatoi, sono stati valutati i parametri di funzionamento prevalenza e portata richiesta. Quindi, tramite il metodo grafico (*Figura 4.6*), sono state trovate diverse soluzioni in un unico punto di funzionamento: scelta una tipologia di pompa ben specifica tramite l'*NPSH* richiesto, si è potuto trovare una gamma di impianti adatti alla rete.

Per la rete di San Donà e Bolghera, alimentata dalla sorgente in Laste si richiede un *NPSH* di $10.32m$ e, come descritto nell'adduzione, si ha una prevalenza di circa $62m$, mentre la relativa portata richiesta è di $129 \frac{l}{s}$. Tramite una ditta di produzione di sistemi di impianti idraulici di Alessandria, la *Garbarino*¹⁰, si è selezionata la pompa *MU200 – 500* della classe $1450RPM$, corrispondente esattamente alle richieste del sistema in analisi (*Figura 5.2*).

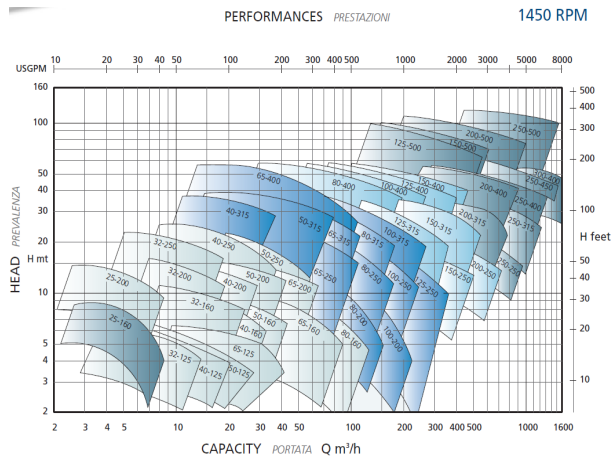


Figura 5.1: Punto di funzionamento.

Un'analisi simile è stata eseguita per la rete di Cognola, ma come si è visto nella relativa adduzione, si necessita di una seconda pompa in serie distante circa $900m$ dalla prima. Il risultato così ottenuto è una diversa tipologia di pompaggio rispetto alla rete di San Donà, costituita dalle pompe $125r - G4$ e $125r - G5$ in serie.



Figura 5.2: Pompa MU200-500.

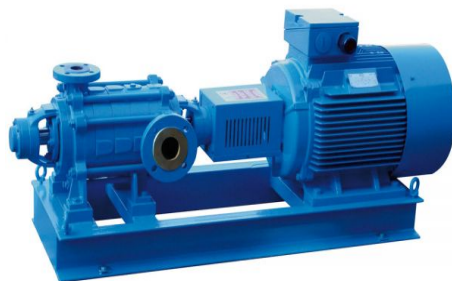


Figura 5.3: Pompa 125r-G.

Entrambe le tipologie hanno un funzionamento in camera secca, con corpi in ghisa. La $MU200 - 500$ utilizza giranti in bronzo, sviluppando una potenza di $160kW$, mentre la $125r - G$ utilizza giranti in acciaio inox con potenza di $90kW$. Il progetto prevede un funzionamento in continuo del sistema per garantire un adeguato volume ai serbatoi, dimensionati in modo che l'esercizio delle pompe non sia eccessivo, ma tutta la domanda sia ben soddisfatta nell'arco della giornata. Di seguito sono riportate le curve di funzionamento dei meccanismi utilizzati.

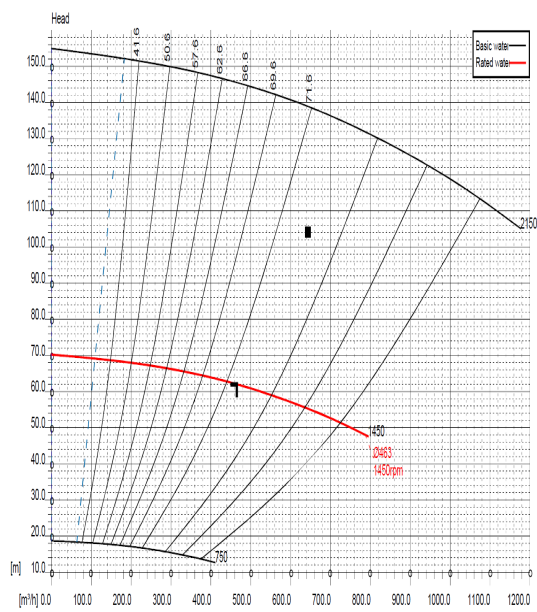


Figura 5.4: Pompa MU200-500.

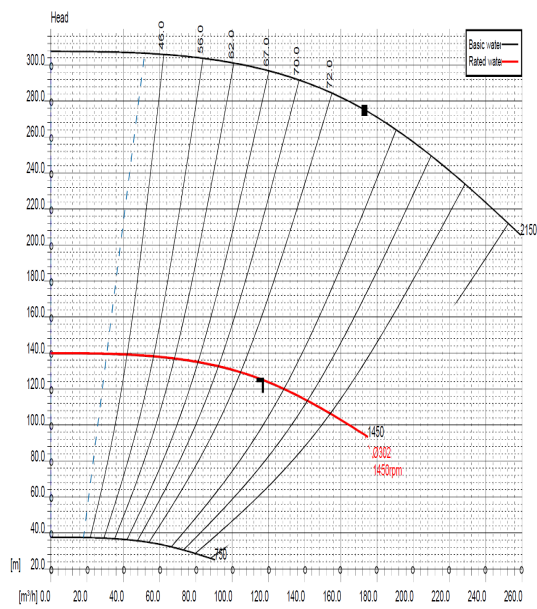


Figura 5.5: Pompa 125r-G4.

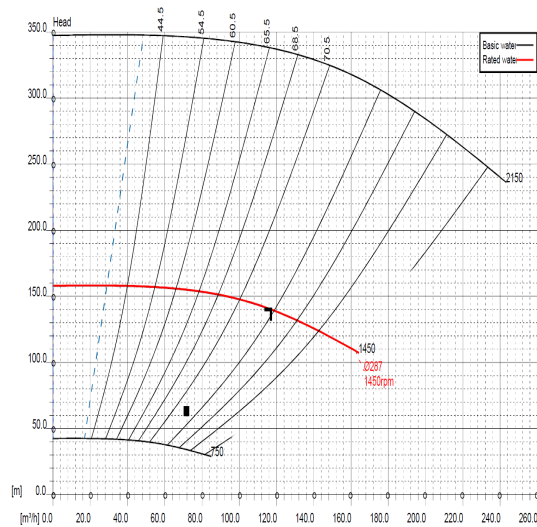


Figura 5.6: Pompa 125r-G5.

5.2 Conclusioni

Il progetto presentato ha avuto come scopo la creazione di un sistema acquedottistico volto a servire le zone di Cognola, San Donà, Laste e Bolghera, situate nel circondario del comune di Trento.

A tale fine, si è condotta un'analisi preliminare della zona di studio, studiandone l'andamento demografico e ricercando possibili nuove fonti di approvvigionamento idrico da affiancare ai serbatoi delle Laste; identificata la sorgente di Ponte Alto, in fase preliminare di progetto si è deciso di dividere in due zone l'area: si è rifornita perciò Cognola con la sorgente di Ponte Alto e le restanti tre zone con il serbatoio delle Laste; ciò ha richiesto, in entrambi i casi, un sistema di pompaggio (in serie per la zona di Cognola).

Viste le portate in gioco e la prevalenza richiesta ci si è affidati a un'azienda del settore, confrontandoci direttamente col produttore e valutando la fattibilità dell'opera. Avendo ricevuto assenso e consiglio da parte del fabbricante si è avvalorato il risultato esposto in questa sede.

La collocazione dei serbatoi in località più elevate rispetto al punto più alto da servire ha permesso di dimensionare con più accuratezza la rete di distribuzione. Per avere un'idea generale si è proceduti con un dimensionamento a mano di una maglia chiusa semplificata per entrambe le reti per poi implementare il sistema finale sul software di calcolo EPANET; sono state condotte diverse verifiche: nell'ora dei massimi consumi (per valutare le pressioni minime) e in quelle dei minimi consumi (per valutare invece le pressioni massime), verifiche antincendio, sulle pressioni dei nodi e sulle velocità all'interno dei tubi.

Quest'ultima verifica ha prodotti risultati insoddisfacenti, sottolineando come

lo sviluppo di una rete più completa (comprendente anche parte delle zone più a sud dell'area in esame) avrebbe aiutato a rispettare il vincolo delle velocità minime.

Infine è stata condotta una stima dei costi considerando anche l'utilizzo di eventuali opere ricorrenti e definendone le caratteristiche principali.

Bibliografia

- [1] Sito Comune di Trento, consultato in data 29/05/2018.
- [2] Sito Trentino Natura, <http://trentinonatura.it/orrido-ponte-alto-canyon-trento/>, consultato in data 29/05/2018.
- [3] Dati Comune di Trento, Ufficio Anagrafica.
- [4] Arpa Sezione Provinciale di Ravenna, *Linee Guida ARPA per il trattamento delle Acque reflue domestiche*, Servizio Territoriale, Seconda Edizione, Aggiornata e rivista Gennaio 2002.
- [5] Osservatorio dei servizi idrici della Provincia Autonoma di Trento, *Linee Guida per la formazione del fascicolo integrato di acquedotto*, Agenzia provinciale per le Risorse idriche ed energetiche, febbraio 2013, Trento.
- [6] Da Deppo Luigi, Datei Claudio, Fiorotto Virgilio, Salandin Paolo *Acquedotti*, Terza edizione, Libreria Internazionale Cortina, A. A. 2005/2006, Padova.
- [7] Servizio Geologico, *Prima caratterizzazione idrochimica delle sorgenti ad uso potabile della Provincia di Trento*, Provincia Autonoma di Trento.
- [8] Materiale didattico Professor Maurizio Leopardi, *Acqueotti*, Università dell'Aquila, L'Aquila.
- [9] Sito OPPO, consultato il 13/06/2018.
- [10] Sito Azienda Garbarino, consultato il 13/06/2018.
- [11] Dispense di lezione del professor Maurizio Righetti, anno accademico 2017 - 2018 Università di Trento.
- [12] Azienda Saint - Gobain, "Seminario sui tubi in ghisa", tenutosi il 06/06/2018.