CERTIFICAZIONE DI SISTEMA DI GESTIONE
UNI EN ISO 9001

COGESI S.C.R.L. consorzio gestori servizi idrici

COMUNE DI BRONDELLO

Lavori di realizzazione nuova condotta di adduzione del serbatoio Comba Ceresa a servizio del Comune di Pagno

Livello di progettazione:	**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA**
Oggetto elaborato:	**Relazione idraulica di calcolo**

Progetto:

Sede Legale: Corso Nizza 88 - 12100 Cuneo
Tel. 0171.326711 - fax 0171.326710
Partita IVA: 02468770041
Capitale sociale € 5.000.000
e-mail: acda@acda.it

Progettazione: *(Ordine Ingegneri di Cuneo n. A2507)*	Ing. Alessandro Marengo
Responsabile Unico di Progetto: *(Ordine Ingegneri di Cuneo n. A1886)*	Ing. Fabio Monaco

COMMESSA	*Livello di progetto*	*Categoria di progetto*	*Tipo di elaborato*	*N. elaborato*	*REV.*	*DATA*	*SCALA / E*
UM00077	**PFTE**	**GE**	**TX**	**02**	**00**	**12.06.2025**	**--**

REV.	*Descrizione:*	*DATA:*	*Redatto da:*	*Verificato da:*	*Approvato da:*
00	Emissione	12.06.2025	A. Dutto	A. Marengo	F. Monaco

Questo elaborato è di proprietà dell'ACDA, qualsiasi divulgazione o riproduzione anche parziale deve essere espressamente autorizzata
Acda azienda cuneese dell'acqua spa
Sede Legale: Corso Nizza 88 - 12100 CUNEO - Tel. 800.194.065 - Fax 0171.326710 - e-mail: acda@acda.it
Capitale sociale € 5.000.000 - Partita IVA 02468770041

INDICE:

1. PREMESSA 2
2. DATI GENERALI DI PROGETTO 3
2.1 Inquadramento territoriale 3
2.2 Stato di fatto Serbatoio Comba San Grato 3
3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO 4
3.1 Tracciato 4
4. SCELTA DEI MATERIALI DELLE TUBAZIONI 5
4.1 Rete acquedotto – Adduzione 5
5. VERIFICA DELLE OPERE IN PROGETTO 6
5.1 Modello di calcolo 6
5.2 Stato di progetto 7
5.3 Colpo d'ariete 8
5.3.1 Descrizione del modello di calcolo 8
5.3.2 Calcolo e verifica della massima sovrappressione 10
5.4 Verifica della pressione nominale delle tubazioni in PEAD 11
6. CONCLUSIONI 12
7. ALLEGATO A – ALGORITMO DI ANALISI EPANET 13
8. ALLEGATO B – NETWORK EPANET 15
9. ALLEGATO C – STATO DI PROGETTO 16

1. PREMESSA

La presente Relazione Idraulica è parte integrante del progetto di fattibilità tecnica ed economica dei lavori per l'intervento denominato *"Lavori di realizzazione nuova condotta di adduzione del serbatoio Comba Ceresa a servizio del Comune di Pagno"* nel Comune di Brondello.

L'intervento in progetto ha come obiettivo la realizzazione della condotta di adduzione tra la vasca Colletto Alto ubicata nel territorio comunale di Brondello e la vasca Comba Ceresa, realizzata da A.C.D.A. negli anni 2012-2013 al fine di alimentare la vasca Comba San Grato a servizio del Concentrico del Comune di Pagno.

L'intervento si rende urgentemente necessario in quanto le sorgenti che attualmente alimentano la vasca Comba San Grato, nei maggiori periodi di siccità, specialmente nel periodo estivo ed in concomitanza con l'afflusso turistico, non garantiscono più la regolare portata dell'acqua distribuita alle utenze provocando gravi disservizi.

L'Azienda Cuneese dell'Acqua gestisce il Servizio Idrico Integrato dei comuni di Brondello e Pagno. Tra i compiti del Gestore è infatti compresa la progettazione degli interventi di rinnovo o ampliamento degli impianti del Servizio Idrico Integrato, comprese tutte le attività di gestione relative alla funzionalità delle opere e adeguamenti degli allacciamenti al regolamento A.C.D.A. S.p.A., istallando i misuratori volumetrici in adeguati pozzetti posti su suolo pubblico direttamente all'esterno delle abitazioni, nonché la loro attivazione ed eventuale: rifacimento, modifica, manutenzione.

La presente Relazione Idraulica è volta ad illustrare i calcoli idraulici che hanno portato al dimensionamento della condotta in progetto.

2. DATI GENERALI DI PROGETTO

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area oggetto di intervento si sviluppa nella a Nord del Comune di Brondello, in zona collinare a monte della strada che conduce alla colletta di Brondello (SP 180).

L'intervento in progetto si sviluppa nelle aree a monte delle Località presenti, prevalentemente lungo terreni boschivi, in parte su strada comunale e in parte su viabilità su proprietà private.

Figura 1 - Area oggetto di intervento

2.2 STATO DI FATTO SERBATOIO COMBA SAN GRATO

I Comuni di Castellar e Pagno dispongono di una rete idrica collegata ad una serie di serbatoi di riserva ed alimentata da sorgenti emergenti sul versante vallivo destro e sinistro orografico.

Tali sorgenti risentono molto dell'andamento stagionale e, in alcuni periodi dell'anno, la quantità di acqua captata non è sufficiente per soddisfare il fabbisogno idrico della zona.

Nei primi anni 2000, le amministrazioni Comunali di Pagno e Castellar individuarono nel territorio del Comune di Revello una nuova sorgente denominata "Comba Ceresa" la cui portata, misurata in 1.5 l/s, risultava sufficiente per integrare il fabbisogno idrico nella zona in situazioni di crisi.

Nel 2006 il Comune di Castellar fece predisporre dall'ufficio tecnico della Comunità Montana Valli Po Bronda e Infernotto un progetto per la captazione e l'adduzione delle acque derivate da tale sorgente al serbatoio esistente di San Grato.

A seguito dell'entrata di A.C.D.A. nella gestione del SII della valle Bronda, nel 2011 l'ufficio tecnico aziendale, effettuati i necessari sopralluoghi e rilievi, considerate le zone disagevoli oggetto di intervento, ritenne di apportare modifiche al tracciato della condotta rielaborato il progetto originario, prevedendo un

primo stralcio dell'acquedotto dal serbatoio di accumulo in località Comba Ceresa sino al serbatoio San Grato.

Negli anni successivi sono state effettuate valutazioni sulla portata effettiva della sorgente Comba Ceresa e sulla difficoltà di eseguire la captazione della stessa, essendo ubicata in un crinale scosceso di difficile accesso. A seguito di tali attività si è deciso di abbandonare tale soluzione originaria, decidendo di alimentare la vasca di Comba Ceresa con l'acqua della vasca Colletto Alto, al momento a servizio della sola borgata Gian Aime.

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

3.1 TRACCIATO

Nell'individuazione del tracciato per la posa della condotta sono stati considerati i seguenti criteri:

- Minimizzare la lunghezza del tracciato;
- Minimizzare le interferenze con sottoservizi e infrastrutture esistenti;
- Minimizzare gli impatti con le proprietà private e con il traffico veicolare;
- Agevolare le condizioni di manutenzioni future.

L'intervento consiste nella realizzazione della condotta di adduzione a partire dal serbatoio di Colletto Alto, per terminare con l'ingresso in vasca a Comba Ceresa. Lo sviluppo della tubazione in progetto in PE100 PN 16 DN 75 mm è di circa 1.400,00 m.

Si prevede, inoltre, la realizzazione di uno stacco verso la vasca V5 Cantun oltre al risanamento delle superfici interne del serbatoio V8 Colletto Alte mediante impego di malte cementizie osmotiche.

Con riferimento all'elaborato *UM00077-PFTE-GE-DW-02 Planimetria catastale*, sono stati individuati i seguenti tratti omogenei, quali:

- Sez. 01-02 – condotta in PE100 PN 16 DN 75 mm posata su terreno comunale per una lunghezza di circa 40,00 m;
- Sez. 02-03 – condotta in PE100 PN 16 DN 75 mm posata su strada comunale sterrata per una lunghezza di circa 380,00 m;
- Sez. 03-04 – condotta in PE100 PN 16 DN 75 mm posata su strada comunale asfaltata per una lunghezza di circa 340,00 m;
- Sez. 04-05 – condotta in PE100 PN 16 DN 75 mm posata su strada sterrata in terreni privati per una lunghezza di circa 640,00 m;

Si prevede l'attraversamento in sub-alveo dei rivi del Pissai (sez. 3a) e della Vacca (sez. 4b), entrambi intubati in condotte in cls, mediante l'inserimento della tubazione idrica in un tubo guaina in acciaio DN 150 mm. Viste le ridotte dimensioni dell'alveo dei corsi d'acqua, nonché delle portate assenti in condizioni di tempo asciutto, si prevede lo scavo tradizionale in trincea stretta.

I lavori previsti in progetto consistono principalmente in:

- Taglio e fresatura del manto bitumato;
- Scavo a sezione obbligata per posa di tubazione idrica;
- Smaltimento alle pubbliche discariche del materiale di risulta;
- Fornitura e posa di tubazione idrica in PE100-RC tipo 2 PN 16 DN 75 mm UNI EN 12201 ed EN 1622;
- Fornitura e posa di organi di manovra e sfiati lungo il tracciato della tubazione;

- Fornitura e posa di pozzetti in calcestruzzo comprensivi di chiusino carrabile a passo d'uomo classe D400 secondo UNI EN 124;
- Rivestimento delle nuove condotte con rete anti-roccia;
- Riempimento dello scavo con materiale anidro selezionato (lungo la strada asfaltata) o materiale precedentemente scavato (lungo il sentiero, le strade sterrate e i terreni agricoli);
- Ripristini stradali comprendenti lo scavo, la rifilatura dello stesso, la regolarizzazione e il ripristino provvisorio della pavimentazione bitumata per uno spessore di 8 cm;
- Sistemazione finale dell'area;
- Risanamento superfici interne del serbatoio V8 Colletto Alte mediante impego di malte cementizie osmotiche;
- Opere complementari e di finitura.

Lo scavo e la posa delle condotte dovranno avvenire in modo tale da garantire un ricoprimento minimo, inteso come lo spessore tra l'estradosso del tubo e il piano campagna, pari ad almeno 1 m. Per la protezione della nuova tubazione idrica è stato previsto l'utilizzo della rete anti-roccia in modo da poter riutilizzare il materiale precedentemente estratto per la chiusura dello scavo.

4. SCELTA DEI MATERIALI DELLE TUBAZIONI

La scelta del materiale per la realizzazione del tratto di rete idrica è effettuata sulla base di considerazioni tecniche ed economiche.

Nel dettaglio si è tenuto in considerazione l'andamento plano-altimetrico del tracciato prescelto, la profondità di posa della condotta, i carichi agenti sulla stessa, la durabilità del materiale in relazione alla vita nominale del tratto di rete, nonché delle proprietà chimico fisiche e meccaniche.

Inoltre, lato economico, sono stati analizzati diversi fattori quali la facilità di posa nel tratto in esame, i tempi di posa, nonché il costo di fornitura della tubazione, dei pezzi speciali e degli organi accessori.

4.1 RETE ACQUEDOTTO – ADDUZIONE

Per la realizzazione del tratto di rete in oggetto, sulla base delle suddette considerazioni progettuali, è stato individuato nel polietilene ad alta densità il materiale più idoneo al caso in esame.

In particolare, l'utilizzo di condotte in polietilene ad alta densità PE100, conformi alla UNI EN 12201-2 per trasporto di acqua in pressione e secondo DIN PAS 1075 tipo 2, di tipo RC (*Resistant to Crack)* con caratteristiche maggiorate di resistenza alla crescita lenta della frattura, garantisce ottime prestazioni idrauliche e meccaniche, unite ad un costo inferiore rispetto ai materiali metallici. Si evidenziano le principali caratteristiche:

- **facilità di installazione e manutenzione**: i tubi in polietilene possono essere facilmente movimentati ed installati grazie alla loro leggerezza e flessibilità, con la conseguente riduzione dei costi gestionali; possono inoltre essere realizzate curve di ampio raggio e le installazioni possono interessare anche aree instabili grazie alla particolare capacità del polietilene di assorbire vibrazioni e sollecitazioni;
- **ridotte perdite di carico**: la superficie estremamente liscia (coefficiente di scabrezza K=0,01 mm per tubi fino a 200 mm di diametro e 0,05 mm per i diametri superiori) impedisce la formazione di incrostazioni, assicurando una portata maggiore a parità di diametro rispetto alle condotte in acciaio ed eliminando la necessità delle operazioni di pulizia;
- **elevata tenacità**: l'utilizzo del polietilene conferisce alla condotta una buona resistenza agli urti anche alle basse temperature; la viscoelasticità del materiale comporta, inoltre, una notevole

riduzione dell'effetto dei colpi d'ariete e degli sforzi indotti dalle attività di posa e dalle sollecitazioni del terreno;

- **elevata resistenza alla corrosione**: l'inerzia chimica del polietilene ne rende possibile l'impiego anche in terreni aggressivi e in presenza di correnti vaganti senza riduzioni dello spessore di parete; al tempo stesso, il polietilene presenta un'elevata resistenza ai fenomeni di degrado provocati dall'attacco di microorganismi;
- **buona resistenza al gelo**: sono mantenute le proprietà fino a -20 °C per impieghi normali (a bassa temperatura il ghiaccio può provocare una deformazione della condotta che tuttavia riprenderà la sua forma iniziale senza rompersi dopo il disgelo) e per impieghi particolari fino a -60 °C;
- **idoneità al contatto con gli alimenti**: poiché il polietilene costituisce un materiale completamente atossico, le tubazioni possono trasportare acque potabili o fluidi alimentari nel totale rispetto delle normative vigenti;
- **vita utile di progetto di 50 anni**: la durabilità di una rete realizzata in polietilene può essere prevista in fase progettuale come corrispondente ad almeno 50 anni, sebbene le resine di ultima generazione possano contare su un'aspettativa superiore a 100 anni.

5. VERIFICA DELLE OPERE IN PROGETTO

5.1 MODELLO DI CALCOLO

La modellazione idraulica è stata effettuata utilizzando il software *Epanet*, programma di dominio pubblico, sviluppato dall' *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) (agenzia di protezione ambientale) degli Stati Uniti d'America, al fine di effettuare delle simulazioni idrauliche e di qualità dell'acqua delle reti in pressione. Il programma Epanet risolve, semplicemente, le equazioni di energia e di continuità per ogni nodo della rete. Essendo incognite le portate transitanti per ogni tubazione ed i carichi ai nodi e avendo a disposizione un'equazione per ogni condotta e per ogni nodo, il problema risulta determinato. Viene quindi scritto un sistema costituito da un numero di equazioni pari al numero di condotte e di nodi presenti nella rete.

A supporto della progettazione, è stato effettuato un rilievo topografico che ha permesso il calcolo delle pressioni in ogni punto della rete. Sul software Epanet, sono quindi stati rappresentati i nodi più significativi della rete in progetto in corrispondenza di cambi di pendenza, punti di minimo e di massimo, allacci, organi di regolazione della pressione e in ogni punto singolare della rete. Ad ogni nodo è stata quindi assegnata la quota altimetrica risultante dal rilievo topografico. Per le aree non coperte dal rilievo, le quote sono state desunte dalle curve di livello della Carta Tecnica Regionale.

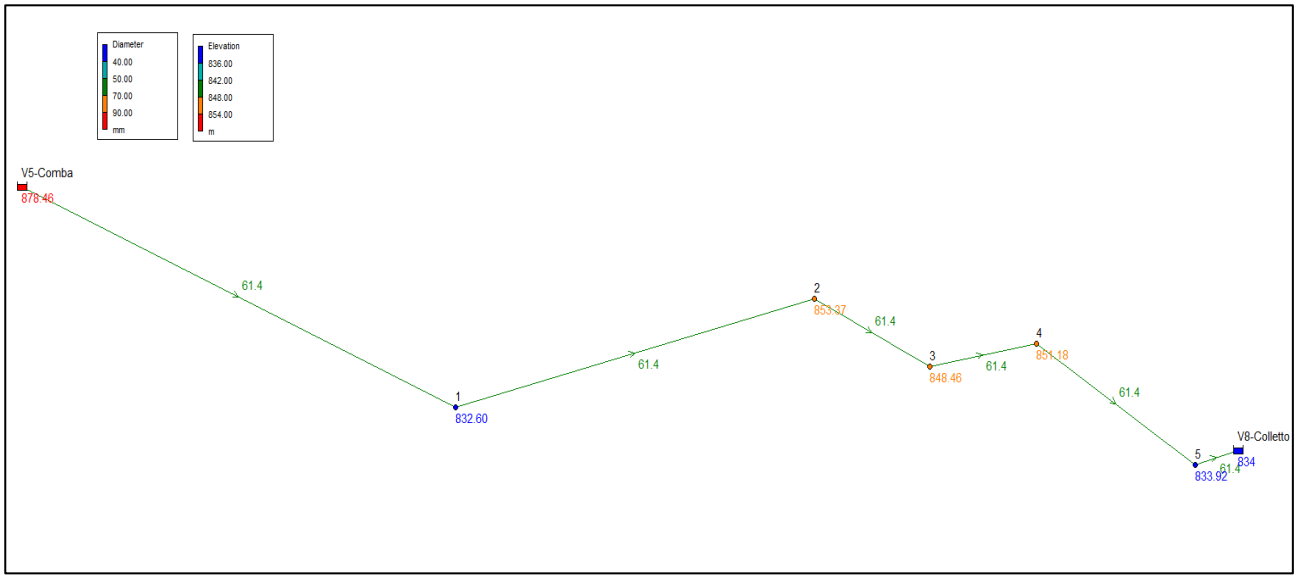

Figura 2 - Quote altimetriche dei nodi della rete

Si è quindi proceduto al calcolo del diametro della condotta in progetto tale per cui soddisfi la richiesta pari a 3 l/s, come da risultanze di precedenti progettazioni ACDA.

Il calcolo delle perdite di carico distribuite è stato effettuato mediante la formula rigorosa di Darcy-Weisbach, valida per ogni tipo di fluido. I coefficienti di scabrezza (espressi in mm) sono stati assegnati nella condizione più gravosa di tubi usati; per il PEAD si è assegnato un coefficiente ε pari a 0.10 mm.

Di seguito vengono riportati i risultati per la simulazione effettuata.

5.2 STATO DI PROGETTO

Il pre-dimensionamento della condotta di progetto viene effettuato partendo dalla portata di nominale di progetto pari a Q_n= 3.00 l/s e imponendo una velocità di deflusso pari a v= 1,00 m/s, al fine di garantire un ottimale funzionamento idraulico; si perviene alla determinazione del diametro della condotta di adduzione:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{1{,}00 * \pi}} = 0.061\ m$$

Alla luce delle caratteristiche della condotta di adduzione, si prevede di utilizzare il diametro commerciale immediatamente superiore e di verificare la velocità in condotta.

La condotta di adduzione sarà realizzata in PE100 PN16 DN75 con diametro interno 61.4 mm, con le seguenti condizioni di funzionamento idraulico:

- Q = 0.00030 m^3/s e V = 1.02 m/s.

L'aumento di velocità risulta accettabile per il funzionamento in pressione e l'utilizzo previsto.

Con il modello idraulico si vanno ora a verificare, in funzione dell'altimetria del tracciato, le opere in progetto, ovvero una tubazione in PE100 PN16 DN75 mm per una lunghezza di circa 1370 m.

Come si nota dall'immagine seguente, la portata verso V8 Colletto Alto si attesta intorno ai 3.16 l/s che risulta maggiore della portata richiesta.

Le velocità in condotta si attestano intorno ai 1.07 m/s, compatibile con lo scopo della tubazione.

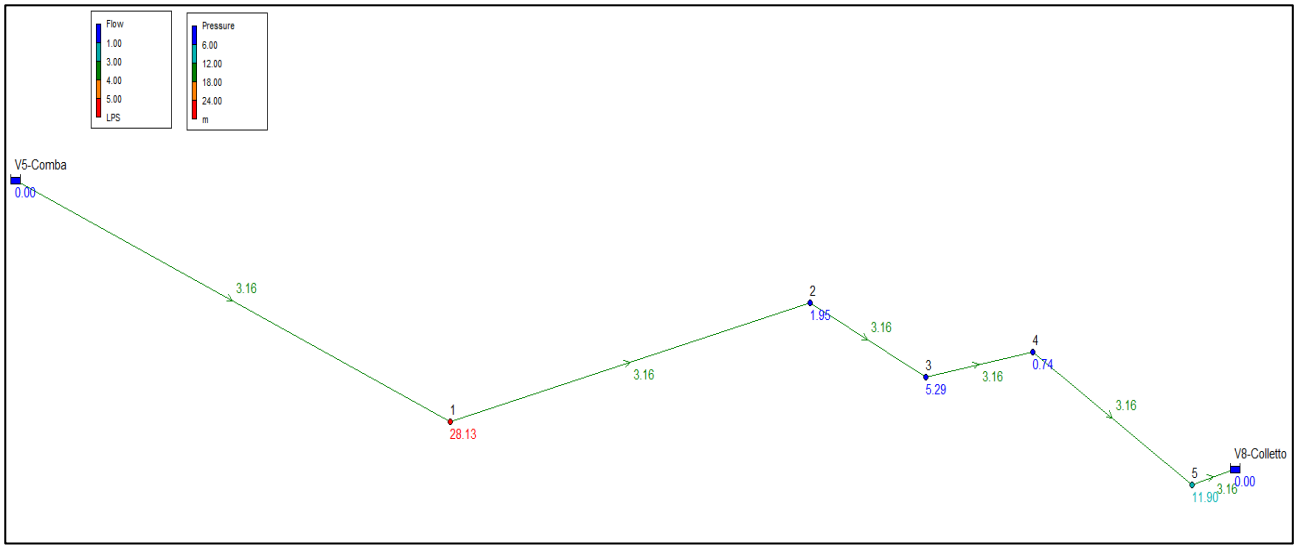

Figura 3 - Portate in condotta e pressioni ai nodi

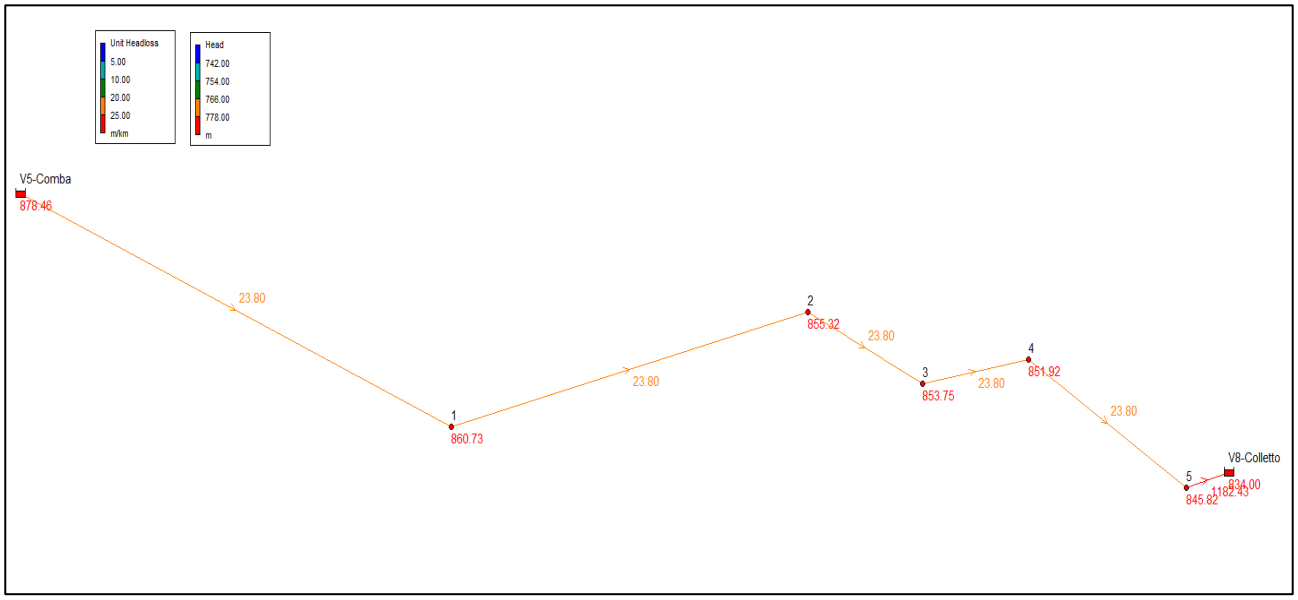

Figura 4 - Perdite di carico in m/km in condotta e carichi ai nodi

5.3 COLPO D'ARIETE

Di seguito viene calcolata la massima sovrappressione da colpo d'ariete per verificare l'eventuale necessità dell'installazione di organi di protezione dal colpo d'ariete.

5.3.1 Descrizione del modello di calcolo

I fenomeni di moto vario nelle condotte in pressione sono generati da una variazione di portata dovuta a manovre di un organo di regolazione, più o meno rapide o a una brusca interruzione della potenza motrice.

Per manovre di regolazione abbastanza rapide, si verifica un fenomeno comunemente noto con il nome di colpo d'ariete, durante il quale le grandezze caratteristiche della corrente liquida (pressione, velocità, portata) variano non solo nel tempo, ma anche lungo la tubazione. Per lo studio di tale fenomeno si deve considerare la compressibilità del liquido e la deformabilità della condotta.

Per manovre di regolazione molto lente o in presenza di efficaci dispositivi di attenuazione delle oscillazioni di carico, sono invece trascurabili le caratteristiche elastiche del liquido e della tubazione e il moto vario può essere trattato come un semplice fenomeno di oscillazione di massa, durante il quale la velocità e la portata della corrente, pur variando nel tempo, risultano in ogni istante costanti lungo l'intera condotta.

Il colpo d'ariete è dunque un fenomeno idraulico che si presenta in una condotta quando un flusso di liquido in movimento al suo interno viene alterato a seguito di chiusura di una valvola o, viceversa, quando una condotta chiusa e in pressione viene aperta repentinamente.

L'intensità del colpo e il valore della pressione massima dell'onda possono raggiungere valori di sovrappressione e depressione tali da alterare la statica della tubazione fino al sul collasso. L'aspetto più rilevante del fenomeno del colpo d'ariete è la determinazione delle massime sovrappressioni e depressioni che si ingenerano lungo la condotta: le prime per le maggiori sollecitazioni che tendono a dilatare la tubazione (trazione) e le seconde a decomprimerla per pressione interna al di sotto della pressione atmosferica, con conseguenti sforzi di compressione o d'instabilità elastica.

Le Norme tecniche sulle tubazioni, contenute nel D.M. 12.12.1985, fissano dei limiti alla massima sovrappressione da colpo d'ariete ammissibile nelle tubazioni in pressione in funzione della pressione idrostatica: se dai calcoli si ricavano sovrappressioni maggiori, è obbligatorio prevedere l'installazione di dispositivi di attenuazione.

(***) TABELLA III

PRESSIONE IN kgf/cm²

Pressione idrostatica fino a	6	6 ÷ 10	10 ÷ 20	20 ÷ 30
Sovrappressione di colpo d'ariete	3	3 ÷ 4	4 ÷ 5	5 ÷ 6

Negli impianti di sollevamento la condizione più critica da verificare è quella di una caduta improvvisa dell'energia elettrica (blackout) fornita alle pompe a cui segue un brusco arresto della pompa in un tempo pressoché istantaneo, con massime oscillazioni di pressione che possono raggiungere valori assai elevati necessitando di dispositivi di attenuazione esterni.

Lo studio del moto vario, che in questo caso ha origine con una fase di depressione, risulta molto complesso; la manovra di chiusura della girante della pompa non è istantanea, poiché questa, una volta che viene a mancare l'alimentazione elettrica, si arresta in un certo tempo, durante il quale il moto del fluido va decrescendo fino ad arrestarsi.

Una teoria molto semplice per calcolare le massime oscillazioni di pressione negli impianti di sollevamento privi di dispositivi di attenuazione è quella di Mendiluce, che da una serie di osservazioni su impianti sperimentali di diverse caratteristiche, è pervenuto alla seguente espressione del tempo T_c (in secondi) durante il quale la pompa continua l'erogazione (durata della manovra):

$$T_C = C + k\frac{V_0 * L}{H_m * g}$$

dove H_m è la prevalenza manometrica della pompa nel funzionamento a regime e C e k sono due costanti. La costante C assume in funzione del rapporto H_m/L, i valori della seguente tabella:

H/L %	10	20	25	30	35	40
C	1	1	0,8	0,5	0,4	0

mentre la costante *k* dipende invece dalla sola lunghezza della condotta *L* ed è:

- K=1 per L>2000 m;
- K=2-0.0005L per L<=2000 m.

Trovato *Tc* si suppone che la portata Q e la velocità V decrescono fino ad annullarsi all'istante *Tc*. La durata della fase, ovvero il tempo che impiega l'onda di pressione a ritornare al punto iniziale è dato da:

$$\tau = \frac{2L}{a}$$

Dove *a* rappresenta la celerità, ovvero la velocità con cui si propaga la perturbazione ed è in funzione della comprimibilità del fluido trasportato e delle caratteristiche della condotta.

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{D\varepsilon}{sE}}}$$

Se il tempo di chiusura dell'otturatore $T_c < \tau$ si identifica come manovra brusca: l'onda di pressione si propaga in tutta la condotta e la lunghezza della condotta interessata dalla massima sovrappressione di colpo d'ariete risulta:

$$\Delta hmax = \frac{aV}{g}$$

Se il tempo di chiusura dell'otturatore $T_c > \tau$ si è nel caso di manovra lenta l'onda di pressione massima interessa solo la sezione iniziale, mentre dopo la chiusura si avranno alternativamente depressioni e sovrappressioni dati dalla formula di Micheaud ed uguali a:

$$\Delta hmax = \frac{aV}{g\theta}$$

dove θ rappresenta il tempo di chiusura in fasi ($T_c = \theta\,\tau$):

$$\theta = \frac{T_c}{\frac{2L}{a}}$$

$$\Delta hmax = \frac{2LV}{gT_c}$$

5.3.2 Calcolo e verifica della massima sovrappressione

Utilizzando le equazioni illustrate nel capitolo precedente si riportano i risultati ottenuti nella configurazione progettuale.

COLPO D'ARIETE

Caratteristiche della condotta		
Materiale condotta	PE100 - SDR 11 - PN16	

Modulo elastico della condotta	900	Mpa
Raggio (medio)	34,1	mm
Spessore	6,8	mm
Diametro interno	61,4	mm
Diametro esterno	75	mm

Portata Q	3,16	l/s
Velocità v	1,07	m/s
Prevalenza Hm (pompe)		m
Lunghezza condotta	1370	m
epsilon acqua	2000000000	N/m2
Tempo di chiusura		
H/L	0,00	%
C (pompe)	-	-
K	1,32	-
Tc	-	s
Celerità		
Celerità a	282,14	m/s
tao	9,71	s

Nel caso in esame, trattasi di una manovra brusca essendo $T_c < \tau$.

Calcolo della massima sovrappressione - CHIUSURA BRUSCA		
Tempo di chiusura in fasi Theta	9,71	s
Dh max	30,71	m
Dh max	3,00	bar

Essendo la pressione idrostatica pari al dislivello geodetico, ovvero 46 m che dalla tabella del D.M. 12.12.1985 corrisponde a un valore massimo ammissibile del colpo d'ariete di 6 kgf/cm^2, ovvero 60.00 m c.a., ergo circa 3 bar.

Visto che la sovrappressione calcolata risulta pari al valore massimo ammissibile previsto dal D.M. 12.12.1985, non si prevede l'installazione di organi di attenuazione del colpo d'ariete.

5.4 VERIFICA DELLA PRESSIONE NOMINALE DELLE TUBAZIONI IN PEAD

La massima pressione nominale viene definita, con riferimento al D.M.LL.PP. del 12/12/1985, come la somma tra la pressione di esercizio P_E (ovvero la somma tra la pressione in condizioni idrostatiche e la massima sovrappressione da colpo d'ariete) e la pressione equivalente P_0 (ovvero la pressione assiale che conferisce al tubo tensioni di trazione massime eguali a quelle determinate in base alle condizioni di carico esterne, come la natura ed altezza del rinterro, ai sovraccarichi statici e dinamici, alle variazioni termiche ed altre eventuali azioni comprese quelle sismiche):

$$P_n = P_E + P_o$$

Nel caso in esame, la massima pressione di esercizio si ha in condizioni idrostatiche nel punto di minimo del profilo altimetrico, dove la pressione è circa 4.6 bar.

$$P_E = P_{esercizio} + P_{ariete} = 4.6 + 3.00 = 7.6\ bar$$

Il valore della P_0, visto l'impiego previsto in area non carrabile e la sola presenza del carico dovuto al rinterro, viene considerato, in questa fase progettuale, come trascurabile.

Essendo il valore di P_n pari a 7.6 bar, la tubazione in PE100 PN16 DN75 mm è da considerarsi idonea allo scopo.

6. CONCLUSIONI

In conclusione, alla luce dei risultati esposti nella presente Relazione Idraulica, si è scelto di adottare una condotta in PE100 PN16 DN75 mm in grado di convogliare fino a 3.16 l/s che risultano sufficienti a soddisfare il fabbisogno del serbatoio Comba Ceresa.

Nei punti di massimo sono stati inoltre previsti i dispositivi di sfiato automatico.

7. ALLEGATO A – ALGORITMO DI ANALISI EPANET

Il programma *Epanet* effettua delle simulazioni numeriche al fine di calcolare le portate che transitano in ogni ramo della rete ed i carichi ai nodi. Le equazioni che devono essere soddisfatte sono:

- energia: esprime la relazione che intercorre tra le perdite di carico di due nodi collegati *i* e *j*, riportata in equazione (1.1) (1. 1). Vengono definite un numero di equazioni di energia pari al numero dei collegamenti tra i nodi.

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \qquad (1.\ 1)$$

  dove *H* è il carico al nodo, *h* la perdita di carico, *r* il coefficiente di resistenza ed *m* il coefficiente di perdita concentrata;

- continuità: esprime la continuità della portata ad ogni nodo della rete. Si definiscono un numero di equazioni di continuità, riportata in equazione (1.2), pari al numero di nodi presenti nella rete;

$$\sum_J Q_{ij} - D_i \qquad (1.\ 2)$$

  dove Q_{ij} rappresenta la portata in ingresso ed in uscita al nodo *i*, mentre con D_i si indica la portata prelevata (segno negativo) o immessa (segno positivo) allo stesso nodo della rete.

Essendo incognite le portate transitanti per ogni tubazione ed i carichi ai nodi, ed avendo a disposizione un'equazione per ogni condotta e per ogni nodo, il problema risulta determinato. Viene quindi scritto un sistema costituito da un numero di equazioni pari al numero di condotte e di nodi presenti nella rete. La complessità del problema è insita nell'elevato numero di equazioni da risolvere nel sistema. Epanet non fa altro che risolvere il sistema per ogni intervallo di tempo. Per risolverlo utilizza il metodo del gradiente, sviluppato da Todini e Pilati (1987). La soluzione tramite il metodo del gradiente prevede una stima iniziale della portata in ogni condotta che non soddisfi necessariamente l'equazione di continuità. Ad ogni iterazione del metodo, si trovano nuovi carichi ai nodi risolvendo l'equazione matriciale (1.3).

$$AH = F \qquad (1.\ 3)$$

dove A= alla matrice Jacobiana (NxN), H= vettore dei carichi nodali incogniti (Nx1), ed F= vettore dei termini noti (Nx1). Gli elementi presenti sulla diagonale della matrice Jacobiana sono:

$$A_{ii} = \sum_j p_{ij} \qquad (1.\ 4)$$

mentre i termini non nulli fuori dalla diagonale principale sono:

$$A_{ij} = -\,p_{ij} \qquad (1.\ 5)$$

dove p_{ij} è l'inverso della derivata delle perdite di carico distribuite che si verificano nel collegamento tra i nodi *i* e *j*. Per le tubazioni vale la seguente relazione:

$$p_{ij} = \frac{1}{nr|Q_{ij}|^{n-1} + 2m|Q_{ij}|} \qquad (1.\ 6)$$

Ogni termine al lato destro dell'equazione consiste nella portata non bilanciata al nodo più un fattore di correzione:

$$F_i = \left(\sum_j Q_{ij} - D_i\right) + \sum_j Y_{ij} + \sum_f p_{if} H_f \tag{1. 7}$$

dove l'ultimo termine tiene applicato ad ogni collegamento tra il nodo *i* ed il nodo a carico fissato *f*, pari ad H_f, mentre il fattore di correzione della portata y_{ij} vale:

$$y_{ij} = p_{ij}\left(r|Q_{ij}|^n + m|Q_{ij}|^2\right)\frac{Q_{ij}}{|Q_{ij}|} \tag{1. 8}$$

Dopo aver calcolato i nuovi carichi risolvendo la (1.3), si calcolano le nuove portate come in equazione:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - \left(y_{ij} - p_{ij}(H_i - H_j)\right) \tag{1. 9}$$

A questo punto se la somma del valore assoluto della variazione delle portate, rispetto alla variazione totale risulta maggiore di un valore di tolleranza, allora il programma ripete le iterazioni (1.3) e (1.9) fino a convergenza. Si noti come dopo la prima iterazione, al punto (1.9), venga sempre rispettata l'equazione di continuità nei nodi. Dopo aver trovato la soluzione, il programma avanza al prossimo step temporale, ricercando nuovi valori di domanda ai nodi e aggiornando le condizioni iniziali con la soluzione appena trovata. Successivamente viene nuovamente ricercata la soluzione fino a convergenza.

8. ALLEGATO B – NETWORK EPANET

```
[JUNCTIONS]
;ID                  Elev          Demand        Pattern
 1                   832.60        0                                    ;
 2                   853.37        0                                    ;
 3                   848.46        0                                    ;
 4                   851.18        0                                    ;
 5                   833.92        0                                    ;

[RESERVOIRS]
;ID                  Head          Pattern
 V5-Comba            878.46                            ;
 V8-Colletto         834                               ;

 [PIPES]

 ;ID       Node1     Node2     Length    Diameter  Roughness  MinorLoss  Status

  P5       V5-Comba  1         745       61.4      0.1        0          Open      ;

  P6       1         2         227       61.4      0.1        0          Open      ;

  P7       2         3         66        61.4      0.1        0          Open      ;

  P8       3         4         77        61.4      0.1        0          Open      ;

  P9       4         5         256       61.4      0.1        0          Open      ;
                     V8-
  P10      5         Colletto  10        61.4      0.1        200        Open      ;

 [OPTIONS]
 Units                LPS
 Headloss             D-W
 Specific Gravity     1
 Viscosity            1
 Trials               40
 Accuracy             0.001
 CHECKFREQ            2
 MAXCHECK             10
 DAMPLIMIT            0
 Unbalanced           Continue 10
 Pattern              1
 Demand Multiplier    1.0
 Emitter Exponent     0.5
 Quality              None mg/L
 Diffusivity          1
 Tolerance            0.01
```

9. ALLEGATO C – STATO DI PROGETTO

```
**********************************************************************
 *                            E P A N E T                           *
 *                    Hydraulic and Water Quality                   *
 *                    Analysis for Pipe Networks                    *
 *                          Version 2.2                             *
 **********************************************************************

 Input File: UM00077 - Stato di progetto.net

 Link - Node Table:
 ----------------------------------------------------------------------
 Link           Start          End                  Length  Diameter
 ID             Node           Node                      m        mm
 ----------------------------------------------------------------------
 P5             V5-Comba       1                       745      61.4
 P6             1              2                       227      61.4
 P7             2              3                        66      61.4
 P8             3              4                        77      61.4
 P9             4              5                       256      61.4
 P10            5              V8-Colletto              10      61.4


 Node Results
 ----------------------------------------------------------------------
 Node                 Demand      Head  Pressure   Quality
 ID                      LPS         m         m
 ----------------------------------------------------------------------
 1                      0.00    860.73     28.13      0.00
 2                      0.00    855.32      1.95      0.00
 3                      0.00    853.75      5.29      0.00
 4                      0.00    851.92      0.74      0.00
 5                      0.00    845.82     11.90      0.00
 V5-Comba              -3.16    878.46      0.00      0.00 Reservoir
 V8-Colletto            3.16    834.00      0.00      0.00 Reservoir

 Link Results
 ----------------------------------------------------------------------
 Link                   Flow  VelocityUnit Headloss    Status
 ID                      LPS       m/s      m/km
 ----------------------------------------------------------------------
 P5                     3.16      1.07     23.80      Open
 P6                     3.16      1.07     23.80      Open
 P7                     3.16      1.07     23.80      Open
 P8                     3.16      1.07     23.80      Open
 P9                     3.16      1.07     23.80      Open
 P10                    3.16      1.07   1182.43      Open
```