



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
 MESSA IN SICUREZZA DEL SISTEMA
 ACQUEDOTTISTICO DEL PESCHIERA PER
 L'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO
 DI ROMA CAPITALE E DELL'AREA METROPOLITANA
 IL COMMISSARIO STRAORDINARIO ING. PhD MASSIMO SESSA
 SUB COMMISSARIO ING. MASSIMO PATERNOSTRO

aceq
 acqua
 ACEA ATO 2 SPA



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
 Ing. PhD Alessia Delle Site

SUPPORTO AL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
 Dott. Avv. Vittorio Gennari
 Sig.ra Claudia Iacobelli
 Ing. Barnaba Paglia

aceq
 Ingegneria
 e servizi



ELABORATO
A246PDS R005 2
 COD. ATO2 ASI10607
 DATA **MAGGIO 2022** SCALA

Progetto di sicurezza e ammodernamento
 dell'approvvigionamento della città
 metropolitana di Roma
 "Messa in sicurezza e ammodernamento del sistema
 idrico del Peschiera",
 L.n.108/2021, ex DL n.77/2021 art. 44 Allegato IV

AGG. N.	DATA	NOTE	FIRMA
1	06/22	AGGIORNAMENTO ELABORATI UVP	
2	07/22	AGGIORNAMENTO ELABORATI CSLPP	
3			
4			
5			
6			

Sottoprogetto
CONDOTTA MONTE CASTELLONE – COLLE
S.ANGELO (VALMONTONE)
 (con il finanziamento dell'Unione europea – Next Generation EU)



PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
 CUP G91B2100006460002

TEAM DI PROGETTAZIONE

RESPONSABILE PROGETTAZIONE Hanno collaborato:
 Ing. Angelo Marchetti
CAPO PROGETTO Ing. Matteo Botticelli
 Ing. Viviana Angeloro Ing. Valentina Peragine
IDRAULICA
 Ing. Eugenio Benedini
GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA
 Geol. Stefano Tosti
GEOTECNICA E STRUTTURE
 Ing. Angelo Marchetti
ASPETTI AMBIENTALI
 Ing. PhD Nicoletta Stracqualursi
ATTIVITA' TECNICHE DI SUPPORTO
 Geom. Stefano Francisci
ATTIVITA' PATRIMONIALI
 Geom. Fabio Pompei

RELAZIONE IDRAULICA E SUGLI ASPETTI FUNZIONALI



RELAZIONE IDRAULICA

1	Premessa	2
2	Oggetto e scopo dell'intervento	3
3	Requisiti e criteri di progettazione idraulica	4
3.1	Requisiti e criteri del QE e del DIP	4
4	Configurazione attuale.....	7
5	Configurazione di progetto.....	9
5.1	Descrizione delle tratte del Progetto	9
6	Verifiche idrauliche	14
6.1	Modello matematico	14
6.2	Rivestimenti interni e scabrezze di progetto.....	16
6.3	Rivestimenti esterni, spessore delle tubazioni e giunzioni	18
6.4	Risultati	19
6.4.1	Condizioni odierne	19
6.4.2	Condizioni a seguito della realizzazione dell'intervento	23
6.4.3	Condizioni al completamento degli interventi previsti	27
6.4.4	Valutazioni con scabrezze incrementate.....	31
6.5	Definizione della portata di scarico	35
6.6	Dimensionamento e verifica degli sfiati	41
6.7	Verifiche di Moto Vario Elastico	43

1 Premessa

La presente Relazione Idraulica ed Idrologica, facente parte del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (PFTE) della Condotta Monte Castellone Colle S. Angelo, è redatta in conformità a quanto stabilito dal D.Lgs n.50 del 18 aprile 2016 e regolamenti attuativi collegati e nel rispetto delle Linee Guida per la redazione del PFTE approvate dal C.S.LL.PP. in data 29/07/2021, e di quanto già in precedenza indicato all'interno del Quadro Esigenziale (QE) e del successivo Documento di Indirizzo alla Progettazione (DIP), relativo al PFTE, atti di programmazione redatti e ratificati da Acea ATO2 per l'elaborazione del Progetto medesimo.

La presente Relazione Idraulica, corredata da simulazioni numeriche e studi specialistici, è tesa a riportare le conseguenti valutazioni in ordine alla fattibilità idraulica dell'opera e relativa descrizione e motivazione delle scelte tecniche effettuate

2 Oggetto e scopo dell'intervento

L'intervento si inquadra nei territori a Sud Est dell'ATO2 Lazio Centrale Roma e prevede la realizzazione di una nuova condotta DN 1000/600 che dall'arrivo della condotta DN 800 dell'Acquedotto N.A.S.C. al partitore M.te Castellone (posto nel Comune di S. Vito Romano) raggiunga il partitore Colle S. Angelo (posto in Comune di Valmontone).

Il tratto intermedio, del nuovo collegamento in questione, da Genazzano a Cave, è già stato realizzato nell'ambito dell'appalto "Nuova condotta DN 600/300 in variante da Genazzano a Cave".

Il presente progetto riguarda la realizzazione dei seguenti due tronchi di completamento: il tratto iniziale, dal partitore Monte Castellone del N.A.S.C. (Nuovo Acquedotto Simbrivio Castelli) all'allaccio alla partenza dell'esistente condotta DN 600; il tratto finale, dalla derivazione dall'anzidetta condotta DN 600 lungo la SP Prenestina presso Cave, al partitore di Colle S. Angelo in Comune di Valmontone. La lunghezza complessiva dei due tronchi è pari a circa. 18 km.

Con la realizzazione dell'intervento di progetto, sarà possibile alimentare sia Cave che Genazzano dal N.A.S.C., abbandonando la vecchia tratta Olevano – Genazzano – Cave del V.A.S., soggetta a frequenti disservizi ed inoltre con la realizzazione del successivo tronco da Cave al partitore Colle S. Angelo (Comune di Valmontone) e la sua connessione alla tratta tra i partitori I Colli e Colle Illirio, sarà disponibile una seconda linea di alimentazione verso i comuni dei Monti Lepini, aumentando l'affidabilità di esercizio di tutto il sistema acquedottistico.

3 Requisiti e criteri di progettazione idraulica

3.1 Requisiti e criteri del QE e del DIP

La presente Relazione Idraulica è stata redatta in conformità e sulla base dei criteri e requisiti indicati all'interno del Quadro Esigenziale (QE) e del Documento di Indirizzo alla Progettazione (DIP), relativo al PFTE, redatti da Acea ATO2.

In ottemperanza a tali documenti e relativamente alle condizioni idrauliche, l'opera in progetto risponde ai criteri e requisiti di seguito sinteticamente riportati.

Relativamente agli obiettivi generali ai quali l'opera in progetto risponde, alle leggi e alle buone regole in materia di progettazione, e alle specifiche esigenze qualitative e quantitative che riguardano il carattere idraulico, gestionale, manutentivo e igienico-sanitario:

i. Aspetti idraulici

- le velocità limite rispettate nelle condotte sono poste indicativamente pari a: velocità massime = $2 \div 3$ m/s per evitare eccesso di vibrazioni, invecchiamento rapido della condotta e sovrappressioni di colpo d'ariete troppo elevate in caso di fenomeni transitori (nel caso di funzionamento in pressione); velocità minime = $0,4 \div 0,5$ m/s per evitare tempi di permanenza in acquedotto troppo lunghi della risorsa;
- è previsto il posizionamento lungo l'opera la strumentazione necessaria ad effettuare le misure idrauliche in diversi nodi, idonei a garantire il corretto funzionamento degli strumenti stessi, e adeguatamente accessibili;
- realizzazione di manufatti di regolazione e altri organi di controllo idonei al corretto funzionamento della linea.

ii. Aspetti gestionali e manutentivi

- Le scelte progettuali sono state effettuate con l'obiettivo di minimizzare le interferenze con l'acquedotto esistente al fine di garantire continuità all'approvvigionamento idropotabile sia in fase di esecuzione, che in fase di esercizio della nuova infrastruttura;
- per garantire la possibilità di effettuare ispezioni, manutenzioni ed interventi di riparazione, sono state operate scelte volte a garantire l'accessibilità ai principali manufatti dell'acquedotto;
- progettualità di una pronta gestione delle emergenze e dei fuori servizio, sia in fase di realizzazione (fase di cantiere), che in fase di gestione dell'opera stessa;

iii. Aspetti igienico sanitari

- particolare attenzione viene posta all'impermeabilizzazione delle condotte per la protezione da acque di percolazione e/o infiltrazione superficiale;
- utilizzo di materiali a contatto con la risorsa idropotabile conformi con le prescrizioni del D.M. 6 aprile 2004, n. 174 ed eventuali sistemi di protezione della risorsa idrica;
- idonei tempi di permanenza in acquedotto, al fine di garantire il mantenimento della qualità della risorsa idrica trasportata.

Tabella 1 Sintesi dei criteri multidisciplinari e dei requisiti progettuali indicati all'interno del QE e del DIP ai quali risponde l'opera in progetto del Nuovo Acquedotto Marcio

CATEGORIA REQUISITO	ULTERIORI INDICAZIONI O CRITERI PROGETTUALI
Idraulici	Velocità massima e minima (pendenze, sezioni, stato invecchiamento condotte)
	Realizzazione tratti idonei per le misure idrauliche (portate, livelli)
	Possibilità di scarico del nuovo sistema acquedottistico

Gestionali e Manutentivi	Sistemi e procedure di sicurezza degli operatori per l'ispezione e manutenzione
	Flessibilità gestionale dell'opera

Igienico Sanitari	Tempo di permanenza idraulica nuovo acquedotto
	Utilizzo di materiali compatibili con l'uso idropotabile e la protezione della risorsa
	Sistemi di procedure e sicurezza per la protezione della risorsa idrica

4 Configurazione attuale

Il Nuovo Acquedotto Simbrivio Castelli (N.A.S.C.) ha origine in prossimità dei principali gruppi sorgentizi che lo alimentano, le sorgenti Pantano, Cornetto e Carpineto in Comune di Vallepietra.

Il primo tratto dell'acquedotto, lungo circa 14 km e costituito da una condotta DN 700/800 in acciaio, parte dall'Edificio Riunione N.A.S.C. delle sorgenti a Vallepietra, manufatto che raccoglie i contributi dei gruppi sorgentizi sopra citati e raggiunge un serbatoio di disconnessione, di recente realizzazione, ad Altipiani di Arcinazzo (in Comune Trevi nel Lazio), dove confluiscono anche le acque delle sorgenti del Ceraso e del Pertuso, contributi che vengono entrambi pompati tramite l'impianto di sollevamento del Ceraso. Precedentemente queste acque venivano addotte a quote inferiori verso un manufatto denominato Galleria Idraulica, alla fine della quale partiva la condotta principale DN 800 del N.A.S.C.

Il Serbatoio di Altipiani di Arcinazzo dispone di una capacità di accumulo (8.000 m³) utile per consentire la continuità di servizio dell'acquedotto a valle, in caso di temporanea interruzione del sollevamento del Ceraso. Inoltre, presenta un posizionamento a quota circa 19 m più alta della sottostante Galleria Idraulica (livello idrico massimo di esercizio 867,61 m s.l.m. rispetto al livello idrico 848 m s.l.m. della Galleria) aspetto che ha reso possibile l'incremento della portata addotta dall'acquedotto DN 800 a valle (oggi circa 840 l/s, ca. 120 l/s in più rispetto agli originari 720 l/s) a cui potranno aggiungersi fino a +130 l/s a completamento di tutti interventi previsti ed in base alle disponibilità.

Partendo dal Serbatoio di Altipiani di Arcinazzo e con un percorso di circa 33 km, l'asta principale DN 800/700 del N.A.S.C. alimenta vari centri, tra cui Arcinazzo, Affile, S. Vito Romano e Capranica Prenestina, passando, tra gli altri, per i partitori in pressione di "Monte Calvario" nel Comune di Rocca S. Stefano, "Monte Castellone" nel Comune di S. Vito Romano ed "I Colli" nel Comune di Castel San Pietro.

In quest'ultimo manufatto la portata in arrivo, pari a circa 675 l/s, tolte le derivazioni minori, si ripartisce a valle tra due rami principali: il primo, del diametro DN 600, diretto verso i Castelli Romani (455 l/s); l'altro, "I Colli-Colle Illirio" del diametro DN 500/400, si dirige a sud (130 l/s) e raggiunge Carpineto Romano, annoverando tra i maggiori comuni alimentati Valmontone, Artena, Rocca Massima, Cori e Segni.

Dal DN 800 del N.A.S.C., all'altezza di Affile, si dirama una condotta DN 200 (by-pass) che si collega, tra il Partitore di Roiate e quello di Olevano, al ramo destro del V.A.S. ed al quale fornisce una portata di ca. 51 l/s a favore di Olevano Romano, Genazzano e Cave.

L'approvvigionamento idrico dei comuni di Genazzano e Cave è attualmente svolto dal ramo destro del V.A.S. che, dal Partitore a pelo libero di Villa Parodi, posto a quota 911 m, serve in derivazione Altipiani, Arcinazzo, Roiate, Olevano Romano, Bellegra (in parte) e quindi Genazzano, Rocca di Cave e Cave, terminando al partitore di Cave.

Come detto, la portata del ramo destro del V.A.S. viene integrata dal N.A.S.C. per mezzo del by-pass di Roiate; la tratta Olevano – Genazzano – Cave del V.A.S. è tuttavia fonte di continui disservizi: per eliminare il transito sul versante in frana a valle di Olevano, anni fa il Consorzio per l'Acquedotto del Simbrivio dovette realizzare una variante a sud-est; mentre per abbandonare la vecchia condotta DN 325 da Genazzano a Cave ed il partitore di Cave, impianti montani di difficoltoso accesso, è stata di recente realizzata la citata adduttrice DN 500/600/300 da Genazzano a Cave, che transita a valle lungo la viabilità esistente.

Nel frattempo, si sono aggravate le condizioni di stabilità dell'asta principale DN 700 del N.A.S.C. a valle di Monte Castellone, nel tratto nel Comune di S. Vito Romano in cui la condotta attraversa zone e versanti soggetti a fenomeni franosi attivi.

5 Configurazione di progetto

Nel progetto è prevista la realizzazione di una nuova linea di adduzione dal partitore Monte Castellone (posto nel Comune di S. Vito Romano) al partitore Colle S. Angelo (posto in Comune di Valmontone) nell'ambito del sistema acquedottistico Simbrivio.

In particolare, il presente progetto riguarda la realizzazione dei seguenti due tronchi di completamento:

- il tratto di monte, dal partitore Monte Castellone del N.A.S.C. (Nuovo Acquedotto Simbrivio Castelli) all'allaccio dell'esistente condotta DN 600;
- il tratto di valle, dalla derivazione dell'anzidetta condotta esistente DN 500 lungo la SP Prenestina presso Cave, al partitore di Colle S. Angelo in Comune di Valmontone.

Planimetria e profilo del tratto di monte sono riportate alle *Tavole A246PDS D010 e A246PDS D011*, mentre la planimetria e il profilo del tratto di valle è rappresentato nelle *Tavole da A246PDS D016 a A246PDS D017*.

La lunghezza complessiva dei due tronchi è pari a circa. 18 km.

5.1 Descrizione delle tratte del Progetto

Tratto di monte: collegamento da M.te Castellone al partitore di Genazzano

La condotta di progetto DN 1000 si collega all'esistente DN800 del N.A.S.C. al partitore di Monte Castellone, ubicato all'estremità nord-orientale del territorio del Comune di S. Vito Romano, presso il confine con il territorio del Comune di Bellegra.

Il partitore esistente di Monte Castellone (*Tavola A246PDS D012*) è oggi costituito da un manufatto parzialmente interrato in cui è presente uno stacco DN150 verso il partitore Gerano.

Nel manufatto esistente è oggi presente una riduzione di diametro della condotta del N.A.S.C., che passa da DN800 a DN700.

Nella configurazione di progetto (*Tavola A246PDS D012*) è prevista la realizzazione di un nuovo manufatto immediatamente a monte dell'esistente nel quale viene realizzato lo stacco della condotta di progetto.

Dall'esistente DN800 del N.A.S.C. parte una condotta DN800 di nuova realizzazione, che all'esterno del manufatto diventa un DN1000. Sia sul DN800 esistente, che nella condotta di nuova realizzazione è prevista l'installazione di valvole a farfalla DN800 motorizzate.

Nella configurazione di progetto lo stacco per Gerano è spostato nel manufatto di nuova realizzazione.

Il tracciato previsto, dopo un breve tratto in Comune di S. Vito Romano, devia verso Ovest nel Comune di Pisoniano.

In tale area la condotta interseca una condotta DN90 in acciaio diretta verso Pisoniano. Tale condotta stacca dalla linea principale DN700 del N.A.S.C. poco a valle del citato manufatto esistente a Monte Castellone.

In prossimità dell'intersezione viene realizzato un nuovo manufatto, all'interno del quale sono realizzati gli organi necessari ad alimentare la condotta DN90 per Pisoniano anche dalla nuova condotta di Progetto (*Tav. A246 PDS D025*) e a consentire il regolare sfiato e scarico delle condotte confluenti al nodo.

La condotta di progetto prosegue in direzione sud, passando nuovamente in Comune di S. Vito Romano, e successivamente nel territorio del Comune di Capranica Prenestina dove si ricollega all'esistente N.A.S.C. DN 700 in prossimità della località Vadarna.

In tale località è prevista la realizzazione di un partitore in pressione da cui si dirama la seconda parte di progetto del tratto di monte, che è costituita da una condotta DN600 sempre in acciaio.

Nel partitore di località Vadarna (Tav. A246 PDS D014) è presente la riduzione di diametro sulla condotta di progetto, che passa da un DN1000 a un DN600 e un ulteriore DN600 di collegamento con il DN700 del N.A.S.C.. Entrambe le condotte DN600 sono dotate di valvola di sezionamento e sfiato.

Il tracciato di progetto di questa seconda parte del tratto di monte, rientrando nel Comune di S. Vito Romano, passa successivamente in Comune di Genazzano fino ad allacciarsi (Tav. A246 PDS D015), in località La Valle, al tratto iniziale della condotta esistente DN 600 Genazzano Cave.

Tratto di Valle: Condotta DN 600 da Cave a Colle S. Angelo (Valmontone)

Il tratto di valle ha inizio in un partitore di progetto localizzato in Via Madonna del Campo (ex SS 155 di Fiuggi) nel comune di Cave (Tav. A246 PDS D020), collegandosi al tratto finale del DN 600 della condotta Genazzano-Cave subito a valle del cimitero comunale.

Quindi la condotta di progetto scende in campagna, in direzione sud-ovest, per attraversare la Valle ed il Fosso Cauzza in subalveo, provvedendo al rivestimento del fondo e delle sponde con materassi in rete metallica riempiti con ciottoli e pietrame.

Risalito il versante sinistro della valle del Fosso Cauzza, il tracciato di progetto prosegue in campagna, costeggiando in direzione sud-est Via delle Noci ed a seguire il ciglio dell'anzidetto versante.

Successivamente il tracciato attraversa ampie ma profonde incisioni, quali la valle del Fosso di Cave, la Valle dei Pischeri e la valle degli Archi; per il superamento di tali versanti particolarmente acclivi, è stato previsto l'approccio lungo la linea di massima pendenza, garantendo la stabilità al terreno di rinterro della trincea di posa lungo detti versanti scoscesi mediante la realizzazione di idonee tecniche di ingegneria naturalistiche.

I corpi idrici del Fosso di Cave e del Fosso Savo verranno attraversati in subalveo prevedendo il rivestimento dell'alveo con materassi di tipo reno.

Anche il versante di risalita della Valle degli Archi si presenta particolarmente scosceso e verrà superato adottando gli accorgimenti previsti nelle analoghe precedenti situazioni.

In corrispondenza dell'attraversamento della SP 55a è previsto la derivazione di una tubazione DN 300 di collegamento all'anzidetta adduttrice DN 500 "I Colli - Colle Illirio", che si innesta al DN 500 in un manufatto seminterrato realizzato fuori strada, per permettere l'alloggiamento delle saracinesche di sezionamento dei due rami del DN 500 diretti verso Palestrina e verso Valmontone (Tav. A246 PDS D021).

Sull'anzidetto DN 300 di collegamento è previsto un manufatto di sezionamento con sfiato, ubicato presso la derivazione dal DN 600 di progetto, ed un secondo manufatto per l'installazione del misuratore della portata derivata (Tav. A246 PDS D021).

Superata l'intersezione con la SP 55a Pedemontana II, il tracciato di progetto si affianca a quello della vecchia tubazione DN 300 dell'acquedotto V.A.S. che da Cave proseguiva verso Velletri, risalendo il versante est di Colle Pereto che si presenta particolarmente scosceso e verrà superato adottando gli accorgimenti previsti nelle analoghe precedenti situazioni.

Dalla condotta di progetto è prevista una ulteriore derivazione per consentire l'alimentazione, direttamente dalle nuove opere, del C.I. di Colle Ventrano.

In prossimità dell'intersezione con Via Colle Ventrano viene realizzato un manufatto nel quale è presente uno stacco di una condotta DN125 in acciaio, sezionabile con apposita saracinesca. La condotta DN125 viene posata con scavo a cielo aperto su Via Colle Ventrano, e termina in un secondo manufatto che consente il collegamento con l'esistente tubazione DN 300 dell'acquedotto V.A.S., poco a monte del manufatto partitore esistente di ingresso al C.I. di Colle Ventrano (Tav. A246 PDS D026).

La condotta di progetto prosegue poi verso valle e termina, all'esterno della parete ovest del partitore esistente Colle S. Angelo (Tav. A246 PDS D022), con un piatto cieco montato sulla sua testata interrata; è previsto un manufatto seminterrato che

alloggerà: la saracinesca di sezionamento finale del DN 600 di progetto, il suo bypass di emergenza DN 100, nonché la derivazione di una tubazione DN 100 di collegamento alla tubazione DN 300 che attualmente alimenta il Partitore Colle S. Angelo dall'adduttrice DN 400 "I Colli - Colle Illirio".

Alla partenza di detta tubazione DN 100 di collegamento è prevista una saracinesca di sezionamento ed una apparecchiatura di misura della portata, poste all'interno dello stesso manufatto finale del DN 600 di progetto.

6 Verifiche idrauliche

6.1 Modello matematico

Per la verifica del corretto funzionamento idraulico delle nuove condotte di progetto, è stato utilizzato il software "InfoWorks WS Pro", sviluppato dalla Innowyze Usa.

All'interno del Software la rete viene schematizzata come un insieme di elementi lineari (condotte, pompe, valvole) e di elementi puntuali (nodi, serbatoi), ai quali possono essere associate tramite degli elementi di tipo "control" delle leggi di funzionamento durante la simulazione. Ai nodi vengono associate delle domande, in termini di portata, che può anche essere variabile nel tempo secondo un assegnato pattern. In InfoWorks WS Pro le condotte sono rappresentate tramite:

- Due nodi di estremità ("i" e "j");
- Lunghezza, L (m);
- Diametro interno, D (mm);
- Coefficiente di attrito λ ;
- Somma delle perdite di carico concentrate ζ

Il coefficiente di attrito viene utilizzato per calcolare le perdite di carico lungo la condotta. InfoWorks durante la simulazione calcola le perdite di carico con la formula di Darcy - Weisbach, espressa nella forma seguente:

$$\Delta H = H_j - H_i = \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right) \frac{|Q|Q}{2gA^2}$$

Dove A è l'area della condotta e Q assume segno positivo o negativo a seconda che H_j sia maggiore o minore di H_i .

Sebbene il calcolo venga svolto con l'equazione di Darcy - Weisbach, il software permette di fornire come input per il calcolo delle perdite di carico distribuite lungo la condotta nelle tre seguenti formulazioni:

- Darcy - Weisbach, λ ;

- Hazen Williams, C;
- Colebrook White, ε (mm).

Negli ultimi due casi poi nel software vengono utilizzate delle relazioni di letteratura per determinare λ da utilizzare nella relazione di Darcy – Weisbach. Nel caso presente si è scelto di fornire come dato di input il valore di scabrezza assoluta ε , calcolando così il coefficiente di attrito di Darcy – Weisbach tramite la formulazione di Colebrook White, rappresentabile graficamente con il Diagramma di Moody.

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

Abaco di Moody

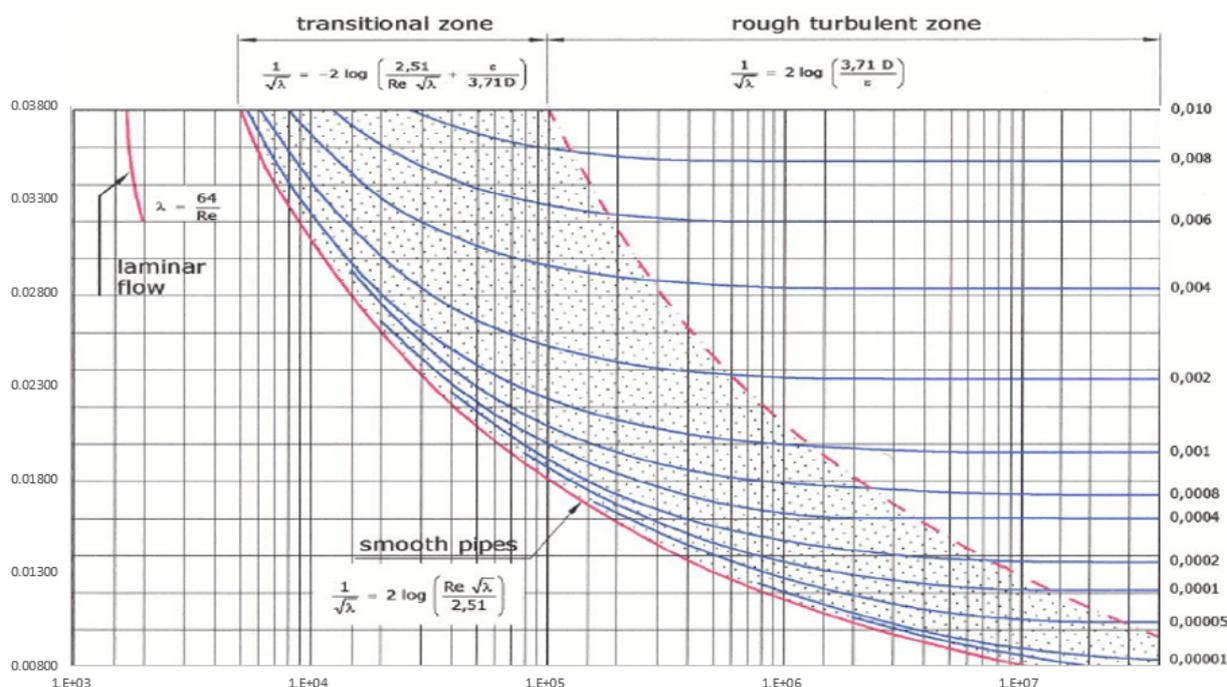


Figura 1 – Abaco di Moody

Nella relazione sopra esposta, Re è il numero di Reynolds, definito come segue:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu}$$

D [m]: diametro del tubo

V [m/s]: velocità media della corrente

ρ [kg/m³]: densità del fluido

μ [kg/m s]: viscosità dinamica del fluido

ν [m²/s]: viscosità cinematica del fluido

Alle perdite di carico distribuite vanno aggiunte le perdite di carico concentrate, ΔH [m], che nel caso di moto uniforme nelle condotte in pressione vengono calcolate con la formula:

$$\Delta H = K \frac{v^2}{2g}$$

nella quale il coefficiente di perdita concentrata K dipende dalla contrazione della vena che si verifica in prossimità delle eventuali singolarità della condotta (imbocchi, sbocchi, allargamenti e restringimenti, passaggi di sezione, confluenze e derivazioni, curve, valvole).

Nel caso in esame sono stati adottati i seguenti coefficienti di perdita concentrata K :

- Imbocco delle condotte in partenza dalle vasche: $K = 0.5$;
- Sbocco delle condotte nelle vasche: $K = 1$;
- Valvole presenti lungo il tracciato: $K = 0.3$.

6.2 Rivestimenti interni e scabrezze di progetto

Come descritto nei precedenti capitoli l'intero intervento di progetto prevede la posa di tubazioni in acciaio di diametro variabile DN1000-DN600 con funzionamento in pressione.

Al fine di aumentare la conducibilità idraulica e la durabilità nel tempo si prevede di rivestire internamente le condotte di progetto con resina epossidica. Per i rivestimenti in resine epossidiche in letteratura vengono infatti indicati valori che vanno da 0.05

mm a 0.15 mm (fonte "Costruzioni Idrauliche" a cura del Prof. Ing. Leopardi), in relazione alle condizioni di utilizzo delle condotte.

In termini di scabrezze assolute quindi, la scelta di tale rivestimento interno si traduce in un valore di $\varepsilon=0,05$ mm in condizione di "condotte nuove".

Per lo svolgimento delle verifiche idrauliche descritte nel successivo capitolo, in via cautelativa nei confronti di impreviste riduzioni della capacità di deflusso superiori a quelle già preventivate, sono state effettuate delle considerazioni progettuali con parametri di scabrezza peggiorativi.

Lungo tutto il tratto di progetto della nuova tratta di acquedotto è stata condotta una verifica utilizzando un valore $\varepsilon=0,4$ mm.

Tale valore risulta essere cautelativo rispetto a quelli di letteratura per condotte in acciaio rivestite internamente con materiale non degradabile, e rappresenta quindi uno stato di avanzata usura delle condotte in cui il rivestimento interno in resina epossidica risulta depauperato.

6.3 Rivestimenti esterni, spessore delle tubazioni e giunzioni

Per le condotte di progetto, sia il DN1000 che il DN600 è prevista l'adozione di tubazioni in acciaio S275 aventi spessore pari a 17.5 mm.

Stante l'elevato valore delle pressioni idrostatiche massime, da Monte Castellone al partitore di località Vadarna si ricorrerà a condotte e organi PN64. Per le tratte a valle di tale nodo si arriverà invece a organi PN100.

Il dimensionamento statico delle condotte in acciaio in progetto è riportato all'interno del capitolo 11 dell'Elaborato A246 PDS R010 – Calcoli preliminari delle strutture.

Le condotte verranno rivestite esternamente con materiali poliuretanici, conformi alle norme di settore e di tipologia idonea a garantire la protezione passiva della condotta rispetto al fenomeno della corrosione.

Per le condotte è previsto il ricorso a giunzioni per saldatura testa a testa, con preparazione delle estremità dei tubi e dei raccordi conformi alle norme di settore. A valle della saldatura dei giunti è inoltre previsto il ripristino del rivestimento esterno in prossimità della giunzione. Le giunzioni flangiate, previste in alcuni pezzi speciali previsti all'interno dei manufatti, saranno dotate di idonee guarnizioni.

Per la tutela della condotta nei confronti della corrosione è inoltre previsto il ricorso anche a protezione di tipo attivo, come riportato all'interno del paragrafo 1.6.9 dell'Elaborato A246 PDS R012 – Relazione Elettrica.

6.4 Risultati

Di seguito i risultati delle verifiche idrauliche nelle condizioni ante e post Operam, espressi in termine di carico ai principali nodi del sistema dell'Acquedotto del Simbrivio.

Relativamente alle condizioni Post Operam, sono stati valutati due scenari. Il primo prevede la realizzazione degli interventi di progetto e l'adduzione delle portate che oggi transitano nel sistema.

Il secondo scenario invece considera il completamento degli interventi previsti per l'intero sistema Simbrivio. Con il nuovo assetto infatti sarà infatti possibile soddisfare l'incremento di domanda previsto nei Castelli Romani pari a circa 130 l/s. Per fare questo è prevista la realizzazione di una seconda adduttrice DN600, che dal nodo di Colle S. Angelo arriva al partitore Quota 500.

6.4.1 Condizioni odierne

Il sistema acquedottistico Simbrivio-Doganella serve 53 Comuni e 3 Consorzi, oltre ad 8 Comuni dell'ex Consorzio Doganella per una popolazione complessivamente servita pari a 543.000 residenti (che si prevede possano arrivare a 570.000 al 2050).

Gli Acquedotti del Simbrivio sono articolati su 2 linee principali e distinte con sviluppo complessivo pari a circa 300 Km: il Vecchio Acquedotto del Simbrivio (V.A.S.) ed il Nuovo Acquedotto Simbrivio Castelli (N.A.S.C.).

Le due linee oggi sono interconnesse solo in un punto, che oggi consente il trasferimento di circa 50 l/s dalla linea principale del N.A.S.C. e il V.A.S., il cui funzionamento viene regolato tramite una valvola a flusso avviato installato sulla condotta del V.A.S. a monte del by-pass stesso.

Il punto di connessione fra NASC e VAS citato è costituito da una condotta DN200 che collega il partitore Santissima Trinità con il partitore Roiate Bypass, a monte dell'abitato di Olevano Romano.

Fatta eccezione per tale by-pass, il sistema non dispone oggi di condotte di adeguato diametro che formano delle maglie nel sistema di adduzione del Simbrivio.

In questa condizione qualsiasi fuori servizio sulla linea principale del sistema produce un'interruzione del transito della risorsa idrica verso le aree a valle del punto di interruzione, mentre un sistema acquedottistico dotato di maglie chiuse, in caso di messa fuori esercizio di un nodo, consente di ricorrere a direzioni alternative di alimentazione.

In tal senso una nuova condotta dal partitore Monte Castellone fino a Colle S. Angelo consente, già con la sola realizzazione dell'intervento, di dotare il sistema di due importanti maglie di capacità idonea a far fronte a eventuali interruzioni del flusso idrico sulla condotta esistente, in aree per altro caratterizzate dalla presenza di instabilità geologiche.

Le caratteristiche odierne del sistema del Simbrivio, non dotato di maglie di capacità di trasporto importante, obbligano inoltre ad alimentare alcuni centri abitati, come i comuni di Genazzano e Cave, interamente dalle condotte del VAS, più vetuste e meno affidabili rispetto alle condotte del N.A.S.C..

La realizzazione della nuova condotta consente di intervenire anche rispetto a tale situazione. Le nuove opere, infatti, permetteranno di alimentare sia Genazzano che Cave dalla nuova linea e quindi anche dal N.A.S.C., con conseguente aumento della robustezza del sistema.

Oltre a tale aspetto, nella condizione odierna la linea principale del sistema N.A.S.C., che oggi ha una portata media di circa 830 l/s, si trova a funzionare in alcune condizioni quasi al massimo della propria capacità di trasporto. Nelle aree a valle dell'intervento, infatti, alcuni dei principali partitori esistenti oggi sono soggetti a pressioni anche inferiori ai 10m. Il partitore "I Colli" ad esempio, che si trova lungo l'adduzione principale, circa 12 km più a valle del nodo di partenza del presente intervento, oggi presenta una pressione di funzionamento vicina ai 2m.

La realizzazione della nuova condotta da Monte Castellone a Colle S. Angelo consente di aumentare il carico idraulico in tali nodi. In questo modo, con il completamento

degli interventi previsti in futuro sul sistema si disporrà anche di una maggior capacità di trasferimento verso le aree dei Castelli Romani, in particolare con la realizzazione di una seconda adduttrice che da Colle S. Angelo collega al partitore esistente Quota 500, nel comune di Lariano in prossimità con il confine con Velletri.

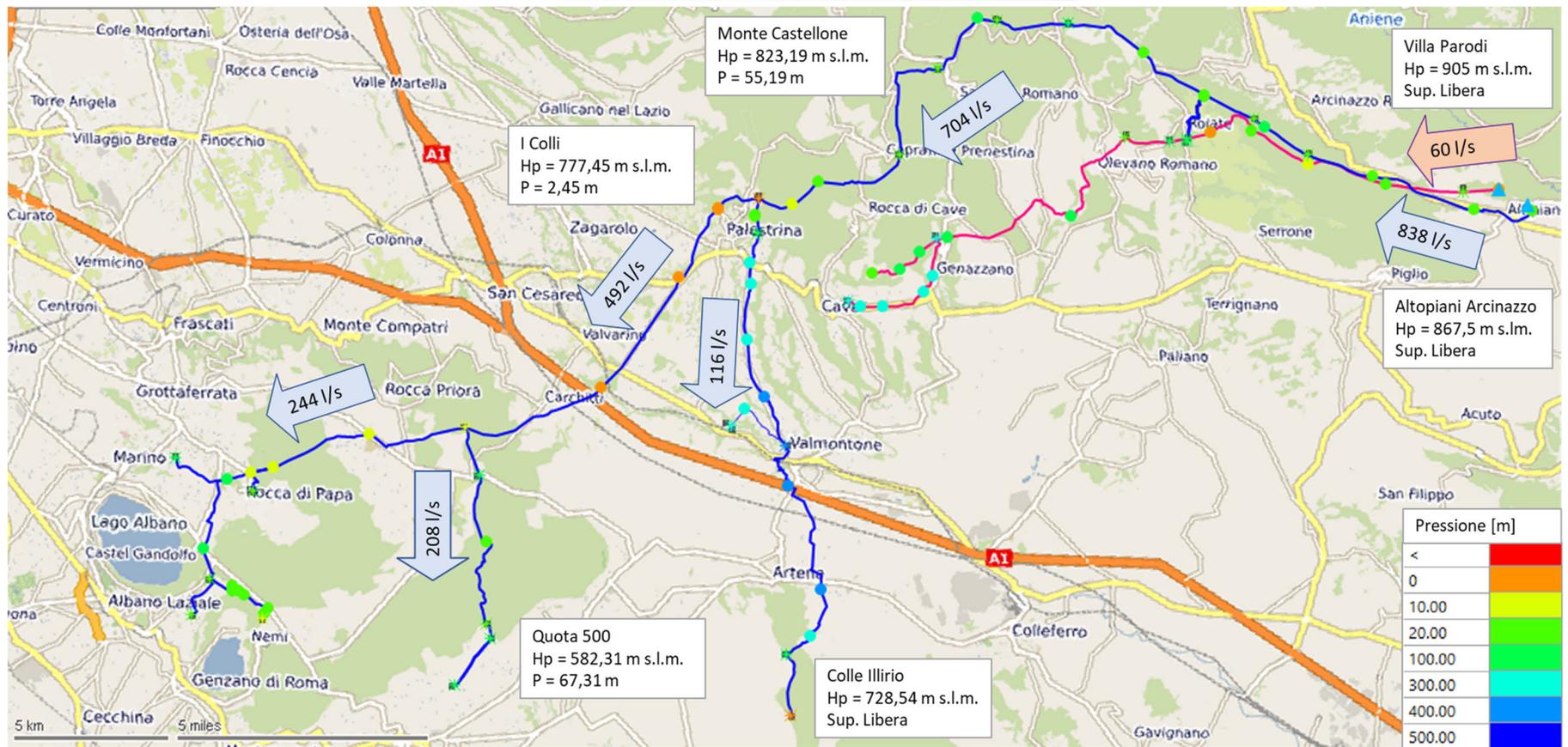


Figura 2 – Risultati delle verifiche idrauliche – condizioni odierne

6.4.2 Condizioni a seguito della realizzazione dell'intervento

L'inserimento delle nuove condotte permette di servire parte delle aree a valle del Partitore di Monte Castellone direttamente dalla nuova linea.

Viene ottimizzato il funzionamento idraulico del sistema, grazie a una ripartizione delle portate richieste dai centri abitati serviti in un numero maggiore di linee. L'alimentazione di alcuni comuni, oggi serviti quasi in totalità dal V.A.S., è resa possibile anche dal N.A.S.C. con l'inserimento delle condotte di progetto.

La condotta di progetto alimenta inoltre la condotta "I Colli -Colle Illirio" (Tav. A246 PDS D021), oggi alimentata dal N.A.S.C. con la derivazione presente nel partitore I Colli.

Questo collegamento di fatto chiude una maglia tra il nuovo partitore in località Vadarna (Tav. A246 PDS D014), il manufatto di collegamento alla condotta Genazzano - Cave (Tav. A246 PDS D015), il manufatto di partenza da Cave (Tav. A246 PDS D020), il manufatto di collegamento alla condotta DN 500 "I Colli - Colle Illirio" (Tav. A246 PDS D021) e il partitore esistente I Colli.

Nelle condizioni verificate la condotta "I Colli - Colle Illirio" viene alimentate dalle opere di progetto. C'è quindi un'inversione del flusso dal partitore I Colli al collegamento con le nuove opere.

Questa modifica delle modalità di funzionamento consente di sgravare il N.A.S.C. rispetto alle condizioni odierne tra i partitori Monte Castellone e I Colli.

In questo modo aumenta, rispetto alle condizioni odierne, il carico in alcuni dei manufatti principali del sistema. Il partitore i Colli, per le portate di progetto si trova a funzionare con circa 30 m in più di carico, che consentono un'alimentazione più agevole delle aree servite.

Di seguito la pianta del modello idraulico con indicazione delle pressioni ai nodi (le pressioni sono indicate in senso crescente dal colore rosso al blu).

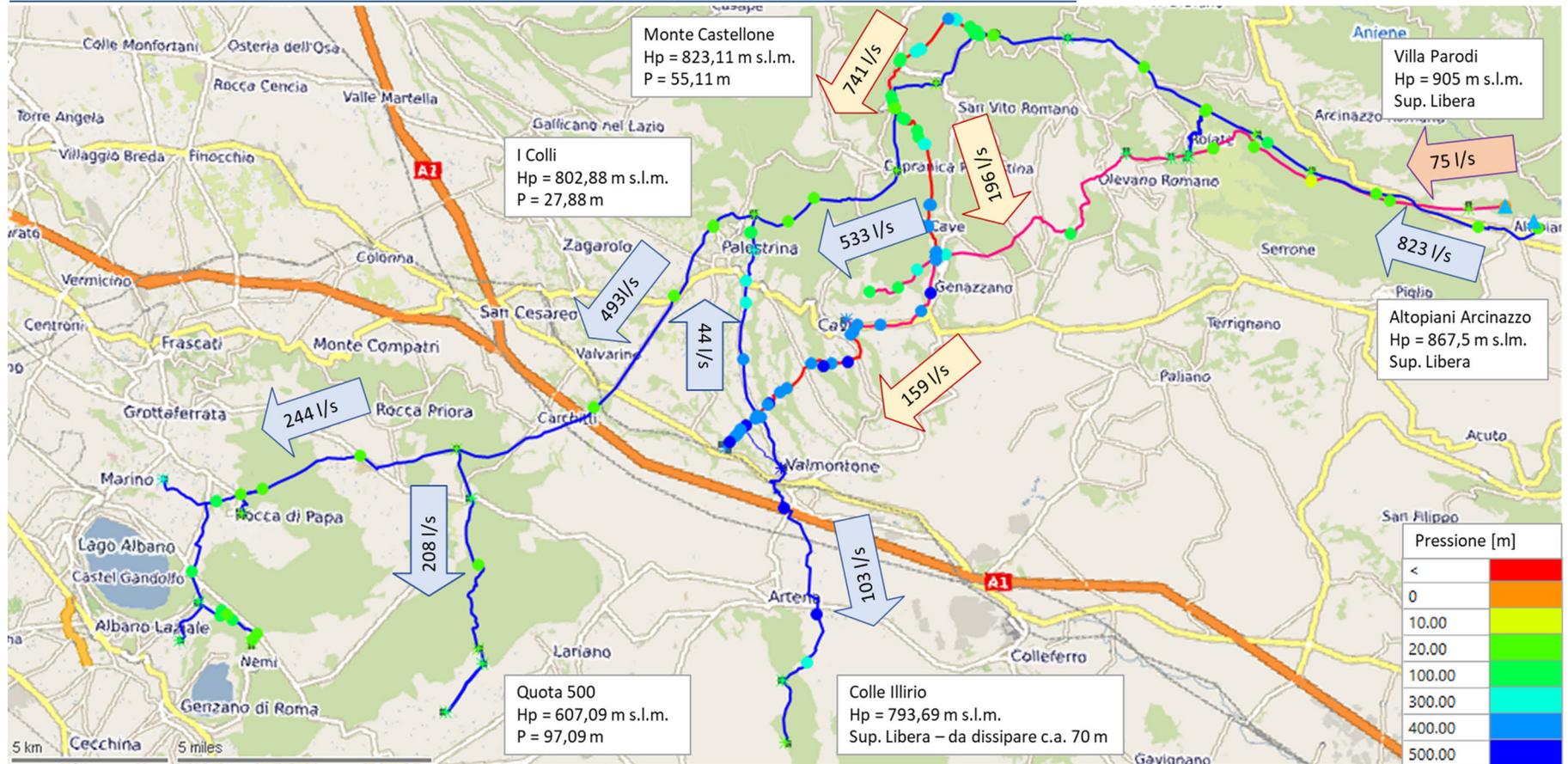


Figura 3 – Risultati delle verifiche idrauliche – condizioni di progetto

Di seguito il profilo schematico delle linee piezometriche sulle condotte di progetto.

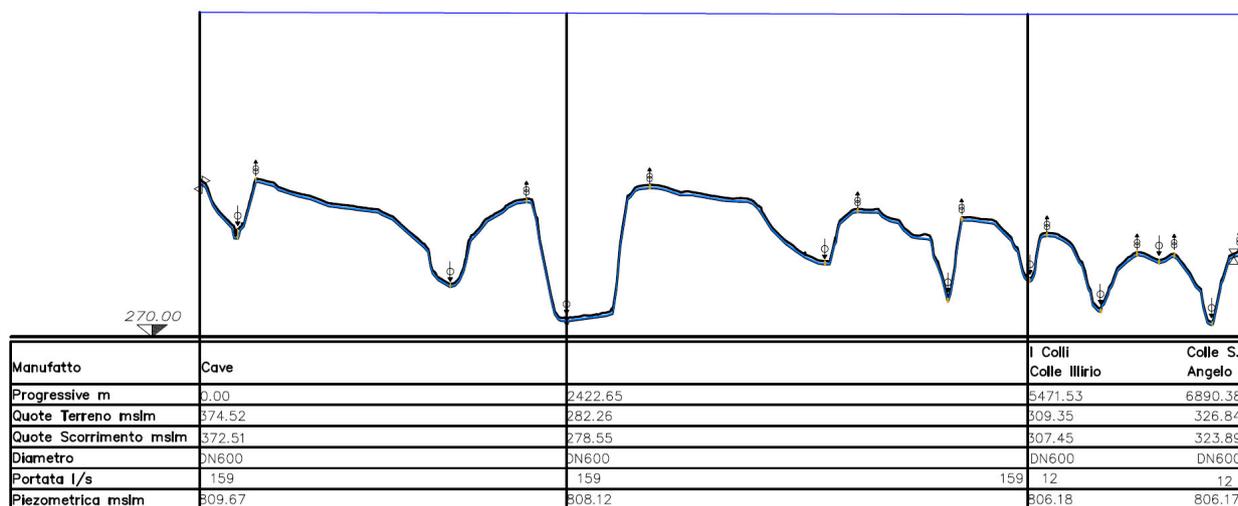
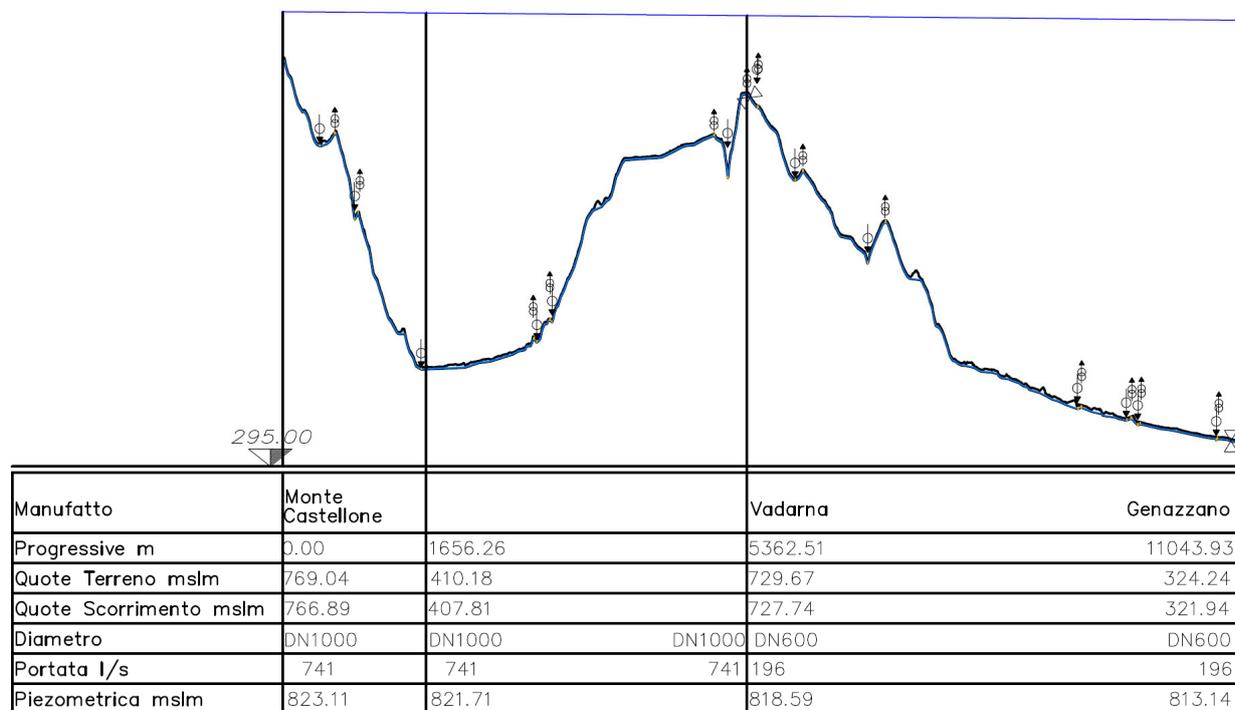


Figura 4 – Risultati delle verifiche idrauliche – profili piezometrici schematici

Sono di seguito riportati i risultati del calcolo, in forma tabellare.

Nodo di Monte	Nodo di Valle	Q	DN	v	Carico di Monte	Carico di Valle
[-]	[-]	[l/s]	[mm]	[m/s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Partitore Monte Castellone	Partitore Località Vadarna	741	1000	0.98	823.11	818.59
Partitore Località Vadarna	Collegamento alla condotta Genazzano - Cave	196	600	0.76	818.59	813.14
Collegamento alla condotta Genazzano - Cave	Manufatto di Partenza da Cave a Colle S. Angelo	187	600	0.72	813.14	809.67
Manufatto di Partenza da Cave a Colle S. Angelo	Collegamento alla condotta I colli - Colle Illirio	159	600	0.61	809.67	806.18
Collegamento alla condotta I colli - Colle Illirio	Collegamento al Partitore Colle S. Angelo	12	600	0.05	806.18	806.17

Tabella 1 – Risultati delle verifiche idrauliche

6.4.3 Condizioni al completamento degli interventi previsti

L'inserimento della linea di adduzione che collega Colle S. Angelo al partitore di Quota 500 permette il transito dei 130 l/s che serviranno in futuro a soddisfare l'aumento di domanda verso i territori dei Castelli Romani.

Di seguito è riportata la rappresentazione schematica del sistema con la ripartizione delle portate nello scenario futuro.

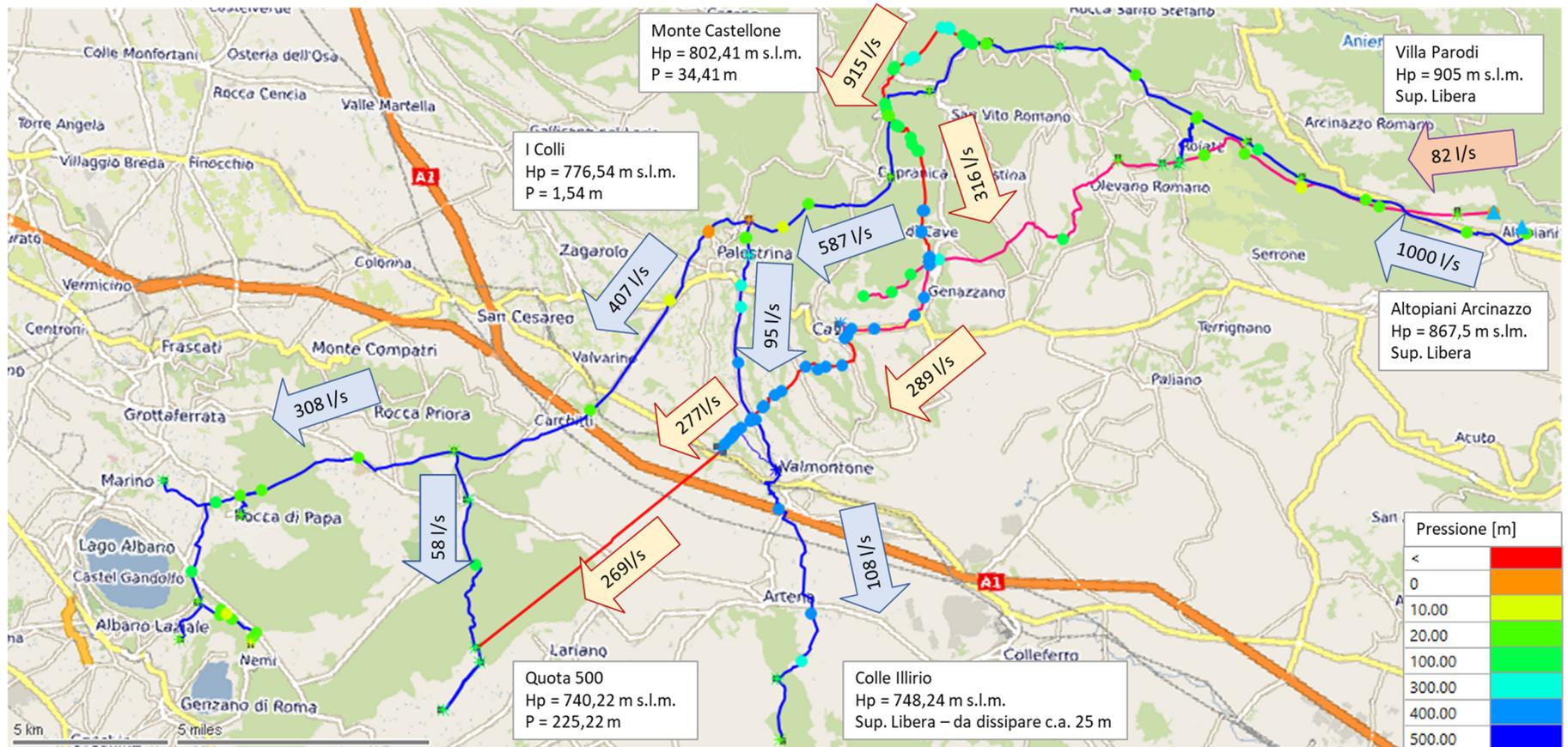


Figura 5 – Risultati delle verifiche idrauliche – condizioni al completamento degli interventi

Di seguito il profilo schematico delle linee piezometriche sulle condotte relative al presente progetto.

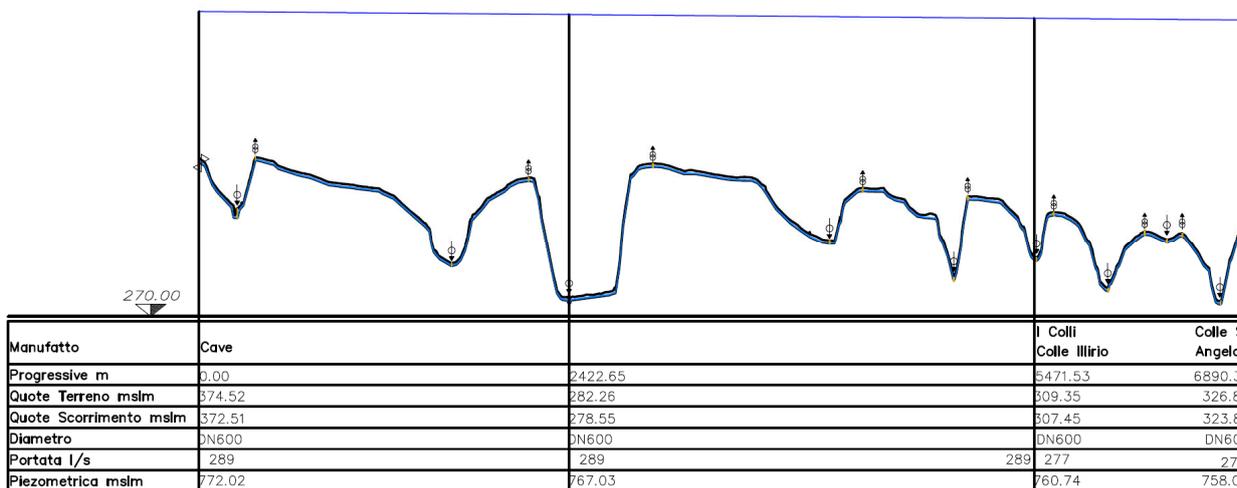
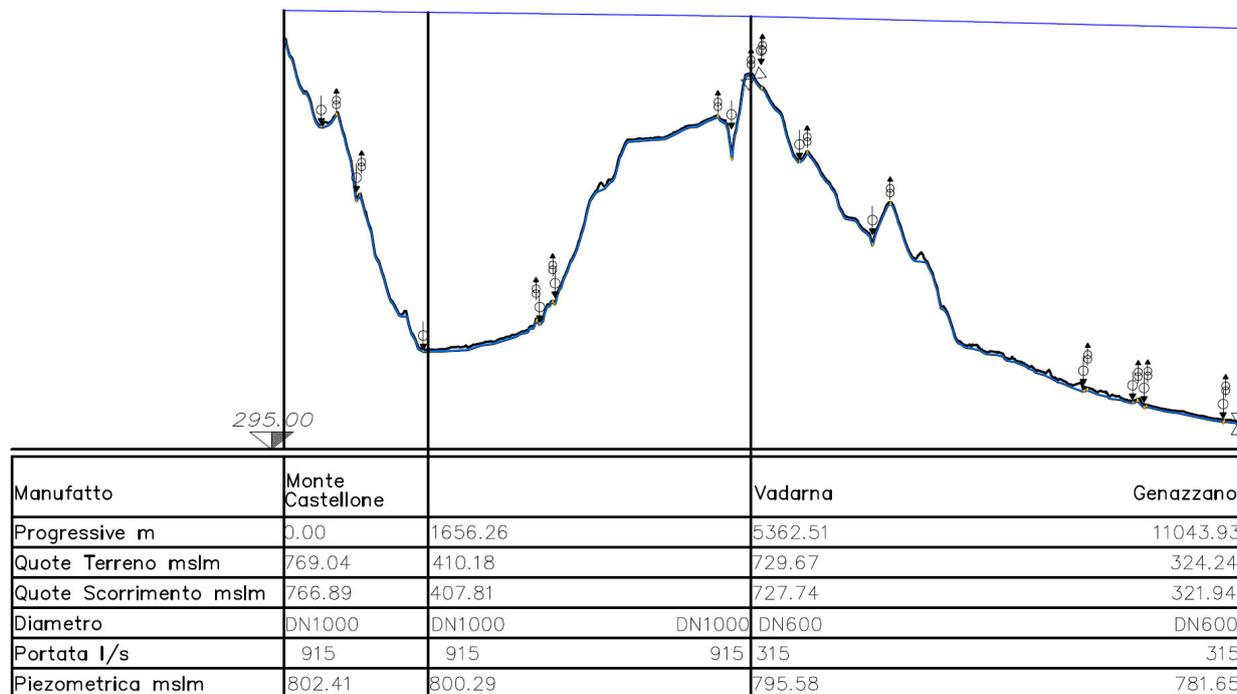


Figura 6 – Risultati delle verifiche idrauliche – profili piezometrici schematici

Sono di seguito riportati i risultati del calcolo, in forma tabellare.

Nodo di Monte	Nodo di Valle	Q	DN	v	Carico di Monte	Carico di Valle
[-]	[-]	[l/s]	[mm]	[m/s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Partitore Monte Castellone	Partitore Località Vadarna	915	1000	1.21	802.41	795.58
Partitore Località Vadarna	Collegamento alla condotta Genazzano - Cave	316	600	1.22	795.58	781.65
Collegamento alla condotta Genazzano - Cave	Manufatto di Partenza da Cave a Colle S. Angelo	316	600	1.22	781.65	772.02
Manufatto di Partenza da Cave a Colle S. Angelo	Collegamento alla condotta I colli - Colle Illirio	289	600	1.11	772.02	760.74
Collegamento alla condotta I colli - Colle Illirio	Collegamento al Partitore Colle S. Angelo	277	600	1.07	760.74	758.08

Tabella 2 – Risultati delle verifiche idrauliche

6.4.4 Valutazioni con scabrezze incrementate

Come chiarito ai paragrafi precedenti è stata condotta una verifica utilizzando un valore $\varepsilon=0,4$ mm ricorrendo, per il calcolo delle perdite distribuite, alla formula di Colebrook-White.

Tale valore per le condizioni di flusso in esame risulta equivalente, ricorrendo invece alla formula di Chézy, a un coefficiente di Gauckler-Strickler poco superiore a $k_s=85$ m^{1/3}/s.

Per tenere in considerazioni ulteriori ad oggi non previste riduzioni di funzionalità, sono state effettuate delle verifiche anche utilizzando un valore $\varepsilon=0,8$ mm, equivalente, per le condizioni del flusso in esame, a un coefficiente di Gauckler-Strickler pari a circa $k_s=80$ m^{1/3}/s.

La verifica è stata condotta per la configurazione raggiunta al completamento degli interventi previsti, che corrisponde alla condizione che prevede il transito della massima portata prevista.

Dalle verifiche emerge come il sistema è in grado di far fronte anche a un non preventivato e non prevedibile depauperamento delle condotte di progetto. Il nuovo assetto del sistema si ottiene andando ad azionare gli organi di sezionamento e regolazione presenti sulla linea del N.A.S.C., in prossimità del partitore I Colli, in partenza della linea "I Colli - Colle Illirio", e del partitore Monte Ceraso, nodo da cui inizia la derivazione dalla linea principale della condotta che alimenta il nodo Quota 500.

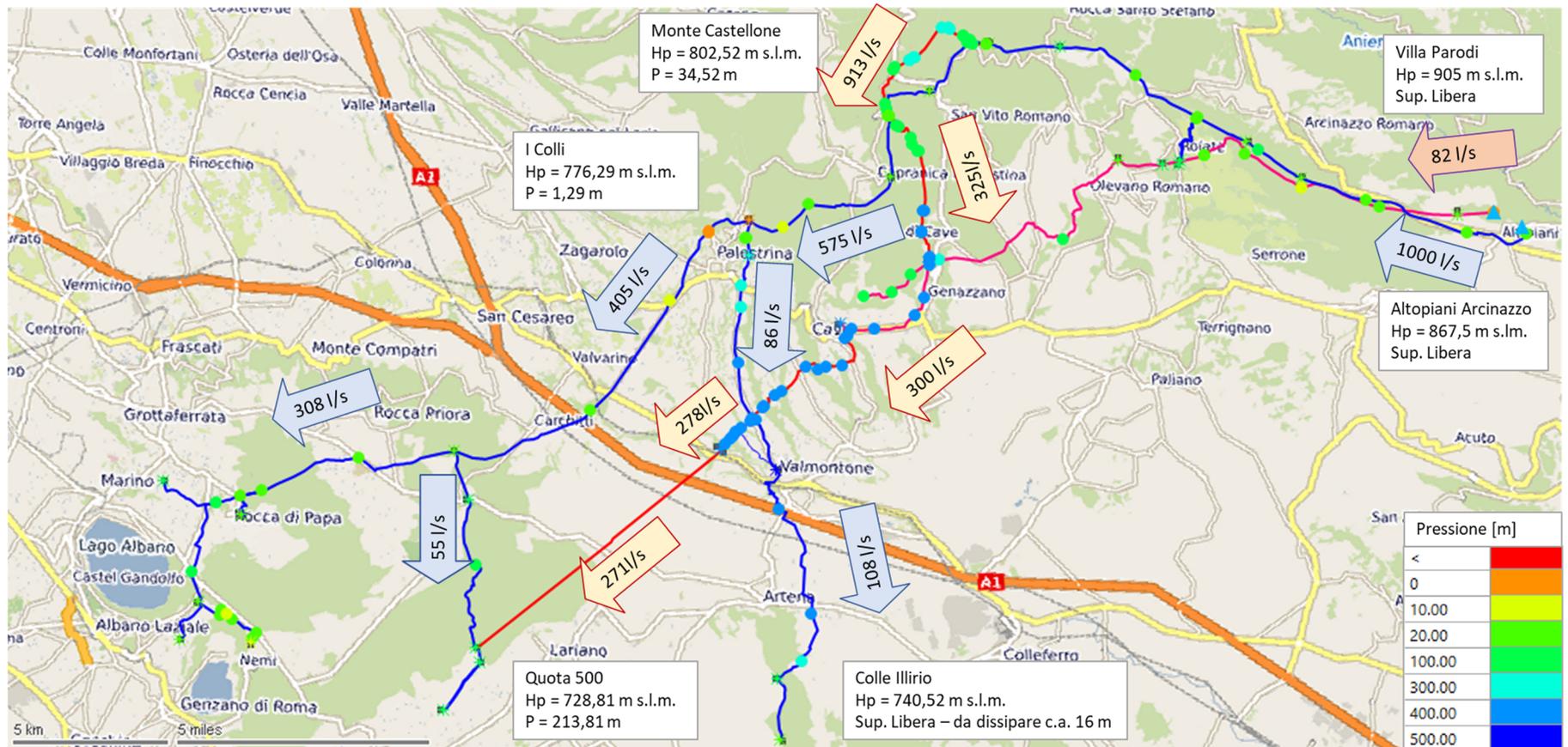


Figura 7 – Risultati delle verifiche idrauliche – condizioni al completamento degli interventi – scabrezze peggiorate

Di seguito il profilo schematico delle linee piezometriche sulle condotte relative al presente progetto.

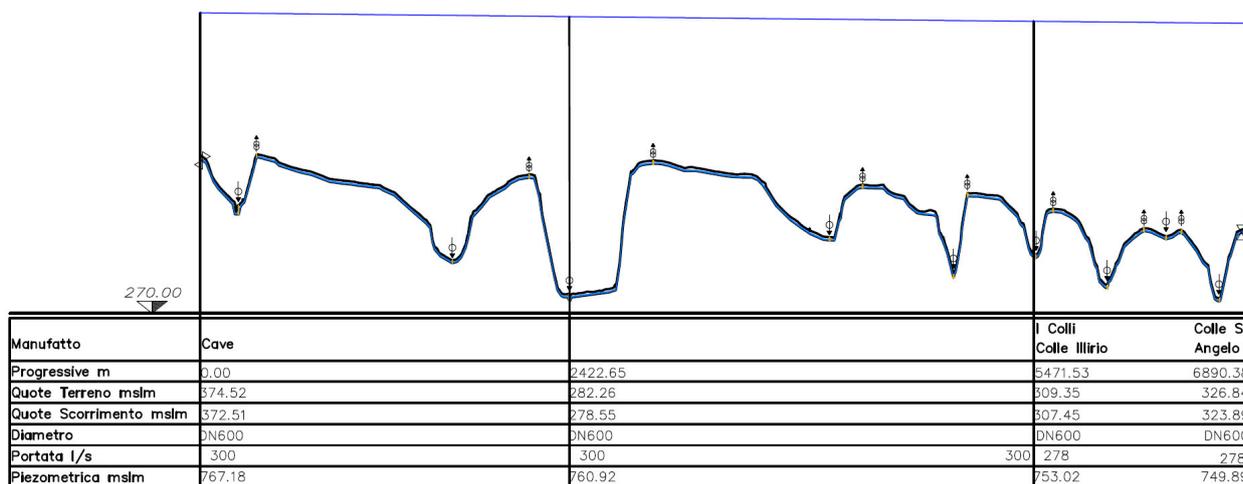
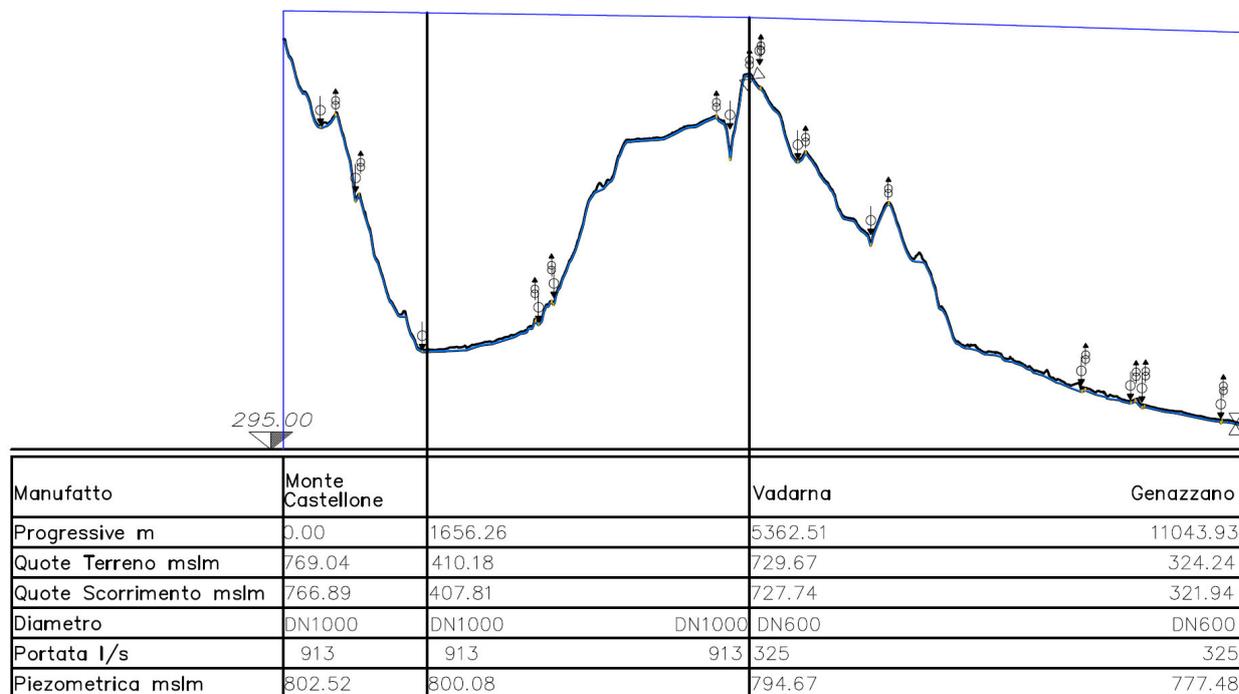


Figura 8 – Risultati delle verifiche idrauliche – profili piezometrici schematici – scabrezze peggiorate

Sono di seguito riportati i risultati del calcolo, in forma tabellare.

Nodo di Monte	Nodo di Valle	Q	DN	v	Carico di Monte	Carico di Valle
[-]	[-]	[l/s]	[mm]	[m/s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Partitore Monte Castellone	Partitore Località Vadarna	913	1000	1.21	802.52	794.67
Partitore Località Vadarna	Collegamento alla condotta Genazzano - Cave	307	600	1.18	794.67	777.49
Collegamento alla condotta Genazzano - Cave	Manufatto di Partenza da Cave a Colle S. Angelo	307	600	1.18	777.49	767.18
Manufatto di Partenza da Cave a Colle S. Angelo	Collegamento alla condotta I colli - Colle Illirio	278	600	1.07	767.18	753.02
Collegamento alla condotta I colli - Colle Illirio	Collegamento al Partitore Colle S. Angelo	303	600	1.17	753.02	749.9

Tabella 3 – Risultati delle verifiche idrauliche

6.5 Definizione della portata di scarico

Per la determinazione della portata di scarico è stata applicata la formula dell'efflusso da una bocca a battente:

$$Q_{scarico} = \mu A \sqrt{2gh/(1+k)}$$

con $A [m^2]$: area della sezione della luce d'efflusso

$h [m]$: battente sopra la luce d'efflusso

μ : coefficiente d'efflusso per luci a battente ($\mu = 0,6$)

Nella definizione delle portate di scarico, è stato inoltre considerato l'effetto di riduzione del carico prodotto dalle valvole a saracinesca, tramite il coefficiente di perdita concentrata k . Lo schema di calcolo adottato è riassunto nella figura seguente.

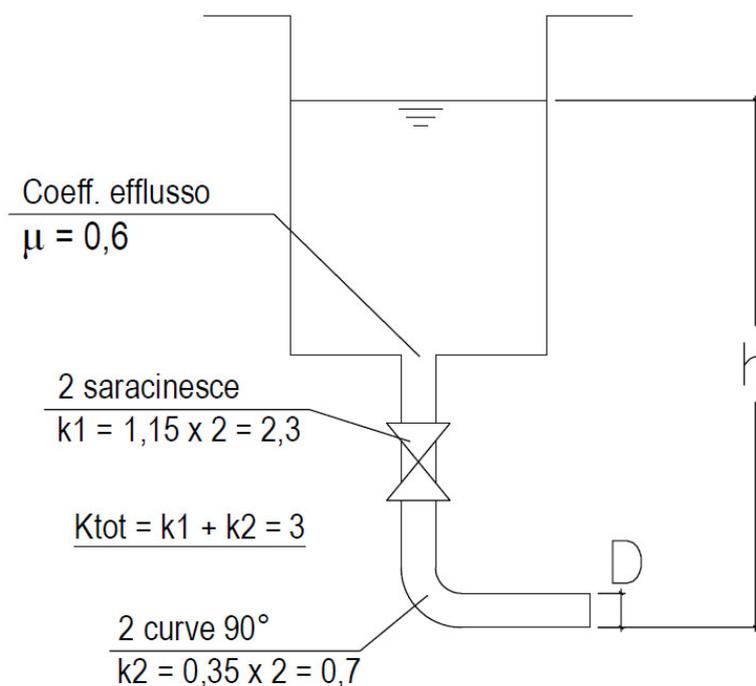


Figura 9 – Schema di calcolo delle portate di scarico

Come coefficiente di perdita di carico concentrata si assume un valore pari a 3. Tale valore è stato ottenuto sommando i coefficienti relativi a due curve con sbocco a 90°, per i quali si assume un valore di 1,15, e due valvole aperte, per le quali si assume un coefficiente di 0,35.

La condotta di scarico è pari a un DN150 in acciaio, per cui si assume come luce di sbocco un foro circolare di diametro pari a 15 cm.

Di seguito è riportata la rappresentazione planimetrica e la sezione dei manufatti di scarico tipo.

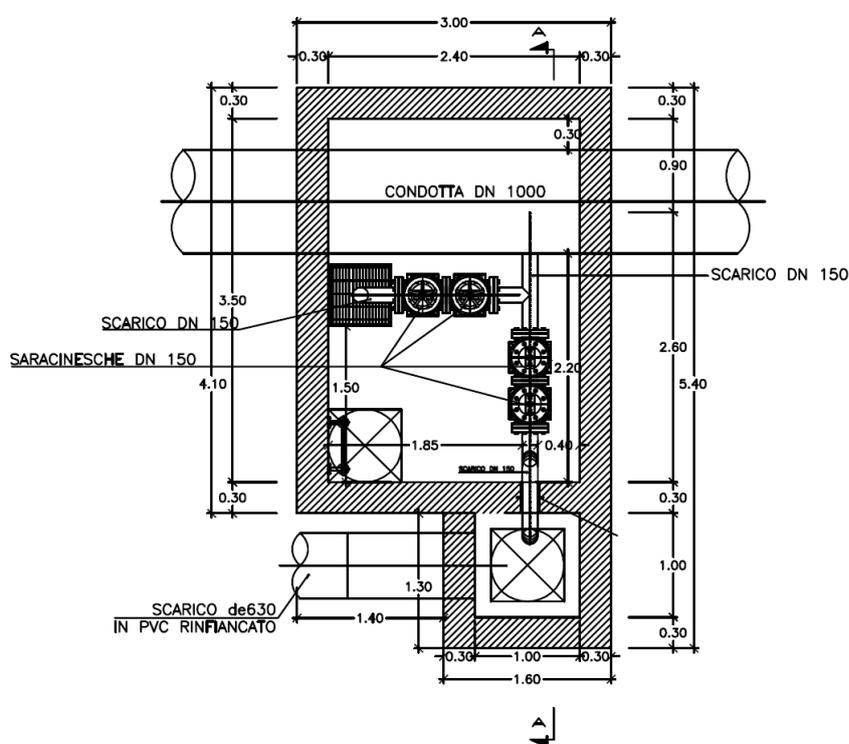


Figura 10 – Pianta dello scarico tipo

Sezione A-A

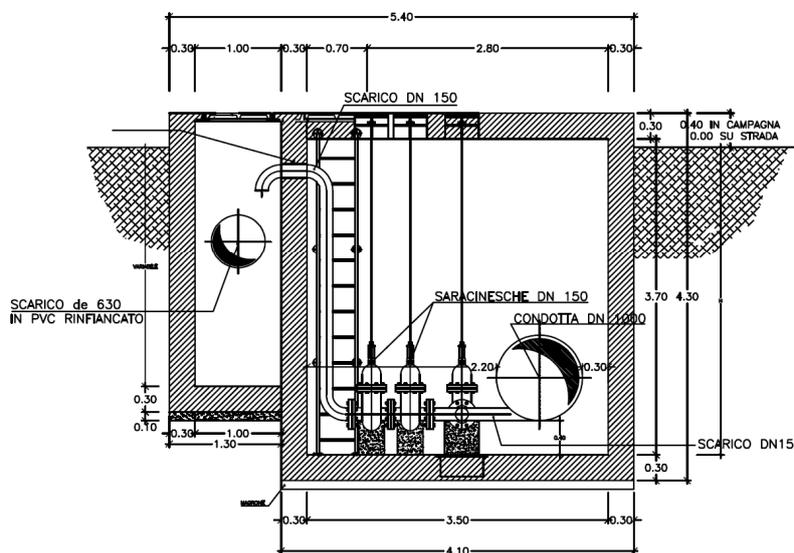


Figura 11 – Sezione dello scarico tipo

Per la definizione del carico, si è preso come riferimento la differenza tra la quota del primo punto di sezionamento di linea a monte del nodo di scarico e la quota di fondo dello scarico stesso.

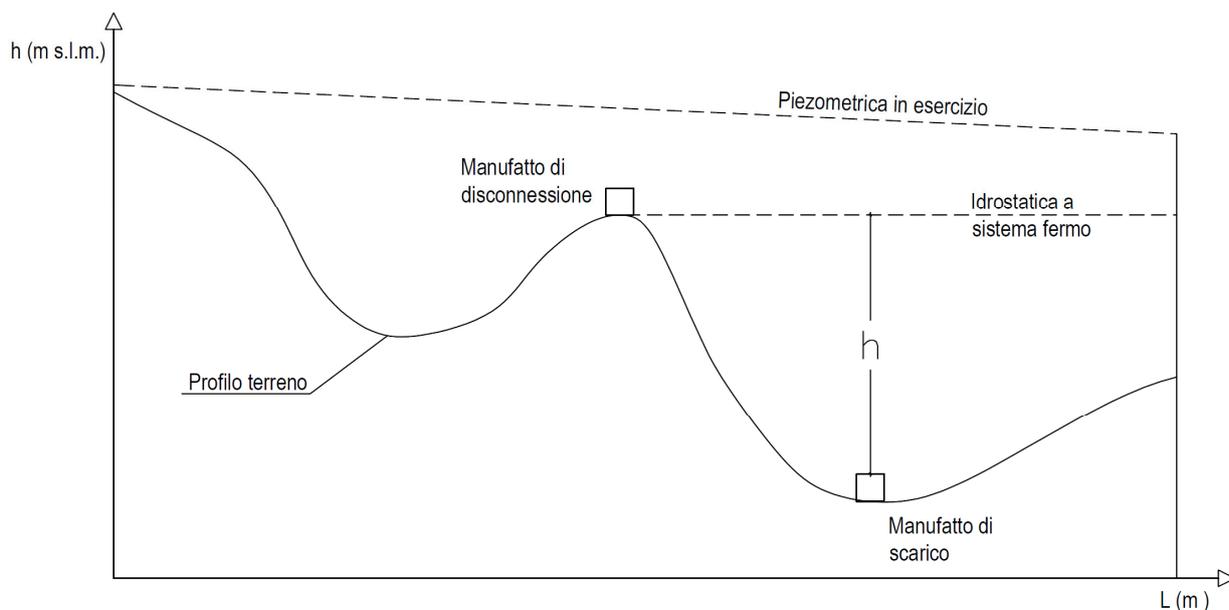


Figura 12 – Schema generale di calcolo delle portate di scarico

Di seguito sono riportati i risultati per gli scarichi verso i corpi idrici superficiali.

Scarico	H fondo [m s.l.m.]	H idrostat [m s.l.m.]	Pressione [m]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
T1 - SC2	581.64	766.89	185.25	30.14	0.32
T1 - SC4	407.88	766.89	359.01	41.96	0.44
T1 - SC5	438.66	766.89	328.23	40.12	0.43
T1 - SC6	461.81	766.89	305.08	38.68	0.41
T1 - SC8	629.98	766.89	136.91	25.91	0.27
T1 - SC9	626.87	727.74	100.87	22.24	0.24
T1 - SC10	531.77	727.74	195.97	31.00	0.33
T1 - SC12	362.03	727.74	365.71	42.35	0.45
T1 - SC13	342.78	727.74	384.96	43.45	0.46
T1 - SC14	325.74	727.74	402	44.41	0.47
T1 - SC15	322.92	727.74	404.82	44.56	0.47
T2 - SC1	335.43	372.51	37.08	13.49	0.14
T2 - SC2	303.19	372.51	69.32	18.44	0.20
T2 - SC3	278.55	372.51	93.96	21.47	0.23
T2 - SC5	293.48	372.51	79.03	19.69	0.21
T2 - SC7	286.45	307.45	21	10.15	0.22

Tabella 4 – Definizione della massima portata di scarico verso i corpi idrici superficiali

Per il tempo massimo di vuotatura delle condotte si assume un valore di 12 ore. Tale intervallo di tempo è infatti sufficiente a vuotare l'intera tratta T1, che presenta il diametro massimo e una lunghezza di circa 5,4 km, anche con un solo scarico a una portata di 0,1 m³/s. Tale durata è estremamente cautelativa in quanto nella tratta in esame sono presenti 5 scarichi, e in quanto nelle fasi iniziali dell'operazione le portate in uscita da ognuno di essi sono sensibilmente maggiori.

La condotta DN150 dello scarico sversa all'interno di un pozzetto da cui riparte poi una condotta in PVC de 630, che consente il recapito verso il fosso recettore con un funzionamento a superficie libera.

Per la quasi totalità dei nodi di scarico il fosso è nelle immediate vicinanze dell'adduttrice principale. Alla condotta di scarico in PVC viene assegnata una pendenza pari allo 0.01 m/m.

Di seguito il dimensionamento dei collettori.

Scarico	Ks	Pendenza	h_{uni}	h_k	v	R idr	Froude	gdr
	[$m^{1/3}/s$]	[m/m]	[m]	[m]	[m/s]	[m]	[-]	[%]
T1 - SC2	90	0.01	0.28	0.37	2.47	0.144	1.68	47.68
T1 - SC4	90	0.01	0.34	0.36	2.67	0.161	1.60	57.85
T1 - SC5	90	0.01	0.34	0.36	2.65	0.160	1.61	57.01
T1 - SC6	90	0.01	0.33	0.35	2.62	0.157	1.63	55.34
T1 - SC8	90	0.01	0.26	0.28	2.36	0.134	1.71	43.34
T1 - SC9	90	0.01	0.24	0.27	2.29	0.128	1.72	40.60
T1 - SC10	90	0.01	0.29	0.32	2.49	0.145	1.68	48.59
T1 - SC12	90	0.01	0.35	0.37	2.68	0.163	1.59	58.68
T1 - SC13	90	0.01	0.35	0.37	2.69	0.164	1.59	59.52
T1 - SC14	90	0.01	0.36	0.37	2.71	0.165	1.58	60.36
T1 - SC15	90	0.01	0.36	0.37	2.71	0.165	1.58	60.36
T2 - SC1	90	0.01	0.18	0.20	1.97	0.103	1.74	30.48
T2 - SC2	90	0.01	0.22	0.24	2.18	0.119	1.73	36.78
T2 - SC3	90	0.01	0.23	0.26	2.26	0.126	1.72	39.66
T2 - SC5	90	0.01	0.22	0.25	2.21	0.121	1.73	37.76
T2 - SC7	90	0.01	0.23	0.29	2.24	0.124	1.49	38.6

Tabella 5 – Dimensionamento dei collettori di scarico

Alcuni punti di scarico non sono posti nelle vicinanze di corpi idrici superficiali. Per tali nodi si ricorrerà allo scarico mediante autobotti.

Di seguito la definizione della massima portata in uscita da questi ultimi punti di scarico.

Scarico	H fondo	H idrostat	Pressione	v	Q
	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m/s]	[m^3/s]
T1 - SC1	667.14	766.89	99.75	22.12	0.23
T2 - SC4	318.26	372.51	54.25	16.31	0.17
T2 - SC6	306.62	372.51	65.89	17.98	0.19
T2 - SC8	319.01	372.51	53.5	16.20	0.17
T2 - SC9	277.95	372.51	94.56	21.54	0.23

Tabella 6 – Definizione della massima portata di scarico dei nodi vuotati tramite autobotte

Oltre agli scarichi presenti sulla linea di progetto, viene realizzato anche uno scarico per la vuotatura della porzione di condotta DN90 che alimenta Pisoniano all'interno del Manufatto Pisoniano.

Per questo si ricorre a una condotta di scarico DN50 chiusa con due saracinesche, che sversa in un pozzetto dal quale poi parte una condotta in PVC De315. Di seguito il dimensionamento dello scarico e del collettore.

Scarico	H fondo [m s.l.m.]	H idrostat [m s.l.m.]	Pressione [m]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
T1 - SC4 bis	409.54	766.89	357.35	41.87	0.05

Scarico	Ks [m ^{1/3} /s]	Pendenza [m/m]	h _{uni} [m]	h _k [m]	v [m/s]	R idr [m]	Froude [-]	gdr [%]
T1 - SC4.1	90	0.01	0.14	0.14	1.55	0.072	1.32	47.55

Tabella 7 – Definizione della portata di scarico del DN90 per Pisoniano

6.6 Dimensionamento e verifica degli sfiati

Nei punti di vertice altimetrico e immediatamente a valle delle valvole di sezionamento di linea sulla condotta di progetto sono state previste delle valvole di sfiato automatiche.

Per il dimensionamento degli sfiati sono state effettuate delle considerazioni sulla velocità dell'aria all'interno degli stessi, nelle diverse condizioni di funzionamento.

L'aria in transito all'interno in condotti determina delle perdite di carico, analogamente a quanto avviene per l'acqua nelle tubazioni, sia distribuite che concentrate. Il percorso che fa l'aria all'interno degli sfiati però è tortuoso, caratterizzato dal passaggio attraverso valvole, galleggianti e sezioni ristrette. Per questo non ha senso considerare le perdite distribuite interne allo sfiato, che possono essere quindi trascurate rispetto alle perdite di carico concentrate.

Per la stima delle perdite di carico concentrate si fa riferimento alla formulazione seguente:

$$z = \xi \rho \frac{v^2}{2g}$$

In cui z è la perdita di carico concentrata, espressa in *mm c. a.*, ξ è un coefficiente di perdita di carico localizzata, adimensionale, ρ [kg/m^3] è la densità del fluido, che nel caso in esame può essere assunta pari a 1,292 (aria fredda (0 °C) a una pressione di 1 atm), g [m/s^2] è l'accelerazione di gravità (9,81 m/s^2) e v [m/s] è la velocità del fluido.

I coefficienti di perdita concentrati ξ sono disponibili in letteratura e sono stati valutati di caso in caso a seconda del tipo di sfiato ipotizzato.

La portata di dimensionamento viene assunta pari alla massima portata di acqua in transito nella condotta.

Portata	Q =	0,915	m ³ /s
Diametro Sfiato	d =	0,15	
V aria	V =	51,78	m/s
Coefficiente di perdita localizzata ingresso aria	h =	1,50	

Depressione	z =	-0,26	m
Coefficiente di perdita localizzata ingresso aria	h =	1,90	
Sovrappressione	z =	3,13	m

Tabella 8 Verifica degli sfiati

Sia il valore di sovrappressione che quello di depressione sono perfettamente compatibili con la resistenza della condotta.

6.7 Verifiche di Moto Vario Elastico

Al fine di determinare le sovrappressioni conseguenti a eventuali manovre degli organi di sezionamento o ad arresti dei sollevamenti, è necessario richiamare le definizioni di celerità dell'onda, durata di fase e tempo di manovra.

La *celerità*, ovvero la velocità di propagazione delle onde di pressione nella tubazione è funzione del fluido e delle caratteristiche della tubazione, e può essere determinata come:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon D}{ES}}} = \frac{a_0}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon D}{ES}}}$$

con a [m/s]: celerità dell'onda

ε [N/m²]: coefficiente di comprimibilità del fluido ($\varepsilon_{acqua} = 2,03E + 09$ N/m²)

ρ [kg/m³]: densità del fluido ($\rho_{acqua\ 20^\circ C} = 998$ kg/m³)

a_0 [m/s] = $\sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}} = 1425$ m/s celerità di propagazione del suono in acqua

E [N/m²]: modulo di elasticità del materiale costituente la tubazione

D [m]: diametro della tubazione

S [m]: spessore della tubazione

La *durata di fase* T [s] è definita come il tempo impiegato dall'onda di pressione a percorrere in andata e di ritorno l'intero tratto di condotta oggetto della verifica. Può essere determinata con la formulazione seguente:

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

con L [m] lunghezza della condotta e a [m/s] celerità dell'onda.

La manovra di arresto si definisce brusca o lenta in funzione del rapporto tra la durata di fase T ed il tempo di manovra T_c :

Per le manovre di regolazione brusche ($T_c < T$) la sovrappressione massima può essere valutata con la formula di Joukowsky:

$$H_{max} - H_0 = \frac{aU_0}{g}$$

con H_{max} [m]: carico piezometrico massimo

H_0 [m]: carico piezometrico all'istante iniziale della manovra

g [m/s^2]: accelerazione di gravità

U_0 [m/s]: velocità della corrente in condizioni di moto permanente

a [m/s]: celerità dell'onda

La massima depressione risulta uguale in valore assoluto alla massima sovrappressione suddetta.

Per le manovre di regolazione lente ($T_c > T$) la sovrappressione massima viene invece valutata con la formula di Micheaud:

$$H_{max} - H_0 = \frac{2LU_0}{gT_c}$$

Una volta determinata la sovrappressione di moto vario elastico $H_{max} - H_0$, questa dovrà essere sommata alla pressione idrostatica H_0 così da poter confrontare il risultato con i limiti imposti dal *Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 12 dicembre 1985 n. 64 "Norme tecniche per le tubazioni"*, recante le normative tecniche per le tubazioni. In esso vengono indicati i valori limite ammissibili delle sovrappressioni dinamiche di colpo d'ariete, indipendentemente dalla tipologia delle tubazioni impiegate, in funzione della sola pressione idrostatica.

	Pressione [daN/cm^2]			
	6	6÷10	10÷20	20÷30
Pressione Idrostatica	6	6÷10	10÷20	20÷30
Sovrappressione massima ammissibile	3	3÷4	4÷5	5÷6

Le manovre di organi di intercettazione (saracinesche o valvole) posti a valle delle condotte di progetto, possono innescare fenomeni di moto vario elastico (m.v.e.) o "colpo d'ariete" che si propagano a monte fino alla prima disconnessione idraulica incontrata.

A monte delle condotte di progetto, la prima ed unica disconnessione idraulica presente è quella del nuovo serbatoio ad Altipiani di Arcinazzo che, nella schematizzazione di calcolo del fenomeno di m.v.e., viene assimilato ad un serbatoio di capacità infinita ed a livello idrico costante pari al massimo previsto di circa 867,50 m s.l.m.

Per le condotte DN 1000 e DN 600 di progetto, ai fini della stima della massima sovrappressione di m.v.e., si considera, per ognuna delle valvole di linea presenti lungo il tracciato, una corrispondente manovra di chiusura.

La lunghezza complessiva della tratta di acquedotto interessata dal fenomeno, per ogni valvola, è calcolata a partire dal manufatto dove questa è installata risalendo verso monte lungo l'acquedotto fino al serbatoio ad Altipiani di Arcinazzo.

Per la determinazione delle sovrappressioni di colpo d'ariete generato dalla chiusura dell'organo di sezionamento suddetto, si assume ciascuna volta il seguente schema semplificato di calcolo:

- si considera l'unicursale da Arcinazzo fino al manufatto dove è presente la valvola, assegnando spessore e portata uniforme lungo l'intero percorso;
- per il diametro della condotta "equivalente" si assume il valore DN 600, con spessore 17,5 mm, semplificazione cautelativa considerando che per lunghi tratti del percorso considerato il diametro è pari a DN 800/DN 1000;

- lungo l'intero percorso della condotta esaminata si considera il transito di una portata uniforme pari a 917 l/s per la prima valvola, presso il partitore in località Vadarna, ossia pari alla portata in transito nella prima tratta di progetto. Per le altre valvole viene considerato un valore di 600 l/s rispetto ai circa 300 l/s previsti nel progetto, valore medio tra quello che realmente transita e il cui arresto origina la perturbazione in esame e la massima portata della tratta a monte. Tale assunto risulta cautelativo in quanto, in caso di chiusura di un organo di intercettazione a valle del partitore in località Vadarna, sull'asta principale esistente del N.A.S.C. continueranno a transitare le portate che proseguono sul DN 700 verso I Colli).

Come tempo di chiusura degli organi di sezionamento vengono considerate le velocità massime degli attuatori delle valvole di linea. Nel presente caso si assume il ricorso ad attuatori in grado di completare la manovra in minimo 10 minuti. Cautelativamente si assume come durata della chiusura un tempo di 420 sec.

Di seguito sono riportati i risultati del calcolo.

Manufatto	M Castellone	Vadarna	Genazzano	Cave	S. Angelo	[-]
Condotta	DN800 acciaio	DN600 acciaio	DN600 acciaio	DN600 acciaio	DN600 acciaio	[-]
modulo comprimibilità acqua ϵ	2030000000	2030000000	2030000000	2030000000	2030000000	[N/m²]
densità acqua ρ	998	998	998	998	998	[kg/m³]
modulo di elasticità materiale E	2.1E+11	2.1E+11	2.1E+11	2.1E+11	2.1E+11	[N/m²]
Portata Q	1	0.917	0.6	0.6	0.6	[m³/s]
Diametro condotta D	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	[m]

Area Condotta A	0.50	0.28	0.28	0.28	0.28	[m ²]
Velocità iniziale U₀	1.99	3.24	2.12	2.12	2.12	[m/s]
Spessore tubo s	0.0175	0.0175	0.0175	0.0175	0.0175	[m]
Velocità propagazione suono V_s	1426.21	1426.21	1426.21	1426.21	1426.21	[m/s]
celerità a	1187.72	1236.02	1236.02	1236.02	1236.02	[m/s]
Lunghezza condotta L	19557	24919	30600	34601	41497	[m]
Durata di fase T	32.93	40.32	49.51	55.99	67.15	[s]
accelerazione di gravità g	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	[m/s ²]
tempo di manovra T_c	420	420	420	420	420	[s]
Sovrappression e ΔH	18.9	39.2	31.5	35.6	42.7	[m]

Tabella 9 Verifica del Moto Vario Elastico

Nel caso in esame, per pressioni idrostatiche comprese tra 20 e 30 atm, la sovrappressione massima è di 5 atm (equivalenti a circa 50 m), superiore a quella sopra determinata per tutti i manufatti di progetto. L'unico manufatto che presenta una pressione idrostatica inferiore è il partitore in località Vadarna, che rientra nel campo compreso tra 10 e 20 atm, per il quale la sovrappressione massima è pari a

4 atm. In questo caso però la sovrappressione è inferiore anche a tale limite. Non è quindi necessario prevedere degli organi di attenuazione del colpo d'ariete.

Successivamente è stato condotto un approfondimento con l'obiettivo di definire il tempo di chiusura minimo che consente di rispettare i limiti di normativa per la sovrappressione. Tale tempo è stato poi confrontato con i tempi ordinari di chiusura degli organi di sezionamento.

Di seguito sono riportati i risultati del calcolo confrontati con il limite massimo di sovrappressione per ciascun organo per il corrispondente intervallo di pressione idrostatica.

Manufatto	M Castellone	Vadarna	Genazzano	Cave	S. Angelo	[-]
Condotta	DN800 acciaio	DN600 acciaio	DN600 acciaio	DN600 acciaio	DN600 acciaio	[-]
modulo comprimibilità acqua ϵ	2030000000	2030000000	2030000000	2030000000	2030000000	[N/m²]
densità acqua ρ	998	998	998	998	998	[kg/m³]
modulo di elasticità materiale E	2.1E+11	2.1E+11	2.1E+11	2.1E+11	2.1E+11	[N/m²]
Portata Q	1	0.917	0.6	0.6	0.6	[m³/s]
Diametro condotta D	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	[m]
Area Condotta A	0.50	0.28	0.28	0.28	0.28	[m²]
Velocità iniziale U₀	1.99	3.24	2.12	2.12	2.12	[m/s]
Spessore tubo s	0.0175	0.0175	0.0175	0.0175	0.0175	[m]

Velocità propagazione suono V_s	1426.21	1426.21	1426.21	1426.21	1426.21	[m/s]
celerità a	1187.72	1236.02	1236.02	1236.02	1236.02	[m/s]
Lunghezza condotta L	19557	24919	30600	34601	41497	[m]
Durata di fase T	32.93	40.32	49.51	55.99	67.15	[s]
accelerazione di gravità g	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	[m/s²]
tempo di manovra T_c	198	330	221	249	299	[s]
Sovrappression e ΔH	40.0	50.0	60.0	60.0	60.0	[m]
Pressione idrostatica	100.6	139.8	545.6	495.0	543.6	[m]
Sovrappression e massima ΔH_{max}	40.0	50.0	60.0	60.0	60.0	[m]

Tabella 10 Verifica del Moto Vario Elastico con determinazione della durata minima della manovra

La durata più elevata determinata in questo caso per la manovra di chiusura è di circa 300 secondi, corrispondente a poco più di 5 minuti. Per le valvole di progetto è previsto il ricorso ad attuatori che, in termini di giri massimi al minuto, non consentono di scendere al di sotto di tali tempistiche. In un tempo così breve risulta praticamente impossibile chiudere valvole delle dimensioni analoghe a quelle in progetto, anche in caso di errata manovra. A precauzione ulteriore verranno previsti attuatori con velocità massime che non consentono il raggiungimento di tali tempistiche.