



# 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.

**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



CONSULENTE

Ing. Biagio Eramo

ELABORATO

A250PDS R005 2

COD. ATO2 AAM10118

DATA DICEMBRE 2021

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	02/22	AGGIORNAMENTO ELABORATI UVP	
2	03/22	AGGIORNAMENTO ELABORATI CSLPP	
3			
4			
5			
6			

Sottoprogetto  
NUOVO ACQUEDOTTO MARCIO – I LOTTO  
DAL MANUFATTO ORIGINE AL SIFONE CERASO  
(con il finanziamento dell'Unione  
europea – Next Generation EU)

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA  
ED ECONOMICA

### TEAM DI PROGETTAZIONE

**CAPO PROGETTO**  
Ing. Angelo Marchetti

**IDRAULICA**  
Ing. Eugenio Benedini

**GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA**  
Geol. Stefano Tosti

**GEOTECNICA E STRUTTURE**  
Ing. Angelo Marchetti

**ASPETTI AMBIENTALI**  
Ing. PhD Nicoletta Stracqualursi  
Ing. Viviana Angeloro

**ATTIVITA' TECNICHE DI SUPPORTO**  
Geom. Stefano Francisci

**ATTIVITA' PATRIMONIALI**  
Geom. Fabio Pompei

Hanno collaborato:

Ing. Matteo Botticelli

Ing. Emiliano Alimonti



RELAZIONE IDRAULICA E SUGLI  
ASPETTI TECNICO-FUNZIONALI

## RELAZIONE IDRAULICA

<b>1</b>	<b>Premessa.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Oggetto e scopo dell'intervento .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Requisiti e criteri di progettazione idraulica .....</b>	<b>9</b>
3.1	Requisiti e criteri del QE e del DIP .....	9
3.2	Aspetti prestazionali di base del sistema.....	13
<b>4</b>	<b>Criteri di progettazione idraulica .....</b>	<b>15</b>
4.1	Equazioni adottate.....	15
4.2	Sezioni tipo, materiali e rivestimenti delle condotte .....	18
4.3	Soglie.....	22
4.4	Il problema dell'aria nelle condotte in pressione.....	22
4.5	Condizioni di moto vario nelle condotte in pressione .....	27
4.6	Modello matematico .....	32
4.6.1	InfoWorks ICM .....	32
4.7	Organi di sezionamento .....	36
<b>5</b>	<b>Opere di progetto.....</b>	<b>37</b>
<b>5.1</b>	<b>Descrizione Funzionamento Idraulico.....</b>	<b>39</b>
5.1.1	Funzionamento Ante Operam.....	39
5.1.2	Funzionamento al termine della fase funzionale 1 .....	39
5.1.3	Funzionamento al termine della fase funzionale 2 .....	43
5.1.4	Funzionamento al termine della fase funzionale 3 .....	47
<b>5.2</b>	<b>Descrizione Opere Prima fase funzionale .....</b>	<b>50</b>
5.2.1	MCR - Manufatto di Casetta Rossa.....	50
5.2.2	TC1 .....	53
5.2.3	MNA Manufatto Nodo A .....	57
5.2.4	TR2M1 - TR4M1 – prima fase funzionale .....	58
<b>5.3</b>	<b>Descrizione Opere Fasi Funzionali successive .....</b>	<b>63</b>
5.3.1	TR2M1 - TR4M1 – seconda fase funzionale .....	63
5.3.2	MIM-G1 – MVC Manufatto Imbocco Galleria Vicovaro e Vasca di Carico .....	64
5.3.3	G1 – Galleria di Vicovaro .....	64
5.3.4	MSB-G1 Manufatto Sbocco Galleria Vicovaro.....	64
5.3.5	TR2M2 e TR4M2.....	65
5.3.6	MIM-G2 Manufatto Imbocco Galleria San Polo .....	65
5.3.7	G2 – Galleria di San Polo .....	65
5.3.8	MPP Manufatto Pozzo Piezometrico.....	65
<b>5.4</b>	<b>Riepilogo delle lunghezze dei tratti .....</b>	<b>66</b>
<b>5.5</b>	<b>Identificazione preliminare utenze esistenti.....</b>	<b>67</b>

<b>6</b>	<b><i>Verifiche idrauliche delle condotte in pressione</i></b> .....	<b>69</b>
<b>6.1</b>	<b>Verifiche Idrauliche prima fase funzionale</b> .....	<b>69</b>
6.1.1	Scenario di funzionamento fase funzionale 1 .....	69
6.1.2	Verifica moto vario elastico.....	70
<b>6.2</b>	<b>Verifiche Idrauliche fasi funzionali successive</b> .....	<b>72</b>
6.2.1	Scenario di esercizio ordinario .....	75
6.2.2	Scenario di esercizio straordinario .....	77
6.2.3	Scenario di esercizio fase funzionale 2.....	82
6.2.4	Analisi del moto vario di insieme .....	84
6.2.5	Scenario di vuotatura dell'acquedotto.....	91
6.2.6	Scenario di esercizio per le portate minime.....	92
6.2.7	Verifica di moto vario elastico.....	95
<b>7</b>	<b><i>Modalità di scarico</i></b> .....	<b>97</b>
<b>8</b>	<b><i>Modalità di controllo, misura e ispezionabilità delle opere</i></b> .....	<b>100</b>
<b>8.1</b>	<b>Controllo</b> .....	<b>100</b>
<b>8.2</b>	<b>Misura, monitoraggio e manovre</b> .....	<b>100</b>
<b>8.3</b>	<b>Ispezionabilità e manutenzione</b> .....	<b>102</b>

## 1 Premessa

La presente Relazione Idraulica, facente parte del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (PFTE) della prima fase funzionale del Nuovo Acquedotto Marcio, 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.

Il Nuovo Acquedotto Marcio è previsto che venga realizzato in tre fasi funzionali. Si precisa che le verifiche idrauliche sono state redatte con riferimento all'intero sistema, nella sua configurazione raggiunta al termine del completamento dell'ultima fase funzionale. È stato poi verificato il suo funzionamento al termine della prima fase funzionale.

Le simulazioni numeriche sono state realizzate con l'ausilio del software di calcolo *InfoWorks ICM* prodotto da *HR Wallingford Ltd.*

## 2 Oggetto e scopo dell'intervento

Come dettagliatamente descritto nella Relazione Generale (A194PFR001), il Sistema Acquedottistico Marcio, con una portata variabile tra 2.900 l/s e 5.300 l/s, rappresenta circa il 20% dell'acqua necessaria per l'approvvigionamento idrico dell'ATO2 e circa il 25% della risorsa destinata alla Capitale e riveste pertanto un'importanza strategica.

Tra le motivazioni poste alla base del progetto del Nuovo Acquedotto Marcio figura l'importanza prioritaria dell'opera per il superamento dei rischi insiti nell'approvvigionamento idropotabile dell'area metropolitana romana che coinvolge fasce del territorio di ATO2, più o meno ampie a seconda dei casi deficitari di portata derivanti dall'interruzione prolungata dell'esercizio di una o di entrambe le condotte dell'Acquedotto Marcio, come già rappresentato nel Quadro Esigenziale.

Tale priorità è motivata dalle considerazioni di seguito riassunte:

- il sistema Acquedottistico Marcio esistente risulta essere vetusto, in particolare il II Acquedotto, presentando dissesti strutturali locali più o meno estesi. Entrambi gli acquedotti I Marcio e II Marcio, realizzati con tecnologie ad oggi ampiamente superate, hanno da tempo esaurito la vita utile di progetto, stimata con un'analogia ai criteri di riferimento della progettazione di nuove Opere;
- l'attuale assetto del sistema Acquedottistico Marcio presenta una mancanza intrinseca di robustezza rispetto ad eventi accidentali in grado di compromettere la capacità di trasporto dell'infrastruttura o di provocare una contaminazione della risorsa trasportata;
- il sistema attuale risulta vulnerabile per quanto riguarda la qualità delle acque per le caratteristiche intrinseche delle Opere di adduzione in parte aggravatisi nel tempo con la trasformazione del contesto antropico circostante ed in particolare per lo sviluppo urbanistico dei centri abitati della valle dell'Aniene;
- il sistema, nella sua configurazione attuale, presenta difformità impiantistiche rispetto agli standard richiesti per un corretto esercizio. I luoghi di governo

distribuiti lungo i 27 km di sviluppo degli acquedotti esistenti risultano essere distanti anche parecchi chilometri l'uno dall'altro e spesso difficilmente accessibili con mezzi e attrezzature. Inoltre, i dispositivi di governo delle acque, ed in particolare degli organi di sezionamento e scarico (paratoie) del flusso idrico, hanno scarsa funzionalità con conseguenti limitazioni sulle possibilità di governo degli acquedotti;

- il sistema acquedottistico ha limitata possibilità di ispezione degli acquedotti causata dalle carenze dei sezionamenti, degli scarichi e conseguente impossibilità di monitorare lo stato di conservazione delle strutture e di programmare qualsiasi intervento manutentivo preventivo. Inoltre, stante l'importanza che il sistema riveste nell'ambito dell'approvvigionamento idrico di Roma non è possibile effettuare prolungati fuori servizio;
- la capacità di trasporto del sistema acquedottistico esistente risulta essere di 5,3 m<sup>3</sup>/s (3,2 m<sup>3</sup>/s del I Acquedotto Marcio e 2,1 m<sup>3</sup>/s del II Acquedotto Marcio), ossia inferiore di 1,3 m<sup>3</sup>/s rispetto alla portata di concessione (7,2 m<sup>3</sup>/s) meno i 500 l/s di Acquoria captati a valle di Tivoli. Inoltre, nella configurazione attuale, non è possibile avere misure atte ad ottenere un attendibile esatto bilancio idrico del sistema.

La portata trasportata dal sistema Acquedottistico Marcio nell'esercizio ordinario e quotidiano non è rimpiazzabile senza causare disagi alla zona est/sud-est dell'Area Metropolitana di Roma, senza tenere in considerazione della gravità dei disservizi che si avrebbero in 16 Comuni dell'ATO2 posti a est/sud-est di Roma la cui alimentazione è resa possibile esclusivamente dal suddetto sistema. La non disponibilità dell'Acqua Marcia avrebbe effetti anche sulla possibilità di impiegare fonti locali non conformi al D. Lgs. 31/2001, la cui mancata diluizione con la risorsa del sistema Marcio le renderebbe non più utilizzabili.

I disagi nella città di Roma potrebbero essere forse evitati con l'attivazione dell'acquedotto di Bracciano, peraltro attualmente non disponibile a seguito dell'Ordinanza della Regione Lazio n. 0378534 del 21/07/2017. L'utilizzo di Bracciano non potrebbe, in ogni caso, compensare il deficit nelle aree periferiche a sud-est di

Roma e nei 16 comuni dell'ATO2 alimentati esclusivamente dal Marcio. Inoltre il contributo dal Lago potrebbe non essere sufficiente se le cause e gli effetti del deficit fossero di natura tale da richiedere tempi molto lunghi, come un eventuale inquinamento prodotto per la conformazione degli acquedotti, a pelo libero e con bassa copertura.

Dalla situazione sopra rappresentata, emerge la necessità di realizzare la nuova infrastruttura per il trasporto della portata derivata dal Manufatto di Partenza degli Acquedotti dell'Acqua Marcia fino ai manufatti di arrivo presso Tivoli, e quindi alla Città di Roma ed ai Comuni di ATO2.

La realizzazione del Nuovo Acquedotto Marcio riveste carattere necessario e urgente. La realizzazione della nuova opera mira direttamente al perseguimento di alcuni obiettivi e consente di raggiungerne indirettamente altri, nel lungo periodo.

I principali obiettivi diretti sono connessi alla necessità di ottimizzare il sistema di trasporto attraverso la realizzazione di un sistema di condotte dal Manufatto Origine fino ai manufatti di arrivo presso il nodo di Tivoli.

In particolare, i suddetti obiettivi diretti possono essere riepilogati come segue.

Mediante la realizzazione di un sistema di adduzione costituito da due condotte tra il Manufatto Origine degli Acquedotti e i manufatti di arrivo presso Tivoli:

- 1) ripristinare la piena funzionalità ed efficienza del sistema di adduzione esistente, nonché la ridondanza che l'attuale sistema possedeva all'epoca della costruzione, ad oggi gravato da problematiche strutturali e funzionali, dalle sorgenti dell'Acqua Marcia allo snodo di Tivoli, valutando il punto di connessione ottimale alle Opere esistenti;
- 2) garantire idonea protezione igienico-sanitaria alla risorsa trasportata, essendo il sistema attuale esposto a rischi idrologici, idrogeologici e gravato da una crescente pressione antropica;
- 3) eliminare le perdite idriche che attualmente affliggono entrambi gli acquedotti esistenti;

- 4) consentire il transito della totalità della portata di concessione al manufatto di Casa Valeria, idonea a garantire l'alimentazione in assoluta sicurezza di tutte le Opere a valle (la portata di dimensionamento dovrà essere pari a 7.276 l/s medi totali cui andranno decurtati i 500 l/s medi che nel rispetto dell'atto concessorio possono essere captati presso le sorgenti di Acquoria, poste a valle dell'area interessata dall'intervento, per un totale di 6.776 l/s medi. A questi dovrà essere aggiunto il quantitativo da destinare allo Stato Vaticano, per un totale di 6.777,04 l/s). Nel caso di funzionamento di una sola delle due condotte in progetto, che sia comunque garantito un funzionamento del sistema a valle di Casa Valeria per una portata pari a quella media attuale pari a 4.200 l/s;

questo obiettivo assume particolare rilievo alla luce del fatto che:

- le risorse delle fonti locali attualmente disponibili nell'area romana e laziale diventano sempre più precarie (anche in relazione alle sempre più stringenti norme sulle acque da destinare al consumo umano);
  - nell'orizzonte temporale pluridecennale di vita utile delle nuove opere è da prevedere un significativo incremento demografico dell'area di Roma con la conseguente crescita del fabbisogno idrico;
  - i non eludibili cambiamenti climatici determinano impatti negativi sugli acquiferi più superficiali e meno estesi che alimentano le fonti locali di approvvigionamento di numerosi comuni;
  - non sono disponibili ulteriori significative sorgenti di acqua potabile e i costi necessari per la loro captazione e adduzione risulterebbero elevatissimi;
  - ulteriori possibili fonti di approvvigionamento idropotabile alternative sono rappresentate solo dai corpi idrici superficiali (in particolare il Fiume Tevere) che, comunque, richiedono complessi e molto costosi processi di potabilizzazione;
- 5) garantire una idonea flessibilità, ispezionabilità, monitorabilità e manutenibilità al sistema, attualmente non garantita a causa delle condizioni dei sistemi di governo e sezionamento del flusso presenti.

Oltre agli obiettivi direttamente perseguibili con la realizzazione della nuova opera, potranno essere *indirettamente* perseguiti ulteriori obiettivi. Tra questi sono da menzionare:

- 6) recupero del carico idraulico attualmente disperso lungo il percorso dai due acquedotti a causa delle intrinseche caratteristiche della modalità di trasporto dei sistemi esistenti;
- 7) possibilità di utilizzo della risorsa per approvvigionare aree attualmente servite tramite il ricorso a fonti locali, da sottoporre a trattamento per essere utilizzate;
- 8) predisposizione a futuro utilizzo del carico idraulico preservato per usi non direttamente connessi con il funzionamento delle esistenti infrastrutture di valle.
- 9) la possibilità di poter mettere fuori servizio alternativamente le due condotte previste per il Nuovo Acquedotto Marcio senza ripercussioni insostenibili sull'approvvigionamento di Roma, al fine di poter eseguire gli eventuali interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria necessari per preservarne l'integrità statica e idraulica, per eliminare le perdite e per prevenire possibili fenomeni di inquinamento e deterioramento della qualità della risorsa;
- 10) la flessibilità, negli anni futuri, di poter disporre al nodo di Tivoli di parte della portata addotta dal Nuovo Acquedotto Marcio con la piezometrica di arrivo al nodo (280 m s.l.m.) e non solo con quella ad oggi disponibile (circa 255 m s.l.m.).

## 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

- Il dimensionamento del nuovo sistema acquedottistico, con funzionamento prevalentemente in pressione, deve essere tale da assicurare il regolare funzionamento anche nell'ipotesi di una piezometrica al manufatto di partenza inferiore di almeno un metro rispetto a quella attuale;
- Il manufatto di partenza del Nuovo Acquedotto Marcio deve essere realizzato al fine di consentire la raccolta e la gestione della portata attualmente adottata con il sistema acquedottistico esistente e predisposto per accogliere l'intera portata di concessione, al netto del contributo delle sorgenti di Acquoria (6,7 m<sup>3</sup>/s). Tale manufatto deve consentire, all'occorrenza, la separazione e lo scarico autonomo della risorsa transitante nei due collettori in arrivo dalla captazione (Collettore sorgenti Alte e Collettore sorgenti Basse), per mezzo di organi di sezionamento e scarico;
- Il nuovo sistema acquedottistico deve garantire l'adduzione della suddetta portata di concessione ai nodi di Casa Valeria e del manufatto di origine dell'VIII sifone con una piezometrica minima di 280 m s.l.m.. Anche in caso di

funzionamento con esclusione di un tratto di acquedotto, deve verificarsi la condizione di adduzione dell'intera portata di concessione con una piezometrica che deve essere superiore a quella che attualmente consente il funzionamento del sistema di valle;

- è prevista la realizzazione di connessioni intermedie tra i due nuovi rami con possibilità di interscambio ai nodi di estremità di ogni tratta di acquedotto compresa tra due connessioni. Con il fuori servizio di una condotta in una tratta, per guasto o manutenzione, la portata di concessione transita in una sola canna garantendo il rispetto delle condizioni summenzionate;
- I nuovi acquedotti devono almeno nel breve periodo continuare ad alimentare le opere di valle con i carichi piezometrici iniziali attuali. Sono pertanto previsti idonei sistemi di dissipazione dell'eventuale eccesso di carico disponibile;
- Il nuovo acquedotto deve garantire l'alimentazione idrica delle utenze oggi già approvvigionate direttamente dagli acquedotti esistenti, prevedendo la realizzazione di opere di derivazione che consentono la continuità di tale alimentazione. In prossimità delle derivazioni da alimentare con il Nuovo Acquedotto Marcio sono previste opportune opere di disconnessione idrauliche onde evitare che le variazioni di portata delle utenze si ripercuotano sul funzionamento dell'acquedotto;
- le velocità limite rispettate nelle condotte sono poste indicativamente pari a: velocità massime =  $2 \div 3 \text{ m/s}$  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 =  $0,4 \div 0,5 \text{ m/s}$  per evitare tempi di permanenza in acquedotto troppo lunghi della risorsa;
- è previsto il posizionamento lungo l'opera della strumentazione necessaria alla misura di portate e livelli in diverse sezioni, idonee per il corretto funzionamento degli strumenti stessi, e adeguatamente accessibili;

- realizzazione di manufatti di regolazione e altri organi di controllo idonei al corretto funzionamento dell'acquedotto.

## 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, anche con idonei mezzi meccanici, nei tratti in galleria dell'acquedotto;
- sono altresì previste tutte le opere di scarico e sfiato tali da consentire il regolare riempimento e vuotamento dell'intero acquedotto entro il tempo massimo di 12 ore;
- 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;
- percorribilità dell'acquedotto e delle relative opere di accesso con mezzi motorizzati, idonei al trasporto di uomini, attrezzature e materiali necessari a svolgere le attività di monitoraggio e manutenzione.

## iii. Aspetti igienico sanitari

- Per le tratte a bassa copertura, in caso di presenza di falda idrica, sono adottate tubazioni almeno in debole pressione o comunque in grado, in base alle tecnologie costruttive, di annullare il rischio di qualsiasi permeazione verso l'interno dell'acquedotto;

- parimenti, le tratte in galleria dell’acquedotto non interferiscono con gli acquiferi locali o regionali ammettendo soltanto modeste intercettazioni in modo da prevenire l’ingresso di acque esterne all’acquedotto in grado di comprometterne la qualità;
- è posta particolare attenzione 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	ULTERIORI INDICAZIONI O CRITERI PROGETTUALI
Idraulici	Flessibilità di esercizio con connessioni intermedie tra i due nuovi rami
	Mantenimento delle derivazioni esistenti per l’approvvigionamento
	Piezometrica presso i manufatti di arrivo a Casa Valeria e VIII sifone
	Velocità massima e minima (pendenze, sezioni, moto, stato invecchiamento condotte)
	Realizzazione tratti idonei per le misure idrauliche (portate, livelli)
	Possibilità di scarico del nuovo sistema acquedottistico
	Flessibilità di esercizio con connessioni intermedie tra i due nuovi rami
Gestionali e Manutentivi	Tempi di svuotamento del nuovo acquedotto < 12 ore
	Sistemi e procedure per l’ispezione e manutenzione
	Sistemi e procedure per gli interventi
	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

### 3.2 Aspetti prestazionali di base del sistema

Per le grandi infrastrutture risulta particolarmente idoneo avvalersi di un approccio alla progettazione di carattere prestazionale (performance-based design), che fonda le basi sull'esplicitazione a monte della fase di progetto delle prestazioni e dei requisiti richiesti dal sistema durante tutta la vita nominale, definita convenzionalmente come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. Tra i requisiti da considerare per una corretta progettazione risultano centrali quelli di affidabilità, durabilità e robustezza.

Per quanto riguarda il sistema del Nuovo Acquedotto Marcio, vista la natura dell'opera (infrastruttura prevalentemente a carattere lineare), gli obiettivi di robustezza e affidabilità indicati possono raggiungersi sfruttando una ridondanza strutturale. L'affidabilità dell'acquedotto infatti, cresce al crescere del numero di elementi posti in parallelo, cioè capaci di svolgere la stessa funzione. Pertanto, partendo dal presupposto che l'acquedotto esistente non può essere ispezionato per l'impossibilità di metterlo fuori servizio, per non causare una lunga e non sostenibile interruzione dell'approvvigionamento idrico dell'ATO2, appare fondamentale prevedere una nuova opera che assolva allo stesso compito. Inoltre, è opportuno segnalare che l'assunto di opera strategica conferisce all'infrastruttura acquedottista una classe di affidabilità elevata.

In sintesi una volta realizzate entrambe le linee di acquedotto nella fase di esercizio definitiva, sarà possibile pervenire ai seguenti risultati:

- Possibilità di derivare verso valle l'intera portata di concessione anche in caso di una parziale interruzione delle due canne costituenti il Nuovo Sistema Acquedottistico.
- Incremento nel breve periodo della quota piezometrica disponibile presso Casa Valeria e predisposizione per un eventuale incremento futuro qualora richiesto dal sistema di valle.

- Raggiungimento di idonea protezione igienico sanitaria per la totalità della portata addotta del sistema, attraverso la sostituzione degli esistenti acquedotti che attualmente non forniscono le adeguate garanzie prestazionali in tal senso.
- Approvvigionamento di tutte le utenze servite dall'attuale acquedotto Marcio sistema Marcio, comprese quelle lungo il tracciato.
- Completa ispezionabilità e manutenibilità delle opere costituenti il Nuovo Acquedotto Marcio.

Partendo dalla definizione della durabilità intesa come la capacità dell'opera di resistere ai fenomeni aggressivi ambientali durante la sua vita nominale, mantenendo inalterate le funzionalità per la quale è stata concepita, è necessario prevedere nel progetto non solo i fenomeni meccanici legati ai materiali ma anche i fenomeni di degrado ambientale. Particolare attenzione è stata posta oltre alla progettazione dei materiali costituenti le diverse parti dell'opera anche ai dettagli costruttivi e realizzativi, che preservino la costruzione dall'azione degli agenti atmosferici, dalle infiltrazioni d'acqua, dall'esposizione a sostanze aggressive, etc.

La progettazione che contempla la prestazione di maggiore durabilità delle opere prevede l'elaborazione di un piano di manutenzione ordinaria che mette in relazione le parti d'opera da mantenere con i rischi a cui la struttura va incontro, le diverse tipologie di interventi da attuare, i tempi in cui agire. In maniera parallela deve essere previsto e messo in opera un sistema di monitoraggio e controllo delle componenti strutturali e funzionali dell'opera, che ne preservi gli specifici livelli prestazionali per cui sono stati progettati per tutta la vita nominale dell'intera infrastruttura.

## 4 Criteri di progettazione idraulica

### 4.1 Equazioni adottate

#### Dimensionamento delle condotte a superficie libera

Per il calcolo dei livelli ed il relativo dimensionamento delle condotte in caso di moto a superficie libera è stata utilizzata la formula di Chezy:

$$v = \chi \sqrt{R i}$$

dove  $R$  è il raggio idraulico, rapporto tra l'area e il perimetro della sezione bagnata della condotta,  $i$  la pendenza del fondo.

Il parametro di Chézy  $\chi [m^{1/2}/s]$  è determinato mediante la formula empirica di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_s R^{\frac{1}{6}}$$

con  $k_s [m^{\frac{1}{3}}/s]$  coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler.

#### Dimensionamento delle condotte in pressione

Per il calcolo delle perdite di carico distribuite nel caso di moto uniforme nelle condotte in pressione è stata utilizzata la formula di Darcy-Weisbach per il calcolo della cadente piezometrica  $J [m/m]$ :

$$J = \lambda \frac{v^2}{2gD}$$

Dove:

$D [m]$ : diametro del tubo

$\lambda$ : indice di resistenza

$V [m/s]$ : velocità media della corrente

$g$  [ $m/s^2$ ]: accelerazione di gravità

L'indice di resistenza  $\lambda$  è in generale funzione della scabrezza relativa del tubo  $\varepsilon/D$  (in cui  $\varepsilon$  [ $mm$ ] è il coefficiente di scabrezza (Tabella 3) e rappresenta lo spessore medio delle asperità presenti sulla superficie intera del tubo e  $D$  [ $mm$ ] è il diametro del tubo stesso) e del numero di Reynolds,  $Re$ , definito come:

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

Dove:

$D$  [ $m$ ]: diametro del tubo

$V$  [ $m/s$ ]: velocità media della corrente

$\rho$  [ $kg/m^3$ ]: densità del fluido

$\mu$  [ $kg/m s$ ]: viscosità dinamica del fluido

$\nu$  [ $m^2/s$ ]: viscosità cinematica del fluido

Per il calcolo dell'indice di resistenza  $\lambda$  si utilizza la formula di Colebrook-White, la cui rappresentazione grafica è data dal diagramma logaritmico di Moody, come un fascio di curve a scabrezze relative  $\varepsilon/D$  costanti.

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

Dove:

$\lambda$ : indice di resistenza

$\varepsilon$  [ $mm$ ]: coefficiente di scabrezza

$D$  [ $mm$ ]: diametro del tubo

Comunemente, si ricorre all'abaco di Moody (riportato in Figura 1) nel quale, seguendo la curva relativa al prefissato valore di  $\varepsilon/D$ , per un assegnato valore di  $Re$  in ascisse si trova il valore di  $\lambda$  in ordinate.

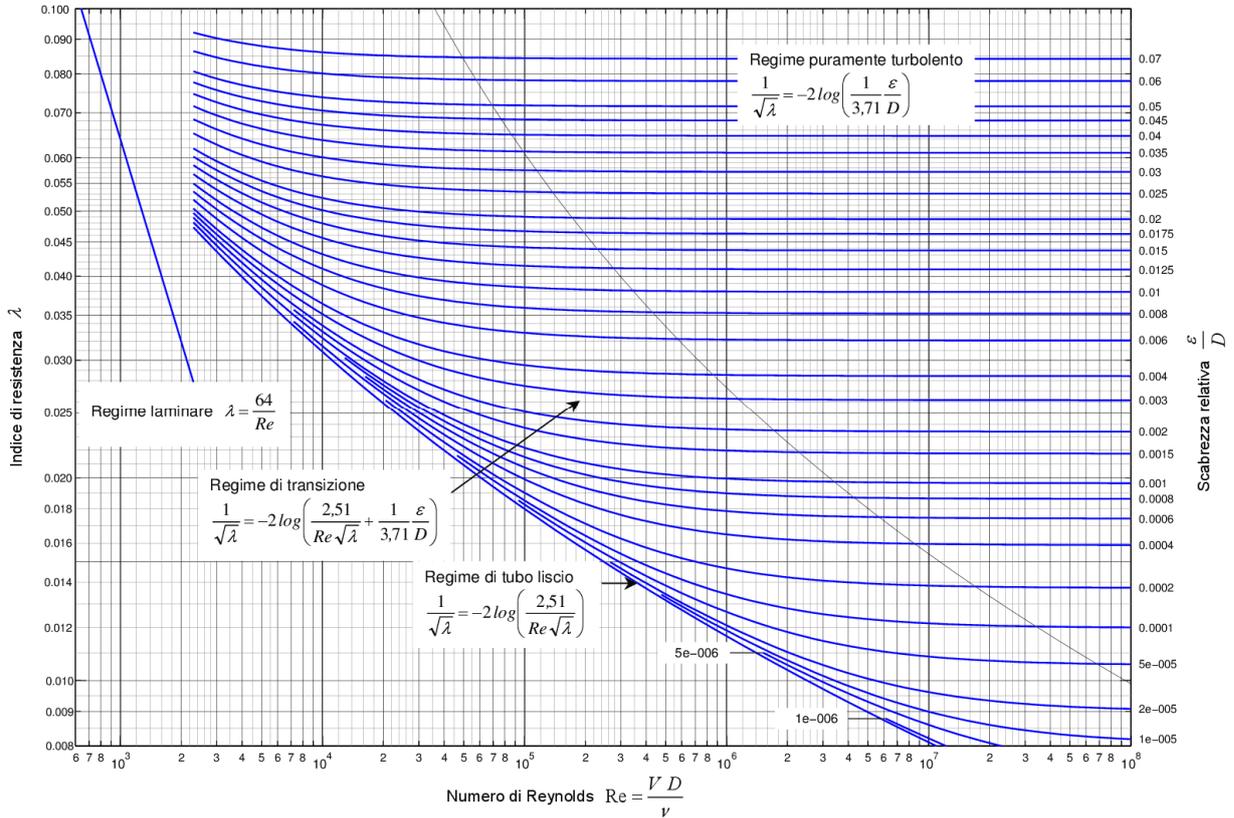


Figura 1 Abaco di Moody

Alle perdite di carico distribuite vanno aggiunte le perdite di carico concentrate,  $\Delta H [m]$ , 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 alle interconnessioni presenti lungo il tracciato (comprensivo di apparecchiature, pezzi speciali e curve):  $K = 2$ .

Le sezioni ipotizzate per il Nuovo Acquedotto Marcio sono tali da garantire il trasporto verso valle della portata di concessione e contestualmente agevolare le fasi di manutenzione ed ispezione dell'infrastruttura grazie alla geometria delle sezioni stesse.

## 4.2 Sezioni tipo, materiali e rivestimenti delle condotte

La scelta dei procedimenti costruttivi e dei materiali delle condotte deve essere oggetto di adeguato esame, al fine di garantire il corretto funzionamento idraulico del sistema. In particolare, è necessario porre attenzione ai seguenti aspetti:

- *tenuta idraulica delle condotte* – le canalizzazioni, comprensive di giunti, dei manufatti e dei pezzi speciali, nelle previste condizioni di esercizio, deve essere impermeabile alla penetrazione di acque dall'esterno e alla fuoriuscita di acqua dall'interno.;
- *interazione canalizzazione-fluido* – le pareti e la struttura delle canalizzazioni, dei giunti e dei pezzi speciali non devono essere degradate dall'azione di natura chimica-fisica esercitate dalla risorsa trasportata.

Di seguito vengono descritte sezioni tipo, materiali, rivestimenti delle condotte e relative scabrezze per le macrotratte costituenti il sistema acquedottistico.

TC1 - Tratto comune iniziale: dal Manufatto Origine degli Acquedotti a Ponte Anticoli (nodo A).

Tale tratta è costituita da due condotte DN2000 con funzionamento prevalentemente a superficie libera, fatta eccezione per alcuni brevi tratti di superamento di interferenze con il reticolo idrografico superficiale, realizzata interamente con posa a cielo aperto all'interno di uno scatolare in c.a. . Al fine di garantire idonea protezione igienico sanitaria della risorsa idrica è previsto il ricorso a tubazioni in acciaio.

Il rivestimento interno per questo tipo di tubazioni è realizzato in resina epossidica che ne aumenta la conducibilità idraulica e la durabilità nel tempo.

In termini di scabrezze relative, in tale tratta è stato adottato un coefficiente di Gauckler-Strickler  $k_s$  pari a 90  $[m^{1/3}/s]$ . Il valore attribuito a tale parametro risulta essere in ragione della tipologia di rivestimento interno e secondo l'esperienza gestionale su impianti di tipologia analoga, ampiamente cautelativo e da considerarsi relativo alla condizione di "tubi usati".

Per cautelarsi però 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 rispetto a quelli che si possono osservare in sistemi analoghi. Tali verifiche sono state effettuate utilizzando un valore  $k_s$  di Gauckler-Strickler pari a 80  $[m^{1/3}/s]$ .

#### TR2M1 - TR4M1 - TR2M2 - TR4M2 – Tratte realizzate in microtunnelling

Tali tratti, che costituiscono la maggior parte del tracciato di progetto sono costituite da condotte DN1800 di c.a.v. rivestito internamente da HDPE termosaldato, posate attraverso la tecnologia di scavo in microtunnelling.

Per tali tratte, visto il funzionamento in pressione, si utilizza per il calcolo delle perdite di carico la formula di Colebrook-White, facendo riferimento alla scabrezza assoluta  $\epsilon$ .

I valori di fabbrica dei rivestimenti interni in HDPE per tubazioni prefabbricate sono compresi tra 0,003 e 0,015 mm.

In ragione di questo rivestimento plastico perfettamente liscio che verrà posto in opera si è deciso di fare riferimento a una scabrezza assoluta di  $\epsilon=0,02$  mm, così da considerare anche una eventuale usura della condotta.

Analogamente a quanto prima descritto, per cautelarsi 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 rispetto a quelli che si possono osservare in sistemi analoghi. Tali verifiche sono state effettuate utilizzando un valore  $\epsilon=0,2$  mm.

#### G1- Galleria Vicovaro

Tratto che si sviluppa dalla vasca di carico a monte di Vicovaro fino allo sbocco TBM MSB-G1, in cui è previsto che i tracciati viaggino in galleria per una lunghezza pari a circa 4500m. Lo scavo sarà realizzato con una Rock TBM di diametro interno di 8m; il tratto in esame si sviluppa planimetricamente in curva, con un raggio planimetrico medio di circa 2000m, con una la copertura media di circa 30m.

All'interno della galleria è previsto il posizionamento di due tubazioni di acciaio DN1800 con funzionamento in pressione.

Il rivestimento interno per questo tipo di tubazioni è realizzato in resina epossidica che ne aumenta la conducibilità idraulica e la durabilità nel tempo.

Anche in questo caso, dato il funzionamento in pressione di tale tratta si fa riferimento per il calcolo delle perdite di carico alla formulazione di Colebrook-White, con un valore di scabrezza assoluta  $\epsilon=0,05$  mm.

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. Per tale tratta è stata condotta una verifica utilizzando un valore  $\epsilon=0,4$  mm.

#### G2 - Galleria San Polo

In tale tratta entrambi i tracciati TR2 e TR4 viaggiano in galleria carrabile per una lunghezza pari a circa 3750m. Lo scavo sarà realizzato con una TBM di diametro

interno di 8 m. Il tratto in esame si sviluppa planimetricamente in rettilineo con una copertura media di circa 90m.

All'interno della galleria è previsto il posizionamento delle due tubazioni di acciaio DN1800 e di una via di accesso carrabile per l'ispezione e l'esercizio che consente l'utilizzo di mezzi gommati elettrici per eventuali operazioni di sostituzione/riparazione delle condotte e degli organi accessori.

Il rivestimento interno per questo tipo di tubazioni è realizzato in resina epossidica che ne aumenta la conducibilità idraulica e la durabilità nel tempo.

Anche in questo caso, dato il funzionamento in pressione di tale tratta si fa riferimento per il calcolo delle perdite di carico alla formulazione di Colebrook-White, con un valore di scabrezza assoluta  $\epsilon=0,05$  mm.

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. Per tale tratta è stata condotta una verifica utilizzando un valore  $\epsilon=0,4$  mm.

**Tabella 2 Valori del coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler assegnati alle condotte in opera**

Sezione Tipo	Funzionamento	Scabrezza di progetto	Scabrezza peggiorativa
TC1 – Tubazioni circolari DN2000 in acciaio rivestimento resina epossidica	Superficie libera	$90 \text{ m}^{\frac{1}{3}}/\text{s}$	$80 \text{ m}^{\frac{1}{3}}/\text{s}$
TR2M1 - TR4M1 - TR2M2 - TR4M2 – Tubazioni circolari DN1800 in c.a.v in <i>microtunnelling</i> rivestimento HDPE	In pressione	$\epsilon = 0,02 \text{ mm}$	$\epsilon = 0,2 \text{ mm}$
G1 Tubazioni circolari DN1800 in acciaio – <i>TBM</i> rivestimento resina epossidica	In pressione	$\epsilon = 0,05 \text{ mm}$	$\epsilon = 0,4 \text{ mm}$
G2 Tubazioni circolari DN1800 in acciaio – <i>TBM</i> rivestimento resina epossidica	In pressione	$\epsilon = 0,05 \text{ mm}$	$\epsilon = 0,4 \text{ mm}$
TC2: Tubazioni circolari DN1000 in acciaio – rivestimento resina epossidica	In pressione	$\epsilon = 0,05 \text{ mm}$	$\epsilon = 0,4 \text{ mm}$

### 4.3 Soglie

Lungo il tracciato dell'opera in progetto è prevista l'introduzione di setti di sfioro, aventi funzione di fissare il livello idrico in prossimità di particolari nodi dell'acquedotto.

Per la verifica di tali elementi, nota la portata  $Q$  [ $m^3/s$ ] e la larghezza  $L$  [ $m$ ] della traversa, dalla formula degli stramazzi è possibile determinare l'altezza di sfioro  $h_0$  [ $m$ ] sulla soglia dall'equazione:

$$Q = \mu L h_0 \sqrt{2g h_0} \quad (4.6)$$

ove il coefficiente di efflusso  $\mu$ , assegnato secondo la forma e la modalità di costruzione del manufatto è stato imposto, nelle opere di progetto, pari a 0.4.

### 4.4 Il problema dell'aria nelle condotte in pressione

#### Sfiati

L'aria contenuta nelle condotte in pressione si accumula nei vertici verticali delle condotte stesse, ove può rimanere imprigionata o trascinata. Tale aria è quella presente nelle condotte prima dell'immissione dell'acqua in essa ed in occasione delle manovre di svuotamento e riempimento delle stesse. In entrambi i casi, è necessario che l'aria possa rapidamente fuoriuscire al fine di garantire la regolarità del flusso in pressione ed evitare depressioni nella condotta che potrebbero provocare stati di tensionali indesiderati. La presenza d'aria in condotta può, infatti, provocare la riduzione della sezione di deflusso, rotture dovuti all'espansione della bolla d'aria ed al suo spostamento, il disinnescio di pompe o sifoni.

Da tali considerazioni risulta evidente la necessità di introdurre lungo le condotte, di norma in prossimità dei vertici altimetrici, luoghi in cui rimane intrappolata l'aria proveniente dal tratto in salita che precede il vertice così come da quello in discesa che lo segue, opportune apparecchiature (*sfiati*) che permettano una rapida entrata ed uscita dell'aria nelle condotte stesse. Per consentire alla bolla d'aria di risalire le

condotte in cui si è venuta a formare, normalmente a queste viene assegnata una pendenza minima pari al 2 x 1.000 in salita e del 4 x 1.000 in discesa.

Le dimensioni e tipologie differiscono tra loro in generale per la portata d'aria che possono far transitare, effettuando la scelta sulla base del diametro della condotta, della lunghezza del tratto sotteso dallo sfiato e dal tempo di riempimento e svuotamento.

Gli sfiati consentono quindi:

- la *fuoriuscita di aria* eventualmente presente nella condotta, aria che ne impedirebbe il regolare funzionamento;
- l'*immissione di aria* a seguito di manovre di svuotamento della condotta, evitando il crearsi di depressioni e proteggere dallo schiacciamento;
- funzione di *degassaggio* continuo in funzionamento normale.

Nel caso in esame, è possibile prevedere l'installazione di *organi di sfiato a tre funzioni* (diverse valvole per ciascuno sfiato), al fine di garantire un principio generale di ridondanza e robustezza del sistema e per consentire un funzionamento diversificato in ragione della quantità di aria da fare uscire/entrare.

Il funzionamento sostanziale della singola valvola consiste in un galleggiante che in condizioni normali è premuto contro la parte superiore dello sfiato e chiude l'uscita della valvola. In presenza di aria ne consente l'uscita staccandosi dai fori e galleggiando sull'acqua o posandosi sul supporto di ferro. Tale funzionamento avviene secondo l'equilibrio di tre forze:

1. la forza peso  $G$  del galleggiante verticale ed orientata verso il basso;
2. la spinta sul galleggiante, correlata alla pressione  $p$  agente entro la cassa con risultante, orientata verso l'alto nella direzione verticale, di intensità pari a  $pA$ , con  $A$  area della luce del foro di uscita dell'aria dalla cassa;
3. la spinta di galleggiamento, in quanto corpo parzialmente immerso in acqua, con risultante, orientata verso l'alto nella direzione verticale, di intensità pari a  $\gamma V$ , con  $\gamma$  peso specifico dell'acqua e  $V$  volume immerso.

Nella condizione di sfiato chiuso si ha  $pA + \gamma V > G$ .

Al progressivo accumulo di aria nella cassa corrisponde progressivo abbassamento del livello idrico nella stessa e correlata riduzione del valore del volume immerso  $V$ . Raggiunta la condizione  $pA + \gamma V = G$  si è in incipiente apertura dello sfiato.

Lo sfiato a tre funzioni è in pratica l'accoppiamento di due sfiati: uno in grado di evacuare grandi portate d'aria, attraverso sezioni di uscita di rilevanti dimensioni, funzionante in caso di vuotamento e di riempimento della condotta, e uno funzionante come sfiato automatico per il degassaggio continuo delle frazioni residue trascinate dal moto del liquido. Per quest'ultima funzione, dati i minori volumi in gioco, si utilizzano sezioni di uscita ridotte.

La luce ampia, unitamente alla luce piccola, è attiva unicamente nelle fasi rispettivamente di riempimento e vuotatura delle condotte, mentre, durante l'esercizio ordinario, allo smaltimento dell'aria, unitamente a quantità limitatissime di acqua, provvede lo *spillo* collocato nella parte superiore della cassa dell'organo.

In tale condizione di funzionamento ordinario, date le ridotte dimensioni delle sezioni di efflusso, di diametro  $d$ , rispetto al diametro  $D$  della tubazione (usualmente  $d \leq D/63$ ) non si dà origine a sovrappressioni rilevanti nel sistema all'atto della chiusura, ad opera di un otturatore, della sezione di uscita o all'atto della sostituzione di acqua ad aria nell'efflusso.

Le fasi di manovra di riempimento o svuotamento, invece, sono potenzialmente in grado di provocare l'instaurarsi di situazioni transitorie di una certa entità. Dovendo infatti essere:

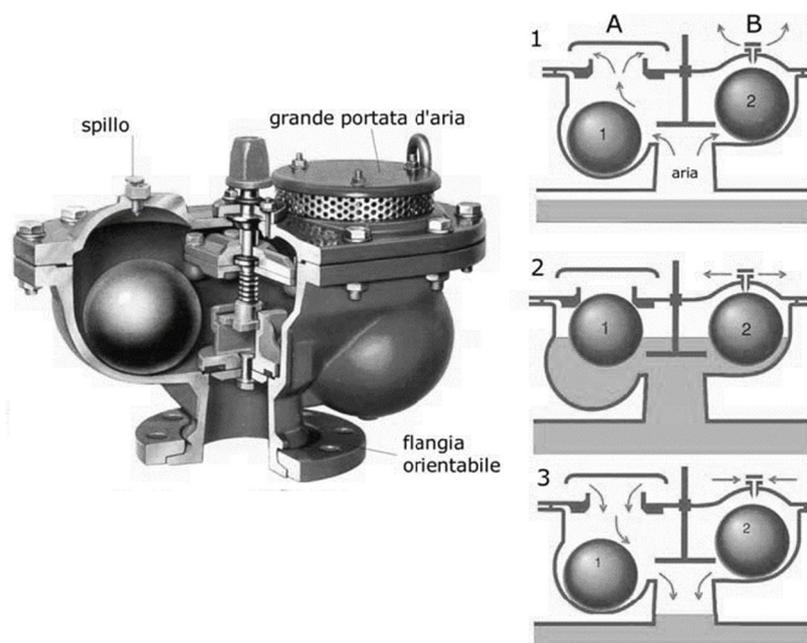
$$\frac{d}{D} > \sqrt{\frac{v}{195}}$$

con  $v$  velocità prefissata di riempimento della condotta, la portata d'aria uscente è tale da provocare accelerazioni non trascurabili della colonna idrica. La successiva sostituzione di acqua ad aria nell'efflusso o, alternativamente, la chiusura

dell'otturatore della valvola, provocano le rilevanti variazioni di velocità della colonna idrica che sono la causa del transitorio predetto.

Le logiche di avviamento del circuito dovranno quindi contemplare manovre di riempimento, caratterizzate da basse velocità, in particolare, quando il circuito presenta, oltre agli sfiati posizionati sui vertici almetrici principali e secondari, sfiati di estremità o collocati a monte di valvole od organi di intercettazione.

La schematizzazione del funzionamento di uno sfiato a tre funzioni è riportato nella seguente figura.



**Figura 2** Schema di funzionamento di organo di sfiato a tre funzioni. (1) Fase di riempimento della condotta (2) Fase di esercizio o degassaggio (3) Fase di vuotatura della condotta con rientro d'aria

La sezione di imbocco del boccaglio deve essere contenuta al fine di svolgere la funzione di *trappola d'aria*: tanto più piccola quanto maggiore è la pressione d'esercizio. Supponendo infatti che il galleggiante sia completamente immerso in aria, affinché esso possa staccarsi il prodotto della pressione interna per l'area della sezione deve essere inferiore al suo peso. A tale risultato si perviene facilmente considerando che su tutta la superficie della sfera (immersa in aria) agisce la stessa

pressione che si realizza nella condotta, con eccezione dell'area della sezione d'imbocco del boccaglio ove vige la pressione atmosferica.

Nei tratti in pressione dell'opera in progetto sono quindi previsti punti di sfiato, necessari al corretto funzionamento dell'acquedotto. Il numero e la distanza reciproca tra gli sfiati, così come la loro dimensione, è dipendente dall'entità della pressione che si ha sulla condotta, tale quindi da consentire il regolare degassaggio della condotta in condizioni di esercizio, nonché l'ingresso/uscita di aria nelle fasi di vuotatura/riempimento.

Affinché l'espulsione dell'aria avvenga rapidamente, è opportuno evitare tratti di tubazione orizzontali, perciò si assegna al profilo longitudinale della tubazione un andamento a *denti di sega*, con tratti ascendenti nel senso del moto aventi una pendenza minima pari al 2x1000 e tratti discendenti con pendenza del 4x1000. Nei vertici più elevati del profilo si dispongono gli sfiati e in quelli più bassi gli scarichi.

È da ricordare che le portate di aria procurate dalle differenze di pressione nei due sensi vanno calcolate secondo le leggi della termodinamica. In questo caso si tratta di una trasformazione adiabatica in quanto non c'è senza scambio di calore tra il sistema e l'ambiente.

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:

$$z = \xi \rho \frac{v^2}{2g} \quad (5.10)$$

In cui  $z$  è la perdita di carico concentrata, espressa in *mm c.a.*,  $\xi$  è un coefficiente di perdita di carico localizzata, adimensionale,  $\rho$  [ $kg/m^3$ ] 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  $\xi$  sono disponibili in letteratura e sono stati valutati di caso in caso a seconda del tipo di sfiato ipotizzato.

In ogni caso ogni sfiato è stato dimensionato per consentire la corretta vuotatura e riempimento delle condotte. Durante lo svuotamento deve essere garantita una portata di aria in ingresso pari a quella di acqua in uscita dalle tubazioni, senza introdurre nelle stesse depressioni eccessive. Viceversa nelle fasi di riempimento.

#### 4.5 Condizioni di moto vario nelle condotte in pressione

I processi di moto vario, generalmente, sono generati da una variazione di portata conseguente all'attivazione di un organo regolatore posto in una sezione della condotta. Tale moto è caratterizzato dalla variazione nel tempo e nello spazio delle caratteristiche della corrente, ossia pressione, velocità e portata. Altra caratteristica, sono presenti scambi di energia meccanica tra le diverse parti del liquido, ed è possibile che la linea dei carichi totali sia ascendente nel senso del moto. Tale comportamento anomalo dell'andamento della linea dei carichi totali è giustificato se con riferimento all'intera massa liquida interessata dal movimento.

La variazione di portata, realizzata dall'organo regolatore che innesca il fenomeno di moto vario, è trasmessa alle sezioni adiacenti sotto forma di *onda di pressione*. La variazione della pressione nelle sezioni della condotta genera, di conseguenza, una compressione o dilatazione della massa liquida.

I tempi di percorrenza della condotta da parte della perturbazione sono confrontabili con i tempi di manovra dell'organo regolatore, dunque è necessario tenere conto del

reale valore della celerità senza prescindere dall'elasticità di volume del liquido e dalla deformabilità della tubazione. Il processo descritto è noto anche come *colpo d'ariete*.

Lo studio analitico del moto vario è condotto facendo riferimento alle equazioni del moto e alle relazioni di deformabilità della condotta (*ipotesi elastiche*),  $A = A(p)$ , e comprimibilità del fluido, con densità funzione della sola pressione  $\rho = \rho(p)$  (*moto barotropico*), e peso specifico  $\gamma = \gamma(p, s)$ . Le equazioni del moto, per un fluido comprimibile, assumono la forma:

$$\frac{\partial(\rho Q)}{\partial s} + \frac{\partial(\rho A)}{\partial t} = v \frac{\partial(\rho A)}{\partial s} + \rho A \frac{\partial v}{\partial s} + \left( \rho \frac{dA}{dp} + A \frac{d\rho}{dp} \right) \frac{\partial p}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial s} \left( z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right) + \frac{p}{\gamma^2} \frac{\partial \gamma}{\partial s} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + J = 0$$

avendo assunto  $s$  concorde con la direzione del moto. Nelle ipotesi aggiuntive di: liquido praticamente incomprimibile, ossia modulo di elasticità di volume del fluido costante al variare della pressione,  $\varepsilon = \rho \frac{dp}{dp}$ ; condotta cilindrica e praticamente indeformabile,  $\frac{\partial A}{\partial s}$  e  $\frac{\partial \rho}{\partial s}$  ritenuti nulli; resistenze trascurabili e altezze cinetiche  $\frac{v^2}{2g}$  trascurabili rispetto alle altezze piezometriche, ossia quota piezometrica  $h = z + p/\gamma$ ; le precedenti equazioni sono semplificate come:

$$\frac{\partial h}{\partial s} = \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$$

$$\frac{\partial v}{\partial s} = \gamma \left[ \frac{1}{A} \frac{dA}{dp} + \frac{1}{\varepsilon} \right] \frac{\partial h}{\partial t}$$

avendo assunto quale verso positivo delle ascisse  $s$  quello contrario alla direzione del moto permanente. Il calcolo della perturbazione originata dalle operazioni di manovra può essere suddiviso nelle due fasi successive di *colpo diretto* e di *contraccolpo* nella quale si ha la sovrapposizione delle diverse onde di pressione che si propagano nei due sensi lungo la condotta.

Nelle opere in progetto, lo studio di tale fenomeno e le relative soluzioni che cautelano da esso, sono studiate per il sistema di regolazione della portata che interessa i manufatti in progetto.

Per determinare le sovrappressioni dovute alla chiusura degli organi di manovra sono state usate le formulazioni seguenti.

Al fine di determinare la sovrappressione 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

$\varepsilon$  [N/m<sup>2</sup>]: coefficiente di comprimibilità del fluido ( $\varepsilon_{acqua} = 2,03E + 09$  N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]: densità del fluido ( $\rho_{acqua\ 20^\circ C} = 998$  kg/m<sup>3</sup>)

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

$E$  [N/m<sup>2</sup>]: 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<sup>2</sup>]: 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 [ $daN/cm^2$ ]			
Pressione Idrostatica	6	6÷10	10÷20	20÷30
Sovrappressione massima ammissibile	3	3÷4	4÷5	5÷6

## 4.6 Modello matematico

### 4.6.1 InfoWorks ICM

La soluzione progettuale individuata è analizzata per mezzo di una serie di simulazioni condotte con il software di calcolo *InfoWorks ICM* prodotto da *HR Wallingford Ltd.*, al fine di valutare il funzionamento idraulico dell'opera in progetto nelle diverse condizioni di esercizio.

Sul medesimo modello matematico dell'opera in progetto sono stati di fatto realizzati diversi distinti scenari di portata e di funzionamento idraulico dei tratti di condotta che costituiscono l'opera, simulando in ciascuno di essi sia la condizione di esercizio ordinario che le diverse configurazioni di esercizio straordinario.

Per le valutazioni sulla fattibilità idraulica delle scelte progettuali, il software di calcolo utilizzato è basato sulla risoluzione delle equazioni di conservazione della massa e di bilancio della quantità di moto. Tali equazioni alla base del modello idraulico possono essere distinte a seconda del funzionamento idraulico, così come di seguito riportate.

#### Equazioni alla base del modello nelle condizioni di moto a superficie libera

Nel modello utilizzato le condotte sono rappresentate come collegamento tra due nodi con caratteristiche geometriche definite. Le condizioni al contorno in corrispondenza del collegamento nodo-condotta sono definite analogamente ad uno scarico (*outfall*) o perdita concentrata (*headloss*). La pendenza è definita dai livelli di scorrimento alle estremità, oltre ad eventuali salti di fondo o contropendenze.

Nel caso di moto a superficie libera, il modello di calcolo risolve le equazioni di conservazione della massa e bilancio della quantità di moto di De Saint-Venant:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left( \cos\vartheta \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) = 0$$

con  $Q$  [ $m^3/s$ ] portata,  $A$  [ $m^2$ ] area della sezione trasversale,  $g$  [ $m/s^2$ ] accelerazione di gravità,  $\vartheta$  [gradi] angolo della condotta rispetto all'orizzontale,  $S_0$  [ $m/m$ ] pendenza della condotta e il termine  $K$  [ $m^3/s$ ], definito *conveyance*, funzione che misura l'attitudine di una data sezione a far defluire le portate, basata sulle espressioni di *Colebrook-White* o di *Manning*.

Al fine di simulare il funzionamento idraulico misto dell'opera in progetto, le equazioni del moto di De Saint-Venant, valide nel caso di moto a superficie libera, sono utilizzate nella transizione dal funzionamento a superficie libera al funzionamento in pressione per mezzo della tecnica dello *slot di Preissmann*. Tale tecnica rappresenta le transizioni di moto per mezzo di una fessura (*slot*) posta alla sommità della condotta dalla quale ha origine un piezometro di lunghezza indefinita all'interno del quale l'acqua risale al livello corrispondente alla pressione raggiunta. Lo schema è quindi quello di un moto a pelo libero seppure con una larghezza in superficie molto piccola. Così facendo, la simulazione non incontra discontinuità in corrispondenza del passaggio da moto a superficie libera a moto in pressione.

Si introduce quindi un termine relativamente piccolo per determinare, in modo fittizio, la larghezza della superficie:

$$B = \frac{gA_f}{C_p^2}$$

dove  $B$  [ $m$ ] è la larghezza della superficie libera nella fessura,  $g$  [ $m/s^2$ ] accelerazione di gravità,  $A_f$  [ $m^2$ ] area della sezione piena (*pipe full area*) e  $C_p$  [ $m/s$ ] celerità dell'onda di pressione nella condotta.

Porre lo slot di Preissmann direttamente sulla sommità della condotta può portare a bruschi cambiamenti nella derivata della larghezza della superficie e nella celerità d'onda. Al fine di evitare tali errori nel calcolo numerico, il modello prevede una regione di transizione tra la reale geometria della condotta e la larghezza dello slot.

Quest'ultima è definita in modo tale che la celerità d'onda nella fessura stessa abbia un valore dieci volte maggiore rispetto al valore che assume a metà altezza della condotta (larghezza della fessura pari al 2% della larghezza della condotta).

### Equazioni alla base del modello nelle condizioni di moto in pressione

Nel caso di funzionamento idraulico in pressione, il modello di calcolo utilizza un differente metodo di risoluzione basato sul sistema di equazioni:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} - S_0 + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) = 0$$

con  $Q$  [ $m^3/s$ ] portata,  $A$  [ $m^2$ ] area della sezione trasversale,  $g$  [ $m/s^2$ ] accelerazione di gravità,  $S_0$  [ $m/m$ ] pendenza della condotta e  $K$  [ $m^3/s$ ] perdita di carico a sezione piena.

### Schema numerico

Le equazioni del moto sono discretizzate utilizzando uno schema a 4 punti di Preissmann in cui le funzioni e derivate sono sostituite da differenze finite medie e ponderate nel tempo e nello spazio. Per una generica funzione  $f$ :

$$f = \theta \left( \frac{f_{i+1}^{n+1} + f_i^{n+1}}{2} \right) + (1 - \theta) \left( \frac{f_{i+1}^n + f_i^n}{2} \right)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \theta \left( \frac{f_{i+1}^{n+1} - f_i^{n+1}}{\Delta x} \right) + (1 - \theta) \left( \frac{f_{i+1}^n - f_i^n}{\Delta x} \right)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{2} \left( \frac{f_{i+1}^{n+1} - f_i^n}{\Delta t} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{f_i^{n+1} - f_i^n}{\Delta t} \right)$$

dove  $f_i^n$  sta per  $f(i\Delta x, n\Delta t)$ .

Le impostazioni di default prevedono una discretizzazione spaziale ( $\Delta x$ ) di ciascuna condotta in N punti posti ad intervalli pari a 20 volte il diametro della condotta stessa.

La natura implicita dello schema di calcolo adottato rimuove i vincoli sulla discretizzazione temporale  $\Delta t$  (condizione di *Courant-Levy*) e assicura una stabilità numerica che può essere definita in termini di  $\theta \geq 1/2$ . Si assume  $\theta = 0,65$ , introducendo una piccola diffusione numerica.

Come intervallo temporale per tutte le simulazioni condotte viene assunto un valore pari a 1 secondo. Da precedenti lavori si è osservato come, per tale intervallo di discretizzazione temporale i restanti parametri non influenzano la soluzione.

Dato N il numero di punti che suddividono la lunghezza totale di ciascun ramo, vi sono  $2N-2$  equazioni di De Saint-Venant per ogni condotta. Nel caso in cui il collegamento sia in realtà un controllo (es. uno sfioro) anziché un condotto, i punti sono legati dalla relazione di perdita di carico prescritta.

Il sistema di equazioni locali deve essere completato da due condizioni al contorno, calcolate in corrispondenza di ciascun nodo. La prima condizione è genericamente espressa come  $f(Q_j, y_j, Y_l)$ , relazione che lega la portata  $Q_j$  ed il livello  $y_j$  al livello del nodo  $Y_l$ . La seconda condizione al contorno, è individuata dall'equazione di continuità:

$$Q_i + \sum B_j Q_j = A \frac{dY_i}{dt}$$

Il sistema risultante dall'insieme delle equazioni sopra descritte è un sistema algebrico non lineare di equazioni alle differenze finite, il cui avanzamento nel tempo è risolto per mezzo del metodo iterativo di *Newton-Raphson*.

## 4.7 Organi di sezionamento

Nel progetto è previsto il ricorso a diversi organi di sezionamento, quali paratoie di sezionamento nei manufatti e valvole a farfalla sulle condotte di grande diametro.

Tutti questi organi, oltre alla tenuta idraulica durante l'esercizio mentre durante gli eventuali fuori servizio dovranno garantire l'ispezionabilità delle condotte anche in caso di azionamento errato, scongiurando aperture accidentali delle apparecchiature.

Tutti gli organi di sezionamento previsti all'interno del progetto dovranno essere dotati di dispositivi o organi di sicurezza idonei al citato scopo.

## 5 Opere di progetto

Di seguito si riporta una descrizione delle opere in progetto facenti parte del Nuovo Acquedotto Marcio. In particolare, sono descritti i manufatti di collegamento alle opere esistenti del Manufatto Origine degli Acquedotti, la tratta di collegamento alla vasca di carico presso Ponte Anticoli ed i tracciati in pressione che permettono il trasporto sino al Nodo Terminale di Casa Valeria con tutte le opere ed i manufatti accessori.

Come chiarito in precedenza il Nuovo Acquedotto Marcio viene realizzato in tre fasi funzionali. La presente relazione, che fa riferimento alla prima fase, riporta le verifiche idrauliche anche del sistema nella sua interezza. Al fine di consentire la leggibilità delle verifiche idrauliche vengono descritti anche i manufatti che saranno realizzati nelle fasi funzionali successive.

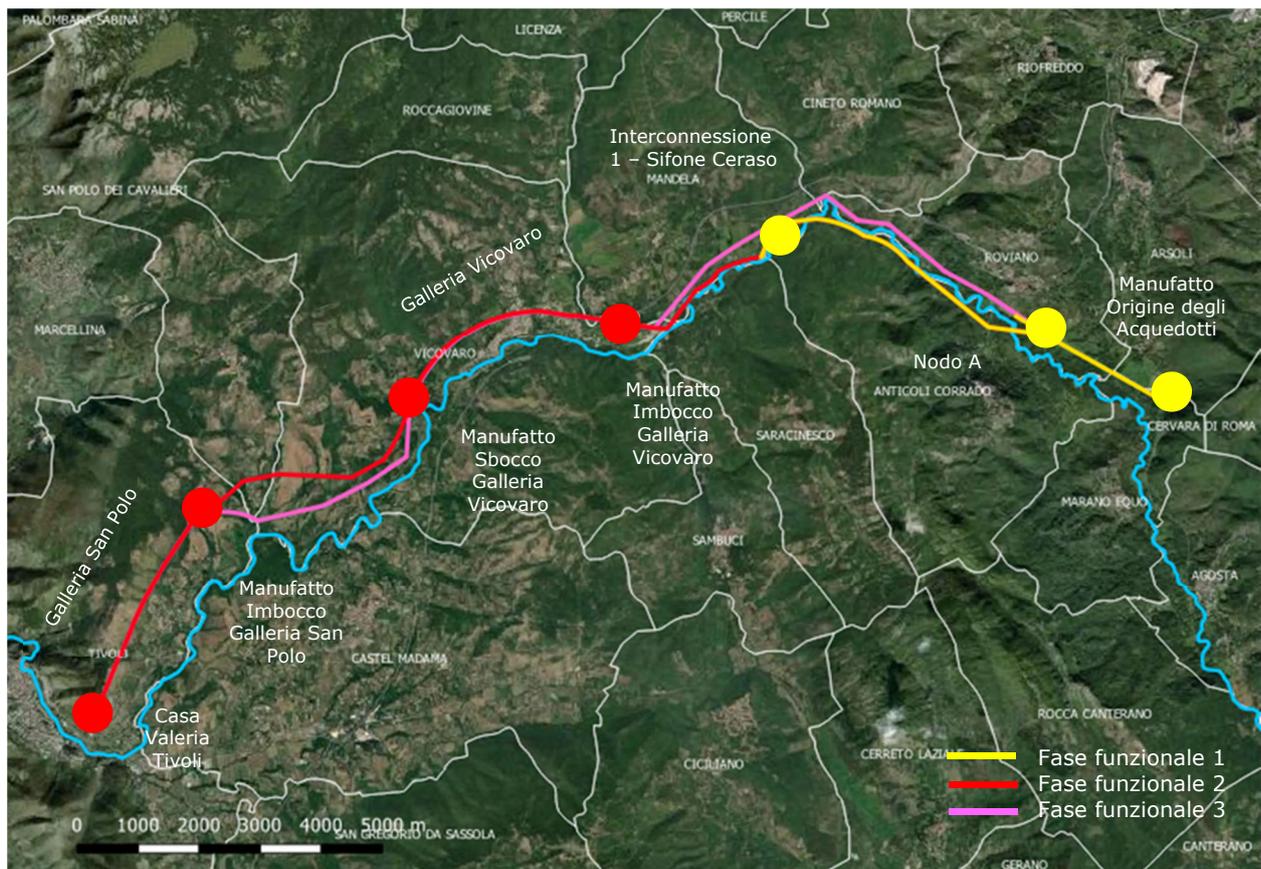


Figura 3 Planimetria delle Opere relative alle tre fasi funzionali



## 5.1 Descrizione Funzionamento Idraulico

Di seguito viene fornito un quadro relativo al funzionamento idraulico delle nove opere e ai benefici attesi al procedere delle fasi di realizzazione dell'intervento.

### 5.1.1 Funzionamento Ante Operam

L'acquedotto Marcio esistente adduce le acque delle omonime sorgenti, con due gallerie a superficie libera dal Manufatto Origine degli Acquedotti, tra i comuni di Arsoli e Marano Equo e una serie di manufatti localizzati nel comune di Tivoli. La portata odierna addotta in media è pari a circa  $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , proveniente da diversi gruppi sorgentizi, i cui contributi non sono oggi separabili prima di essere immesse nel sistema di adduzione. Negli ultimi 10 anni di esercizio del sistema le portate massime e minime registrate sono pari rispettivamente a  $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La quota di partenza presso il manufatto origine è pari a circa 322,5 m s.l.m., mentre si giunge a Tivoli con una quota di circa 250 m s.l.m..

### 5.1.2 Funzionamento al termine della fase funzionale 1

Al termine della prima fase saranno realizzati il manufatto di Casetta Rossa, entrambe le condotte a superficie libera che compongono la prima tratta, il Nodo A e una condotta DN1800 in pressione (tracciato TR4) fino al punto di connessione con gli acquedotti esistenti nei pressi del Sifone Ceraso.

Oltre a tali tratte funzionanti, saranno realizzate due tratte di Microtunnelling come predisposizione per la ripresa dei lavori nei lotti successivi, nello specifico una tratta DN1800 dal Nodo A al primo pozzo del tracciato TR2 e una dal collegamento con gli acquedotti esistenti al Sifone Ceraso fino al pozzo successivo del tracciato TR4.

In questa fase non variano le portate in quanto condizionate dal tratto a valle del punto di connessione.

Dopo il punto di connessione l'acquedotto esistente prosegue verso valle con due gallerie a superficie libera. La quota di valle delle nuove opere è quindi pari al livello idrico in tali gallerie esistenti.

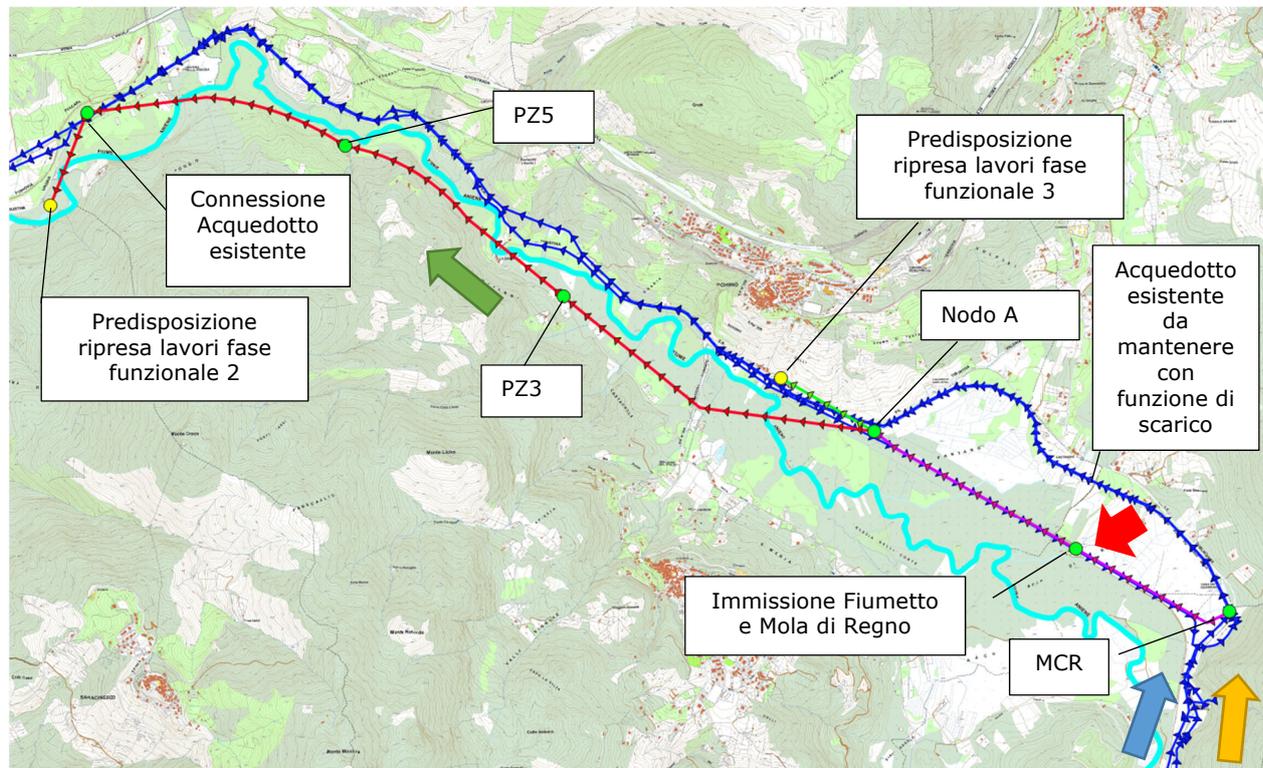
I livelli idrici che si hanno poi lungo le condotte risalendo verso monte sono funzione di quanta portata viene immessa nel nodo di partenza.

Lungo il tracciato sono presenti due manufatti a superficie libera in cui è presente uno stramazzo, che fissa una quota minima nel nodo per le condotte in arrivo da monte in esso.

La profondità di posa delle condotte è stata determinata per scongiurare che in qualsiasi condizione di funzionamento il livello idrico potesse abbassarsi fino a scoprirle.

I benefici raggiunti al termine della prima fase funzionale sono quindi la riduzione del rischio di danneggiamento strutturale delle opere per effetto di eventi accidentali anche di origine antropica e una più efficiente gestione dei contributi sorgentizi, che potranno essere anche scaricati separatamente.

Di seguito è riportata la planimetria funzionale dell'intervento nella sua configurazione raggiunta al termine della prima fase funzionale.

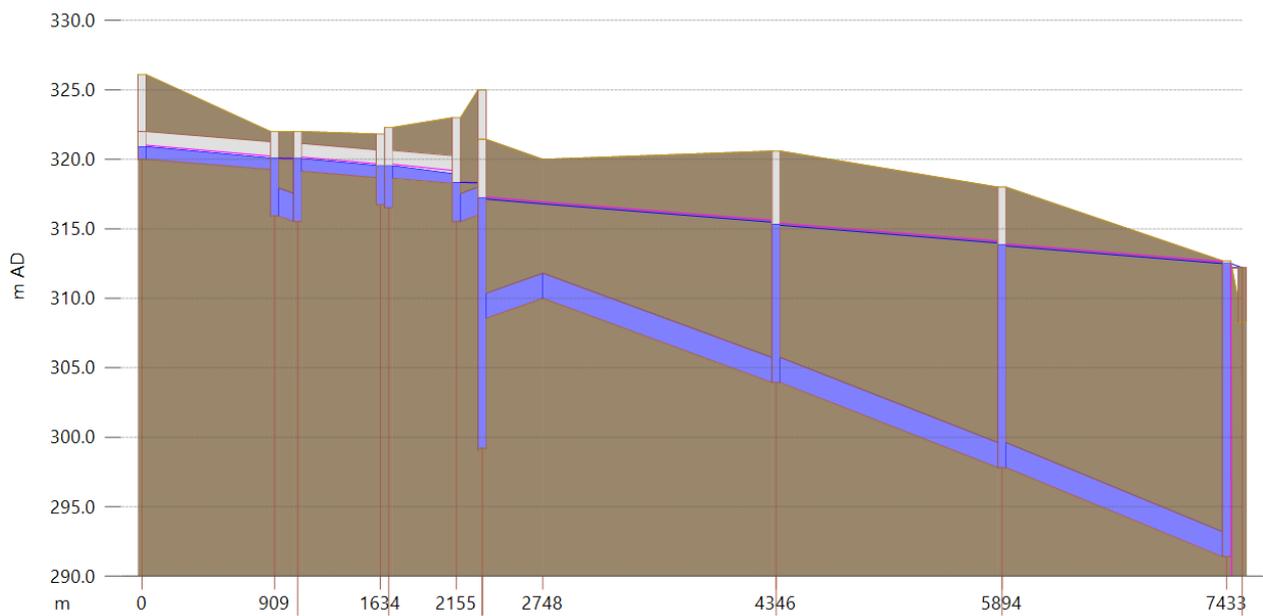
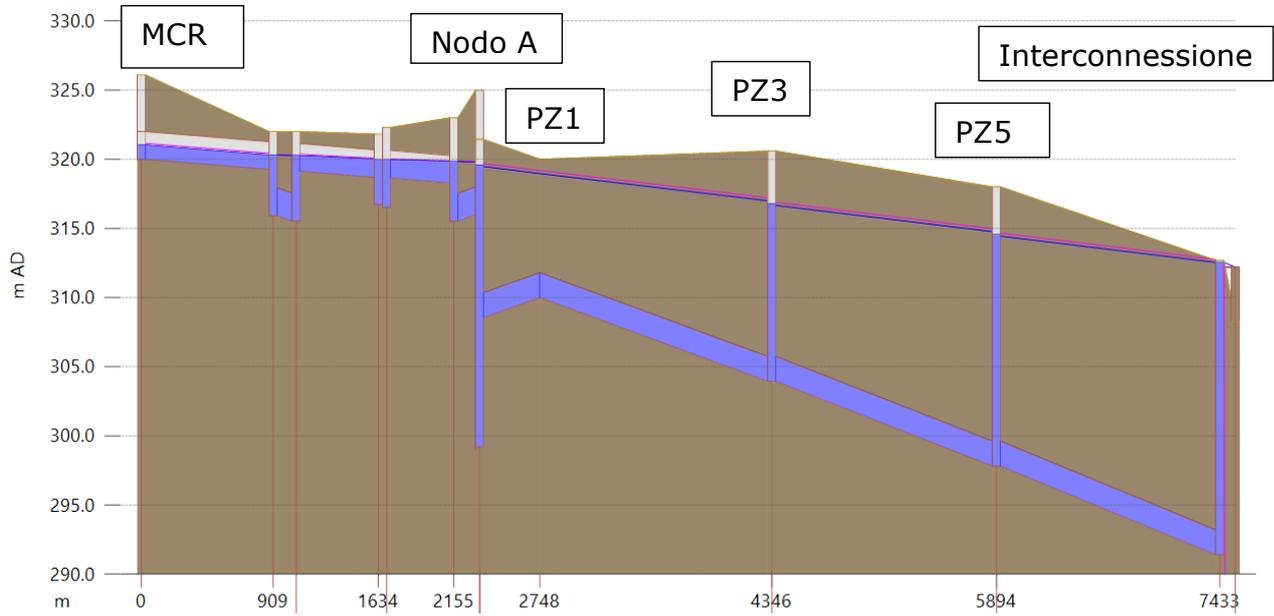


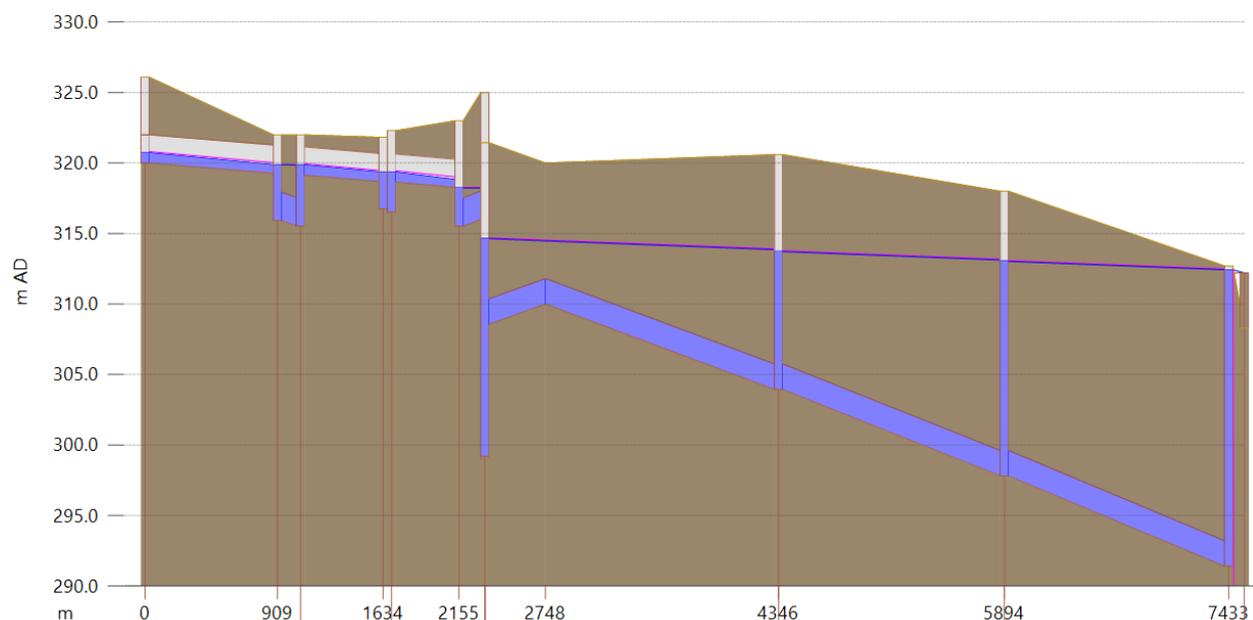
**Figura 4 Planimetria funzionale – Configurazione raggiunta al termine della prima fase funzionale**

- Opere in progetto:
  - TC1 linea viola
  - TR4: linea rossa
  - Predisposizione TR2: linea verde
- Acquedotto esistente: linea blu (da utilizzare come scarico fino al nodo di connessione con le nuove opere)
- Contributi sorgentizi:
  - sorgenti alte freccia blu
  - Sorgenti basse: freccia gialla
  - Fiumetto e Mola di Regno: freccia rossa
  - Portata da addurre (4,2 m<sup>3</sup>/s): freccia verde

Di seguito sono riportati gli andamenti schematici delle piezometriche con riferimento alla condizione di adduzione delle portate odierne, dall'alto massima, media e minima osservata.

**RELAZIONE IDRAULICA**





**Figura 5** Andamento schematico delle piezometriche con le portate massime, medie e minime registrate negli ultimi 10 anni di osservazione – fase funzionale 1

Di seguito sono riportati i valori di piezometrica a ciascun nodo per ognuna delle situazioni analizzate.

<b>Nodo</b>	<b>Scorrimento</b>	<b>Estradosso</b>	<b>Q = 5,2 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Q = 4,2 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Q = 2,8 m<sup>3</sup>/s</b>
<b>[-]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>
Nodo A	308.57	310.37	319.72	317.30	314.71
PZ1	310	311.8	318.96	316.80	314.48
Pozzo con soglia PZ3 monte	303.94	305.74	316.78	315.34	313.80
Pozzo con soglia PZ3 valle	303.94	305.74	316.78	315.33	313.75
Pozzo con soglia PZ5 monte	297.81	299.61	314.55	313.84	313.06
Pozzo con soglia PZ5 valle	297.81	299.61	314.54	313.84	313.06
Sifone Ceraso - Connessione Fase 1	291.7	293.5	312.54	312.50	312.43

### 5.1.3 Funzionamento al termine della fase funzionale 2

Al termine della seconda fase sarà realizzato tutte le opere relative al tracciato TR4 fino a Tivoli, comprensive dei nodi comuni con il tracciato TR2, che viene completato nella terza fase. Tali opere prevedono una linea DN1800, posata in microtunnelling,

fatta eccezione per due lunghe tratte in cui viene posata in galleria (denominate Galleria Vicovaro e Galleria San Polo), un manufatto dotato di vasche a superficie libera presso Vicovaro e un pozzo Piezometrico presso Tivoli, oltre alle connessioni con il sistema esistente in tale ultima area. Nelle due Gallerie realizzate viene anche posata e resa funzionante una seconda condotta, appartenente al tracciato TR2.

A fase completa sarà possibile addurre la portata odierna incrementando il carico disponibile presso i manufatti di Tivoli. In questa fase è infatti prevista la realizzazione di un piezometro presso Tivoli con un sistema di soglie trasversali al flusso che consente di mantenere il carico di valle del sistema a una quota prefissata.

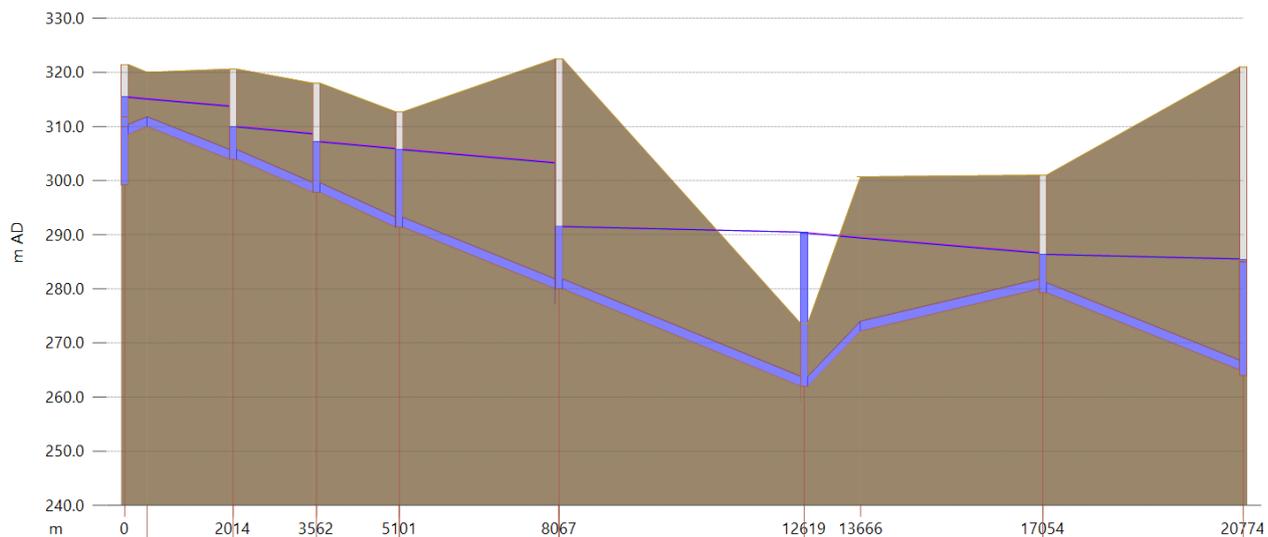
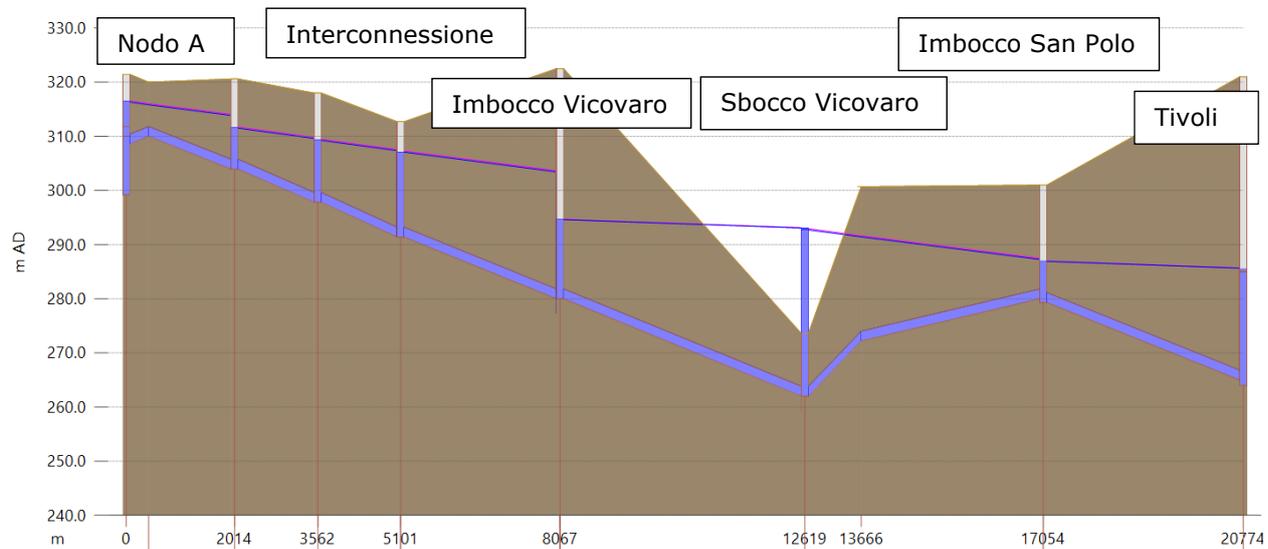
I livelli idrici che si hanno poi lungo le condotte risalendo verso monte sono ancora funzione di quanta portata viene immessa nel nodo di partenza.

Lungo il tracciato, ai due manufatti a superficie libera con stramazzo realizzati nella fase precedente, si somma la Vasca di Vicovaro, anche essa dotata di stramazzi che fissano una quota minima nel nodo per le condotte in arrivo da monte in esso.

La profondità di posa delle condotte è stata anche in questo caso determinata per scongiurare che in qualsiasi condizione di funzionamento il livello idrico potesse abbassarsi fino a scoprirle.

Rispetto alla fase precedente, viene raggiunto l'obiettivo della riduzione della vulnerabilità dell'acquedotto su tutto il tracciato fino a Tivoli, oltre a un aumento della piezometrica disponibile al nodo di arrivo di circa 35 m (passando da 250 m s.l.m. odierni a 285 m s.l.m. di progetto).

Di seguito sono riportate le piezometriche ancora una volta per le portate massime medie e minime osservate. Si nota che in esse viene omessa la rappresentazione del tratto TC1 in quanto tale tratta, con funzionamento a superficie libera, in funzione delle condizioni di portata subisce solamente una variazione di grado di riempimento delle condotte, il cui buon funzionamento è assicurato dal fatto che sono state dimensionate per la portata di concessione.

**RELAZIONE IDRAULICA**




**Figura 6** Andamento schematico delle piezometriche con le portate massime, medie e minime registrate negli ultimi 10 anni di osservazione – fase funzionale 2

Di seguito sono riportati i valori di piezometrica a ciascun nodo per ognuna delle situazioni analizzate.

<b>Nodo</b>	<b>Scorrimento</b>	<b>Estradosso</b>	<b>Q = 5,2 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Q = 4,2 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Q = 2,8 m<sup>3</sup>/s</b>
<b>[-]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>
Nodo A	308.57	310.37	316.62	315.58	314.45
PZ1	310	311.8	315.82	315.05	314.21
Pozzo con soglia PZ3 monte	303.94	305.74	313.64	313.59	313.53
Pozzo con soglia PZ3 valle	303.94	305.74	311.61	309.98	309.12
Pozzo con soglia PZ5 monte	297.81	299.61	309.38	308.49	308.43
Pozzo con soglia PZ5 valle	297.81	299.61	309.35	307.22	304.92
Sifone Ceraso - Connessione Fase 1	291.7	293.5	307.21	305.79	304.25
Imbocco Vicovaro Monte	280	281.8	303.07	303.03	302.97
Imbocco Vicovaro Valle	280	281.8	294.78	291.61	288.19
Sbocco Vicovaro	262.22	264.02	292.89	290.35	287.61
PZ12	272.2	274	291.43	289.38	287.15
Imbocco San Polo	279.98	281.78	287.09	286.48	285.79
Tivoli	265.22	267.02	285.43	285.37	285.28

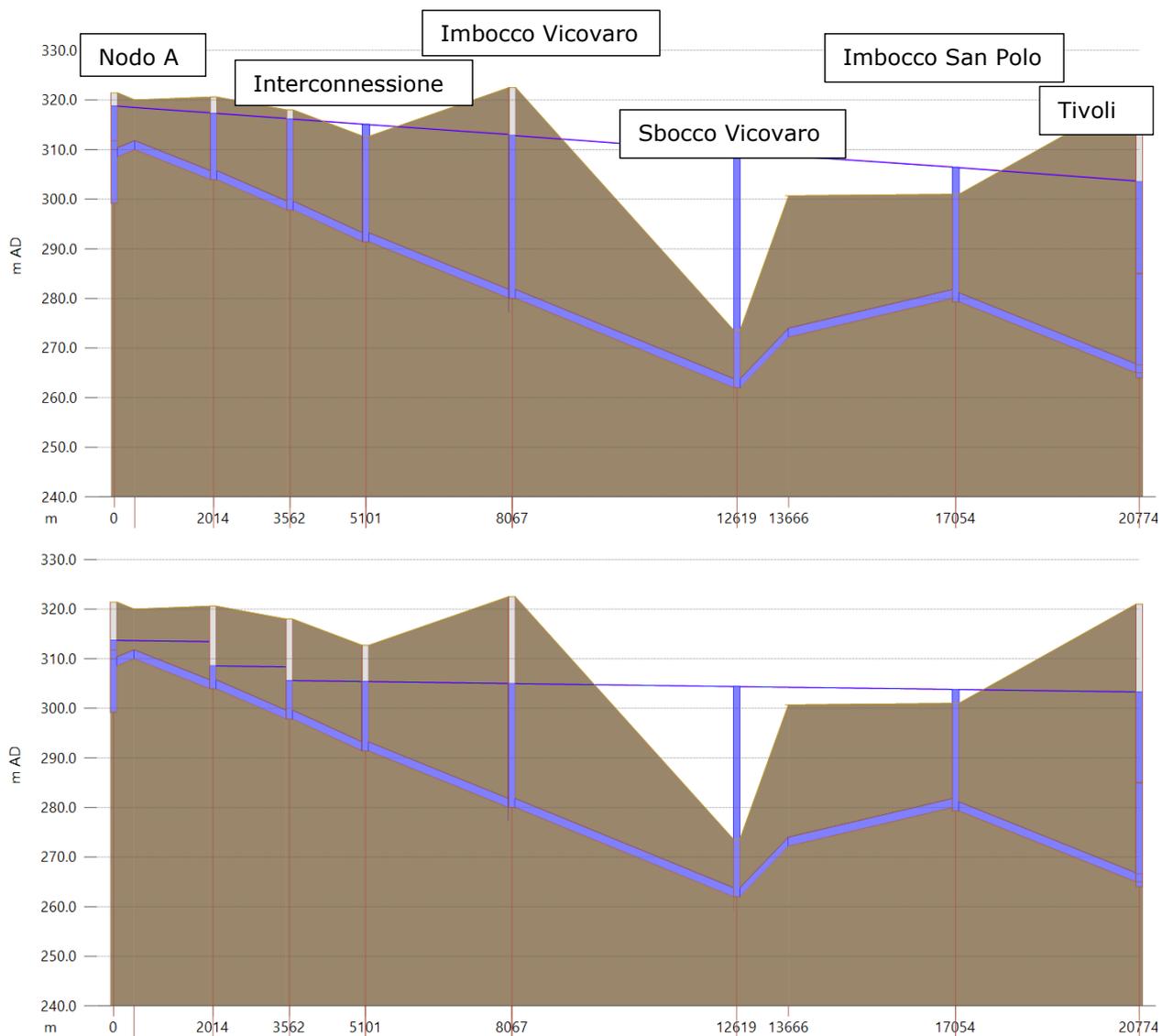
### 5.1.4 Funzionamento al termine della fase funzionale 3

Al termine della terza fase vengono completate le tratte di TR2 non realizzate nella fase precedente. Sarà possibile in quel momento addurre l'intera portata di concessione arrivando a incrementare il carico disponibile presso Tivoli fino a 50 m rispetto alle condizioni odierne (nelle condizioni di pieno regime di entrambe le linee in progetto si arriva a un carico di circa 303 m s.l.m.).

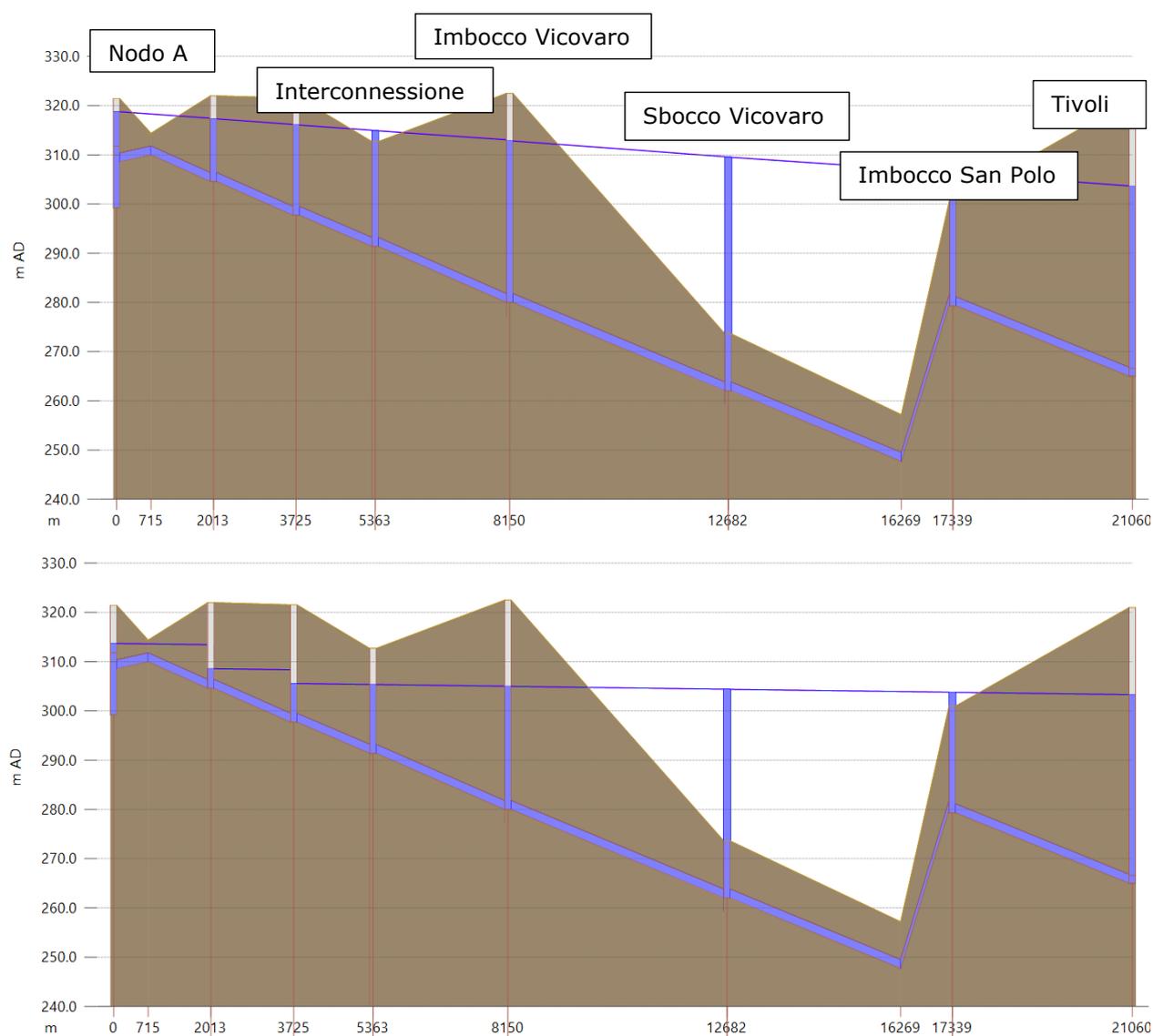
Il funzionamento idraulico è analogo alla fase precedente. Si hanno dei nodi in cui la quota è mantenuta sopra un valore minimo con uno stramazzone e la portata è regolata dal nodo di monte. Al termine dell'ultima fase si aggiunge però la possibilità di far funzionare solo una delle due condotte realizzate (TR2 e TR4) tra due punti di interconnessione successivi, realizzati in punti dove i tracciati passano vicini.

In questa configurazione si ottiene quindi il risultato di poter mettere fuori esercizio per ispezione e manutenzione tratte di acquedotto senza ridurre la capacità dell'infrastruttura, che rimane uguale al valore di concessione. Il carico presso Tivoli in queste condizioni si mantiene comunque maggiore di 35 m rispetto alle condizioni attuali (pari a 285 m s.l.m. rispetto ai 250 m s.l.m. odierni).

Di seguito sono riportate le piezometriche di funzionamento su entrambe le linee in progetto, nelle condizioni di adduzione della portata di concessione e nelle condizioni di adduzione della portata minima registrata negli ultimi 10 anni di esercizio dell'infrastruttura.

**RELAZIONE IDRAULICA**


**Figura 7 Andamento schematico delle piezometriche con la portata di concessione e con la portata minima – TR4**

**RELAZIONE IDRAULICA**


**Figura 8 Andamento schematico delle piezometriche con la portata di concessione e con la portata minima – TR2**

Di seguito sono riportati i valori del carico piezometrico ai nodi delle condotte di progetto nelle configurazioni sopra illustrate.

<b>Tracciato TR4 - Nodo</b>	<b>Scorrimento</b>	<b>Estradosso</b>	<b>Q = 6,7 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Q = 2,8 m<sup>3</sup>/s</b>
<b>[-]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>	<b>[m s.l.m.]</b>
Nodo A	308.57	310.37	318.91	313.73
PZ1	310	311.8	318.46	313.65
Pozzo con soglia PZ3 monte	303.94	305.74	317.32	313.44
Pozzo con soglia PZ3 valle	303.94	305.74	317.32	308.55
Pozzo con soglia PZ5 monte	297.81	299.61	316.16	308.34

Tracciato TR4 - Nodo	Scorrimento	Estradosso	Q = 6,7 m <sup>3</sup> /s	Q = 2,8 m <sup>3</sup> /s
[-]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Pozzo con soglia PZ5 valle	297.81	299.61	316.16	305.60
Sifone Ceraso - Connessione Fase 1	291.7	293.5	315.05	305.39
Imbocco Vicovaro Monte	280	281.8	312.89	305.00
Imbocco Vicovaro Valle	280	281.8	312.89	304.99
Sbocco Vicovaro	262.22	264.02	309.46	304.37
PZ12	272.2	274	308.70	304.23
Imbocco San Polo	279.98	281.78	306.40	303.81
Tivoli	265.22	267.02	303.51	303.28

Tracciato TR2 - Nodo	Scorrimento	Estradosso	Q = 6,7 m <sup>3</sup> /s	Q = 2,8 m <sup>3</sup> /s
[-]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Nodo A	308.57	310.37	318.91	313.73
PZ1	310	311.8	318.27	313.62
Pozzo con soglia PZ3 monte	304.58	306.38	317.33	313.44
Pozzo con soglia PZ3 valle	304.58	306.38	317.33	308.57
Pozzo con soglia PZ5 monte	297.72	299.52	316.08	308.34
Pozzo con soglia PZ5 valle	297.72	299.52	316.08	305.59
Interconnessione 1	291.7	293.5	314.91	305.37
Imbocco Vicovaro Monte	280	281.8	312.89	305.00
Imbocco Vicovaro Valle	280	281.8	312.89	304.99
Sbocco Vicovaro	262.22	264.02	309.52	304.38
PZ12	247.76	249.56	307.12	303.94
Imbocco San Polo	280	281.8	306.36	303.80
Tivoli	265.22	267.02	303.51	303.28

## 5.2 Descrizione Opere Prima fase funzionale

### 5.2.1 MCR - Manufatto di Casetta Rossa

Nella zona delle sorgenti è prevista la realizzazione di un piccolo manufatto a pianta quadrata di circa 8.60m x 8.60m in affiancamento al Manufatto Origine degli Acquedotti.

Il collegamento tra i due manufatti è garantito da uno scatolare 2.00 m x 2.50 m di c.a. che si innesta nel Manufatto Origine degli Acquedotti e convoglia la portata fluente nel nuovo manufatto.

La quota di partenza del canale scatolare è pari a 321,32 m.l.m., mentre la quota di arrivo presso il nuovo manufatto MCR è pari a 321.25 m s.l.m..

Al fine di limitare le lavorazioni sull'esistente manufatto risulta necessario non introdurre sezioni di larghezza superiore ai 2 m, per non interferire con gli organi di sfioro presenti nel manufatto. Per tale ragione è stata scelta una sezione rettangolare 2x2.50 m di più facile realizzazione ed in grado di mantenere un tirante idrico più basso rispetto a una sezione circolare DN2000.

<b>Lunghezza condotta</b>	<b>L =</b>	12	m
<b>Tipologia di sezione</b>		Rettangolare 2.00 x 2.50 m	
<b>Materiale condotta</b>		calcestruzzo	
<b>Scabrezza (K<sub>s</sub>)</b>	<b>K<sub>s</sub> =</b>	75	m <sup>1/3</sup> /s
<b>Portata</b>	<b>Q =</b>	5.7	m <sup>3</sup> /s
<b>Quota scorrimento di monte</b>	<b>Z<sub>m</sub> =</b>	321.32	m slm
<b>Quota scorrimento di valle</b>	<b>Z<sub>v</sub> =</b>	321.25	m slm
<b>Pendenza fondo</b>	<b>i<sub>f</sub> =</b>	0,58	%
<b>Livello idrico</b>	<b>h =</b>	0.84	m
<b>Quota di monte nel canale</b>	<b>H<sub>m</sub> =</b>	322.16	m slm
<b>Quota di valle nel canale</b>	<b>H<sub>v</sub> =</b>	322.09	m slm
<b>Velocità della corrente</b>	<b>V=</b>	3.24	m/s

<b>Scabrezza (K<sub>s</sub>)</b>	<b>K<sub>s</sub> =</b>	70	m <sup>1/3</sup> /s
<b>Livello idrico</b>	<b>h =</b>	0.85	m
<b>Quota di monte nel canale</b>	<b>H<sub>m</sub> =</b>	322.21	m slm
<b>Quota di valle nel canale</b>	<b>H<sub>v</sub> =</b>	322.14	m slm
<b>Velocità della corrente</b>	<b>V=</b>	3.22	m/s

Attualmente la quota piezometrica rilevata è pari a 322.56 m s.l.m.. Nel manufatto approdano oggi il collettore delle sorgenti alte e il collettore basse, due gallerie

policentriche a superficie libera di dimensione caratteristica rispettivamente 1.4 m e 1.9 m, e ripartono poi le due linee dell'acquedotto esistente.

Il livello in vasca è determinato dalle quote dei livelli idrici nelle condotte in arrivo e in partenza dalla stessa, subisce quindi modeste variazioni con la portata in arrivo dalle sorgenti in funzione delle scale di deflusso di tali condotte. Le variazioni non sono tuttavia determinanti ai fini delle scelte progettuali, in quanto, sostituendo le condotte di uscita dal manufatto, il livello idrico in esso si modificherà in ragione delle scale di deflusso di tali nuove condotte.

Dall'analisi della serie storica, il livello in vasca, in funzione della stagionalità delle sorgenti, subisce una variazione di circa 20 cm, con valori di morbida che arrivano anche a 322.80 m s.l.m..

La quota del livello idrico di partenza nello scatolare di progetto risulta essere pari a 322.16 m s.l.m. facendo riferimento alle scabrezze di progetto e a 322.21 m s.l.m. facendo riferimento ai valori peggiorativi, compatibile quindi con il livello idrico attuale nel manufatto esistente, nel senso che rispetto alla quota odierna, non si introducono nelle gallerie collettrici in arrivo da monte profili di rigurgito tali da mandarle in pressione. Prevedibilmente si instaurerà un profilo di rigurgito con quota iniziale pari a 322.56 m s.l.m. e quota finale pari a 322.16 m s.l.m. (322.21 m s.l.m.) nel manufatto esistente e nei primi tratti dello scatolare di progetto.

Nel canale scatolare si instaura una corrente veloce con sbocco libero nel Manufatto di Casetta Rossa, senza la formazione di fenomeni di risalto idraulico.

Si fa notare che la portata utilizzata per il dimensionamento dello scatolare di collegamento all'esistente Manufatto origine degli Acquedotti è la portata di concessione decurtata dell'apporto delle sorgenti di Fiumetto e Mola di Regno (1 m<sup>3</sup>/s circa) che confluiscono a valle di tale nodo.

In partenza dal manufatto sono posizionate 2 tubazioni DN2000 di acciaio (TC1), con quota scorrimento pari a 320 m s.l.m. in cui fluiscono le portate verso valle con un moto a superficie libera.

Parallelamente alla realizzazione del Nuovo Manufatto di Casetta Rossa sono previsti degli interventi minori all'interno dell'esistente Manufatto Origine degli Acquedotti, come l'inserimento di un setto in acciaio con paratoia all'interno della vasca al fine di suddividere i contributi in arrivo dalle Sorgenti Alte e dalle Sorgenti Basse permettendo eventualmente lo scarico separato delle portate in arrivo.

Infatti, in caso di contaminazione delle acque provenienti dalle sorgenti Alte, esse verranno convogliate verso l'esistente scarico a monte del Manufatto Origine; viceversa qualora sia necessario scaricare le sorgenti Basse si utilizzeranno per scaricare le condotte degli esistenti acquedotti.

Inoltre, sono previsti degli interventi di sostituzione dell'esistente tubazione di collegamento dello sfioro esistente nel Manufatto Origine. Questa nuova condotta, lunga circa 170 m e realizzata in PRFV De1200 recapita al pozzetto connesso idraulicamente al Vecchio 1° Acquedotto che ha funzione di scarico.

Per la vuotatura dei manufatti di Casetta Rossa verranno utilizzate le condotte degli attuali acquedotti. La quota di scorrimento di queste due linee è posta circa 1 m più in alto del nuovo Manufatto. Per vuotare quindi il volume residuo verranno impiegati sistemi di aggettamento non installati permanentemente in loco.

Sia lo scatolare di collegamento in calcestruzzo che le due tubazioni in acciaio DN2000 in uscita dal Manufatto di Casetta Rossa sono dotate di apposite apparecchiature di sezionamento e chiusura.

### **5.2.2 TC1**

Il TC1 è il tratto comune di lunghezza pari a circa 2300m che dal Manufatto di Casetta Rossa arriva al Nodo A, posto a monte di Ponte Anticoli. Tale tratto è costituito da due condotte 2 x DN2000 affiancate, posate a cielo aperto all'interno di un'opera scatolare con funzionamento prevalentemente a superficie libera, fatta eccezione per dei limitati tratti in pressione necessari al superamento di interferenze con il reticolo idraulico superficiale.

In particolare le condotte del tratto TC1, nell'ultimo tratto prima di arrivare nel nodo A, si abbassano di quota per le ragioni sopra esposte, fino a presentare in tale tratto un funzionamento in pressione.

Nei tratti a superficie libera la pendenza è del  $8 \times 10^{-4}$ .

Al fine di evitare fenomeni di infiltrazione delle acque di falda nelle condotte anche in caso di esondazione del Fiume Aniene, è prevista la posa di tubazioni di acciaio saldate.

Il tracciato delle condotte segue nella parte iniziale il percorso dell'attuale scarico interrato del Manufatto Origine, proseguendo successivamente all'interno del sedime del canale di drenaggio della piana sino ai manufatti di immissione di Fiumetto. Da qui il tracciato delle condotte si riporta in destra idraulica del canale fino a raggiungere il manufatto denominato Nodo A, a monte di Ponte Anticoli, in destra idrografica del fiume Aniene.

Nel primo tratto il canale di drenaggio verrà ricostruito in destra delle condotte di progetto. Tale canale raccoglie i contributi sia del reticolo idrografico superficiale che delle canalizzazioni di drenaggio interrate della piana. La continuità idraulica dei drenaggi sotterranei della piana viene garantita realizzando un pacchetto drenante al di sotto del canale con all'interno una tubazione di raccolta

A monte della zona di captazione dei pozzi di Fiumetto e Mola di Regno il canale di drenaggio devia verso sinistra, andando a sovrapporsi localmente alle condotte di progetto. In questo tratto le condotte si abbassano per poi attraversare in sifone il ponte esistente. Superata tale interferenza le condotte deviano verso destra completando l'inversione con il canale di drenaggio per proseguire verso il nodo A.

In prossimità della deviazione planoaltimetrica descritta è prevista l'immissione all'interno delle condotte di progetto dei contributi dei pozzi di Fiumetto e di Mola di Regno (circa  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) per mezzo di un collegamento in pressione.

Lo scorrimento delle condotte parte dal fondo del Manufatto Casetta Rossa a quota 320 m s.l.m. e arriva a quota 318.28 m s.l.m. al termine dell'ultimo tratto a superficie libera. A valle di questo le condotte vengono posate più profonde, con funzionamento

in pressione, per arrivare al Nodo A dopo altri 200 m con quota di scorrimento di 315,00 m s.l.m..

Di seguito la verifica idraulica della condotta a monte della confluenza dei pozzi di Fiumetto e Mola di Regno.

<b>Lunghezza condotta</b>	<b>L =</b>	2145	m
<b>Tipologia di sezione</b>		Circolare DN2000	
<b>Materiale condotta</b>		acciaio	
<b>Scabrezza "di progetto" (<math>K_s</math>)</b>	<b><math>K_s =</math></b>	90	$m^{1/3}/s$
<b>Scabrezza "peggiorativa" (<math>K_s</math>)</b>	<b><math>K_s =</math></b>	80	$m^{1/3}/s$
<b>Portata</b>	<b>Q =</b>	5.7	$m^3/s$
<b>Quota scorrimento di monte</b>	<b><math>Z_m =</math></b>	320	m slm
<b>Quota scorrimento di valle</b>	<b><math>Z_v =</math></b>	318,28	m slm
<b>Pendenza fondo</b>	<b><math>i_f =</math></b>	0,08	%
<b>Livello idrico – scabrezza di progetto</b>	<b>h =</b>	1.08	m
<b>Livello idrico – scabrezza peggiorativa</b>	<b>h =</b>	1.16	m

La verifica sopra riportata è stata ripetuta per la tratta a valle dell'immissione di Fiumetto e Mola di Regno.

<b>Lunghezza condotta</b>	<b>L =</b>	2145	m
<b>Tipologia di sezione</b>		Circolare DN2000	
<b>Materiale condotta</b>		acciaio	
<b>Scabrezza "di progetto" (<math>K_s</math>)</b>	<b><math>K_s =</math></b>	90	$m^{1/3}/s$
<b>Scabrezza "peggiorativa" (<math>K_s</math>)</b>	<b><math>K_s =</math></b>	80	$m^{1/3}/s$
<b>Portata</b>	<b>Q =</b>	6.7	$m^3/s$
<b>Quota scorrimento di monte</b>	<b><math>Z_m =</math></b>	320	m slm
<b>Quota scorrimento di valle</b>	<b><math>Z_v =</math></b>	318,28	m slm
<b>Pendenza fondo</b>	<b><math>i_f =</math></b>	0,08	%
<b>Livello idrico – scabrezza di progetto</b>	<b>h =</b>	1.20	m
<b>Livello idrico – scabrezza peggiorativa</b>	<b>h =</b>	1.29	m

Nel caso di un fuori servizio di una delle due canalizzazioni DN2000 a superficie libera della tratta TC1, l'altra potrà comunque convogliare una portata pari a circa 5 m<sup>3</sup>/s. Tale valore risulta superiore alla portata media attualmente adottata dal sistema, pari a circa 4.2 m<sup>3</sup>/s, mentre la disponibilità della portata di concessione di 6.7 m<sup>3</sup>/s viene raggiunta solo raramente, in presenza di condizioni di morbida eccezionali delle sorgenti.

La capacità di trasporto residua del sistema risulta sufficiente a consentire l'adduzione della portata disponibile alle sorgenti nella maggioranza delle condizioni.

Un requisito del progetto è quello di garantire l'adduzione della portata di concessione anche con l'esclusione di una tratta delle due condotte costituenti il nuovo sistema acquedottistico, garantendo il rispetto della piezometrica minima di 280 m s.l.m. ai manufatti di arrivo presso Tivoli per alimentare le opere di valle previste dal piano di investimenti di ACEA ATO2 e soddisfare le future esigenze di rete.

Il soddisfacimento di detto requisito è permesso dall'adduzione prevalentemente in pressione del Nuovo Acquedotto Marcio e si traduce nel determinare diametri e numero di interconnessioni tra le due condotte in pressione tali da garantire la piezometrica minima di arrivo a Tivoli con una portata pari a quella di concessione, anche con esclusione di una tratta tra le interconnessioni, indipendentemente dal funzionamento del tratto TC1 che è a superficie libera.

Per questo, in caso di fuori servizio di uno dei due DN2000 del tratto TC1, dato che è comunque garantita la piezometrica minima di 280 m s.l.m. a Tivoli, si è ritenuto sufficiente assicurare il transito di un'aliquota della portata di concessione idonea all'approvvigionamento delle reti per un tempo sufficiente ad eseguire una eventuale manutenzione ad una delle due condotte DN 2000.

Inoltre si fa notare che, data la limitata profondità di posa delle condotte DN2000, in caso di parziale o totale rottura di una delle due tubazioni, le operazioni di manutenzioni potranno essere svolte in un limitato arco temporale, tale da non generare quindi una condizione di deficit alle opere di valle, stante i 5 m<sup>3</sup>/s adottati con la restante condotta ancora in funzione.

### 5.2.3 MNA Manufatto Nodo A

L'acquedotto, a valle del tratto TC1 composto dalle 2 condotte DN2000 di acciaio, fa fluire la propria portata in un manufatto di disconnessione denominato Nodo A. Ne condotte giungono nel Nodo A con funzionamento in pressione a una quota di circa 315.00 m s.l.m., come chiarito nel paragrafo precedente.

Tale manufatto presenta pianta rettangolare 30m x 15m e garantisce, con una superficie complessiva di circa 360 m<sup>2</sup>, un vaso tale da scongiurare fenomeni dovuti al moto vario d'insieme; più in generale, l'opera in esame ha lo scopo di permettere la transizione da un funzionamento a superficie libera ad uno in pressione.

Dal lato opposto all'ingresso delle due tubazioni DN2000 in arrivo dal Manufatto di Casetta Rossa sono poste a quota inferiore le due tubazioni DN1800 che rappresentano di fatto il punto di partenza dei tracciati TR2 e TR4.

La quota di scorrimento delle condotte in partenza del manufatto è stata determinata sulla base delle considerazioni di moto vario d'insieme nella quale si richiede che nessun punto di sfiato subisca fenomeni di depressione.

Il manufatto presenta una quota fondo pari a 308 m s.l.m., ed è separato internamente da un setto in cls disposto longitudinalmente rispetto al flusso, con un foro attrezzato con due paratoie di fondo che permettono ove necessario di separare la vasca in due settori distinti, uno per ciascuna linea di acquedotto. Le due paratoie di fondo in condizioni di regolare esercizio sono tenute completamente aperte, in modo che i due settori si comportino come un unico vaso, a meno di non doverne isolare uno per ragioni manutentive.

Ciascuno di questi due settori presenta a sua volta al suo interno una soglia di sfioro posta trasversalmente al flusso, con cresta a quota 318 m s.l.m. che ha lo scopo di mantenere in pressione le condotte DN2000 che provengono dal manufatto MCR indipendentemente dal livello nella vasca del Nodo A.

Ciascun settore presenta un'area di circa 155 m<sup>2</sup> a valle della soglia trasversale e di circa 25 m<sup>2</sup> a monte di questa. A valle della soglia trasversale i due settori sono posti in comunicazione idraulica tra loro tramite la citata apertura di fondo.

Il manufatto è dotato di una soglia di troppo pieno posta a quota 320.5 m s.l.m.. Tale sfioro confluisce in un sistema di condotte tramite il quale le acque possono essere derivate verso gli acquedotti esistenti posti in destra idraulica a poca distanza dal manufatto stesso.

Anche in questo caso, come per il manufatto di Casetta Rossa, sia le condotte DN2000 in acciaio che le 2 tubazioni DN1800 in uscita dal manufatto sono dotate di opportuni organi di sezionamento.

La vasca del Nodo A può essere vuotata con le condotte di valle, verso i punti di scarico dell'acquedotto. Tale operazione può essere fatta singolarmente per metà manufatto in maniera tale da consentire l'utilizzo di almeno una condotta anche durante le operazioni di manutenzione straordinaria.

Oltre a tale modalità è possibile vuotare le vasche tramite dei sistemi di aggotamento non permanentemente installati in loco, pompando l'acqua nel sistema di condotte che riceve anche le acque dello sfioratore di troppo pieno, e da lì deriva verso gli acquedotti esistenti.

#### **5.2.4 TR2M1 - TR4M1 – prima fase funzionale**

Dal Nodo A divergono lungo due direttrici non parallele i tracciati TR2 e TR4 fino alla zona di imbocco TBM in prossimità del centro abitato di Vicovaro, con funzionamento idraulico in pressione.

La lunghezza di questi tratti di TR2 e di TR4 è di circa 7500m: lo scavo e la posa delle condotte DN1800 di c.a.v. rivestito internamente da HDPE termosaldato, avviene attraverso la tecnologia di scavo in microtunnelling.

Di questo tratto nella prima fase funzionale vengono realizzate le seguenti condotte:

- TR2M1: dal Nodo A fino al pozzo PZ1, come predisposizione per la ripresa dei lavori nelle fasi successive;

- TR4M1: dal Nodo A fino al pozzo PZ7, per la rialimentazione degli acquedotti esistenti, e dal pozzo PZ7 al PZ8 come predisposizione per la ripresa dei lavori nelle fasi successive.

Il TR2M1 realizzato nella prima fase funzionale ha una lunghezza di circa 620 m con pendenza dello 0,0027 in salita.

Il TR4M1 realizzato nella prima fase funzionale ha una prima tratta lunga circa 420 m con pendenza del 0,004 in salita e una tratta di circa 5,3 km con pendenza in discesa pari a 0,004.

Sul TR4, durante la prima fase funzionale, vengono realizzati 2 pozzi con diametro minimo di 16m (pozzi n°3 e n°5) con funzionalità di invaso, nei quali è prevista una vasca di carico con ampiezza in pianta pari ad almeno 200 m<sup>2</sup>.

All'interno di tale manufatto è prevista una soglia di sfioro ortogonale al flusso oltre la quale la portata fluisce nuovamente verso la tubazione in uscita. Tale soglia separa il manufatto in due settori contigui, il primo a monte con superficie pari a 50 m<sup>2</sup> e il secondo di valle con una superficie pari a 150 m<sup>2</sup>.

Nel PZ3 la soglia di sfioro ha una quota sommitale pari a 313,3 m s.l.m., mentre nel PZ5 ha una quota di 308 m s.l.m..

La funzione di tali manufatti è quella di realizzare un invaso che scongiura il rischio di vuotamento delle condotte, con conseguente rischio di formazione di depressioni in caso dell'attivazione di fenomeni di moto vario.

Il setto ortogonale all'interno del pozzo è dotato di una paratoia di fondo che permette il by-pass della soglia per le sole operazioni di vuotatura.

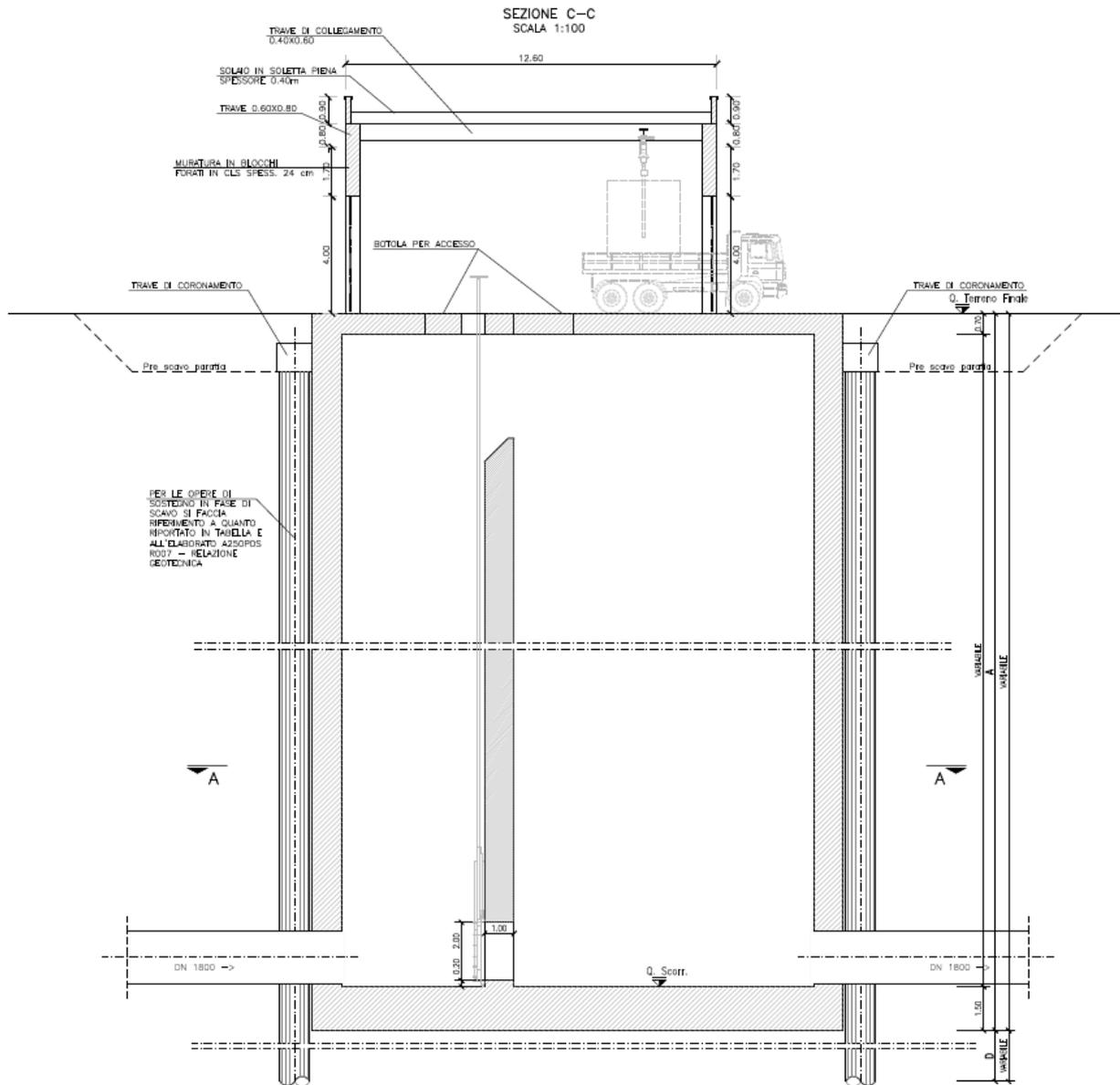


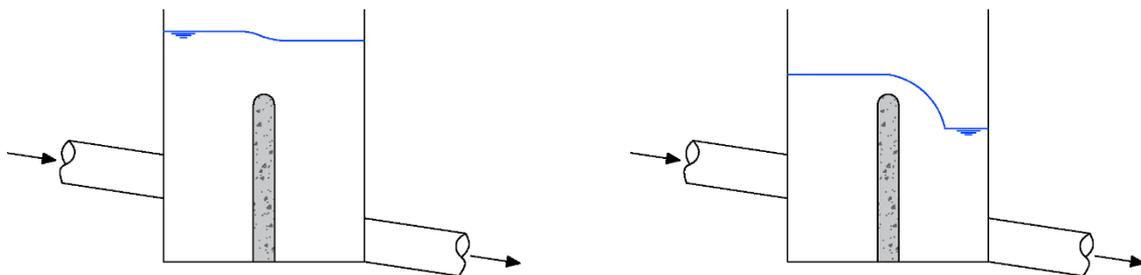
Figura 9 Tipologico di pozzo con soglia e capacità d'invaso

Il ruolo di tali pozzi dotati di soglia ortogonale al flusso è quello di impedire che linea dei carichi piezometrici possa scendere al di sotto dell'estradosso delle condotte a monte di tali nodi, scoprendole.

Se il livello a valle della soglia cresce sopra la cresta della stessa, come nelle condizioni di transito della portata massima su una sola condotta, o nel caso in cui il livello a presso Tivoli sia il massimo consentito, la soglia risulta interamente

rigurgitata, causando così solo modeste perturbazioni al regolare scorrimento dell'acqua.

Quando viceversa il livello a valle della soglia si abbassa, fino a una quota che scoprirebbe le condotte a monte del nodo, il setto impedisce il deprimersi della piezometrica di monte.



**Figura 10 Schema di funzionamento del pozzo con soglia**

In corrispondenza del pozzo n°7 del TR4 viene realizzato il punto di connessione agli acquedotti esistenti. Tale manufatto corrisponde al nodo terminale della prima fase funzionale e avrà lo scopo di connettere la sola condotta TR4 con gli esistenti acquedotti in corrispondenza del manufatto denominato "Sifone Ceraso". Tale collegamento avverrà mediante due condotte verticali DN1200, staffate sulle pareti del manufatto.

Nelle fasi funzionali successive nel manufatto confluiranno anche le condotte del TR2, e il nodo assumerà la funzionalità di connettere i due acquedotti attraverso una condotta DN1800 ortogonale, dotata di valvola di sezionamento.

A monte e a valle dell'interconnessione ogni tubazione DN1800 sarà dotata di opportune valvole di sezionamento al fine di permettere la derivazione del flusso verso la condotta di interconnessione stessa.

Tale apparecchiatura permette, in caso di rottura di una delle condotte a monte o a valle del nodo, di isolare la condotta da riparare, e convogliare l'intera portata di progetto attraverso l'interconnessione all'interno della canna parallela in funzione.

L'interno del manufatto, nelle fasi funzionali successive, viene attrezzato per alloggiare un impianto di sollevamento in cui confluiranno le condotte di scarico in acciaio dotate di opportune valvole di sezionamento. Tale impianto di sollevamento consente lo scarico verso il Fiume Aniene mediante una condotta DN1500.

Dal punto di vista della gestione dell'aria nelle condotte, nei processi di riempimento e svuotamento delle condotte e nel funzionamento a regime occorre notare che la tratta in esame è intervallata da diversi manufatti a superficie libera, posti a massimo 2km l'uno dall'altro. Tali manufatti consentono l'ingresso di una grande quantità di aria durante le fasi di vuotatura e riempimento delle condotte. Per il funzionamento durante l'esercizio le condotte sono state dotate di pendenze idonee ad assicurare il degasaggio verso il nodo di sfiato più prossimo.

Nei punti di vertice altimetrico nei quali non è stato possibile realizzare invasi o sfiati liberi, sono state previste delle valvole di sfiato automatiche.

Gli sfiati sono realizzati con valvole a tre vie per le operazioni di riempimento/vuotatura, a cui si aggiungono ulteriori valvola per il degasaggio. Il dimensionamento delle valvole per la vuotatura/riempimento viene effettuato con la formula indicata al paragrafo 4.4. La portata di dimensionamento è idealmente un terzo di quella che circola nella condotta, visto che ogni sfiato è formato da un candelabro di tre valvole. In questi termini, la portata di aria è pari a  $Q_a = 6,7/3 \text{ m}^3/s = 2,23 \text{ m}^3/s$  per la quale, assumendo un coefficiente di perdita concentrata  $\xi = 1,5$  per l'ingresso di aria e  $\xi = 1,9$  per l'uscita di aria.

<b>Portata</b>	<b>Q =</b>	6,7/3	m <sup>3</sup> /s
<b>Diametro Sfiato</b>	<b>d =</b>	0,20	
<b>V aria</b>	<b>V =</b>	106,10	m/s
<b>Coefficiente di perdita localizzata ingresso aria</b>	<b>h =</b>	1,50	
<b>Depressione</b>	<b>z =</b>	-0,50	m
<b>Coefficiente di perdita localizzata ingresso aria</b>	<b>h =</b>	1,90	
<b>Sovrappressione</b>	<b>z =</b>	0,63	m

Il dimensionamento è stato ripetuto effettuando l'ipotesi cautelativa di mal funzionamento, al momento dell'operazione di vuotatura/riempimento della condotta, di una valvola di sfiato. In questo modo ciascuna valvola deve permettere il transito di una portata di aria pari alla metà della portata di acqua che circola su ciascuna condotta, vale a dire 3,35 m<sup>3</sup>/s.

<b>Portata</b>	<b>Q =</b>	6,7/2	m <sup>3</sup> /s
<b>Diametro Sfiato</b>	<b>d =</b>	0,20	
<b>V aria</b>	<b>V =</b>	106,10	m/s
<b>Coefficiente di perdita localizzata ingresso aria</b>	<b>h =</b>	1,50	
<b>Depressione</b>	<b>z =</b>	-1,12	m
<b>Coefficiente di perdita localizzata ingresso aria</b>	<b>h =</b>	1,90	
<b>Sovrappressione</b>	<b>z =</b>	1,42	m

### 5.3 Descrizione Opere Fasi Funzionali successive

Di seguito sono anticipate alcune caratteristiche dimensionali di nodi che verranno realizzati nelle fasi successive a quella in oggetto, necessarie ad inquadrare le verifiche idrauliche effettuate, riportate nei capitoli successivi, relative anche al sistema nella sua configurazione al termine della realizzazione di tutte le fasi funzionali.

#### 5.3.1 TR2M1 - TR4M1 – seconda fase funzionale

Nelle fasi funzionali successive alla prima vengono completate le tratte TR2M1 e TR4M1.

Come realizzato nella prima fase funzionale sul TR4, anche sul TR2M1, è prevista la realizzazione di 2 pozzi con diametro minimo di 16m (pozzi n°3 e n°5) con funzionalità di invaso necessaria a limitare eventuali oscillazioni di moto vario, analoghi a quelli descritte al precedente paragrafo.

In entrambi i manufatti è presente una soglia di sfioro ortogonale al flusso, nel PZ3 con una quota sommitale pari a 313,3 m s.l.m., mentre nel PZ5 con quota di 308 m s.l.m..

Al termine delle tratte denominate TR2M1 - TR4M1 le tubazioni convergono nella Vasca di carico MIM-G1 posta nei pressi dell'imbocco della Galleria di Vicovaro G1.

### **5.3.2 MIM-G1 – MVC Manufatto Imbocco Galleria Vicovaro e Vasca di Carico**

In tale area nelle fasi funzionali successive verranno realizzate due sistemi di vasche di carico, una per linea di acquedotto.

Il manufatto verrà completato con le opere di sfioro di sicurezza e di scarico.

Ciascun sistema di vasche viene suddiviso internamente da una soglia di sfioro ortogonale al flusso oltre la quale la portata fluisce nuovamente verso le tubazioni in uscita. La cresta di tale soglia trasversale è posta a una quota di 301,75 m s.l.m. e avrà funzione di mantenere sempre sotto carico le condotte confluenti nel sistema.

Per ciascuna vasca la superficie a monte della soglia trasversale, la cui quota è pari a 301,75 m s.l.m., è pari a 90 m<sup>2</sup>, mentre la superficie a valle della soglia è pari a circa 235 m<sup>2</sup>.

### **5.3.3 G1 – Galleria di Vicovaro**

Nel tratto G1 le condotte vengono posate in galleria per una lunghezza pari a circa 4500m. Le due condotte saranno di acciaio DN1800 con funzionamento in pressione.

La quota di scorrimento iniziale è di circa 280 m s.l.m., mentre quella finale è di circa 262 m s.l.m.

### **5.3.4 MSB-G1 Manufatto Sbocco Galleria Vicovaro**

Nel manufatto saranno presenti gli organi di sezionamento necessari a connettere le due condotte tra loro.

In tale nodo, su ciascuna condotta a monte dell'interconnessione, saranno presenti due tubazioni di scarico dotate di opportune valvole di sezionamento che permettono di recapitare le acque di scarico verso il Fiume Aniene.

### **5.3.5 TR2M2 e TR4M2**

Il TR2M2 presenta una prima parte con lunghezza di circa 3,6 km con pendenza dello 0,004 in discesa e una seconda parte con lunghezza di circa 1,1 km con pendenza dello 0,03 in salita. Nel Pozzo PZ12 del TR2 è presente uno scarico.

Il TR4M2 presenta invece andamento interamente in salita. Una prima tratta lunga 1,05 km ha pendenza dello 0,01, e una seconda tratta lunga circa 3,4 km ha invece pendenza compresa tra 0,0022 e 0,0025.

### **5.3.6 MIM-G2 Manufatto Imbocco Galleria San Polo**

In tale nodo, come nel manufatto MSB-G1 è prevista un'interconnessione tra le due condotte dotata di valvola di sezionamento.

A monte e a valle dell'interconnessione ogni tubazione DN1800 è dotata di opportune valvole di sezionamento al fine di permettere la derivazione del flusso verso la condotta di interconnessione stessa.

### **5.3.7 G2 – Galleria di San Polo**

Nel tratto G2 le condotte vengono posate in galleria per una lunghezza pari a circa 3750m. Le due condotte saranno di acciaio DN1800 con funzionamento in pressione.

La quota di scorrimento iniziale della tratta è per entrambe le condotte pari a circa 279,32 m s.l.m., mentre la quota di scorrimento finale è di circa 265 m s.l.m..

### **5.3.8 MPP Manufatto Pozzo Piezometrico**

Il manufatto è composto da un pozzo piezometrico circolare di diametro pari a 12 m, in cui sono posizionate 2 soglie poste a quota 285 m s.l.m. (soglia "bassa") e 303 m s.l.m. (soglia "alta").

In adiacenza al piezometro sarà posta una camera di manovra, atta ad ospitare tutte le connessioni necessarie in ingresso e in uscita dal piezometro, gli organi di sezionamento, di scarico e di by-pass del piezometro stesso.

In tale nodo si ha l'arrivo delle condotte costituenti l'acquedotto, entrambe alla stessa quota di circa 265 m s.l.m..

In uscita dal manufatto saranno presenti le condotte di connessione con il sistema di valle.

- 2 DN1000 verso Casa Valeria - connessi separatamente al 1° e al 2° Acquedotto esistente;
- 2 DN1400 verso la futura predisposizione per l'adduzione nell'area dell'VIII sifone.

## 5.4 Riepilogo delle lunghezze dei tratti

Di seguito è riportato un riepilogo delle lunghezze dei tratti che compongono le due linee acquedottistiche.

TR4				
Nodo Monte	Nodo Valle	L	Scorrimento Monte	Scorrimento valle
		[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Nodo A	TR4 PZ1	416	308.57	310.2
TR4 PZ1	TR4 PZ2	590	310.2	307.9
TR4 PZ2	TR4 PZ3	1001	307.9	303.9
TR4 PZ3	TR4 PZ4	712	303.9	301.1
TR4 PZ4	TR4 PZ5	841	301.1	297.8
TR4 PZ5	TR4 PZ6	856	297.8	294.5
TR4 PZ6	TR4 PZ7	687	294.5	291.7
TR4 PZ7	TR4 PZ8	577	291.7	289.4
TR4 PZ8	TR4 PZ9	754	289.4	286.4
TR4 PZ9	TR4 PZ10	470	286.4	284.5
TR4 PZ10	TR4 PZ11	804	284.5	281.3
TR4 PZ11	MIM-G1	248	281.3	280.3
MIM-G1	MCV-G1	102	280.3	279.9
MCV-G1	MSB-G1	4555	279.9	262.1
MSB-G1	TR4 PZ12	1047	262.1	272.6

TR4				
Nodo Monte	Nodo Valle	L	Scorrimento Monte	Scorrimento valle
TR4 PZ12	TR4 PZ13	600	272.6	273.9
TR4 PZ13	TR4 PZ14	1200	273.9	276.6
TR4 PZ14	TR4 PZ15	600	276.6	277.9
TR4 PZ15	MIM-G2	987	277.9	280.3
MIM-G2	MPP	3721	280.3	265.5

TR2				
Nodo Monte	Nodo Valle	L	Scorrimento Monte	Scorrimento valle
		[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Nodo A	TR2 PZ1	618	308.57	310.2
TR2 PZ1	TR2 PZ2	566	310.2	308.0
TR2 PZ2	TR2 PZ3	846	308.0	304.6
TR2 PZ3	TR2 PZ4	1200	304.6	299.8
TR2 PZ4	TR2 PZ5	511	299.8	297.7
TR2 PZ5	TR2 PZ6	662	297.7	295.1
TR2 PZ6	TR2 PZ7	976	295.1	291.2
TR2 PZ7	TR2 PZ8	1310	291.2	286.0
TR2 PZ8	MIM-G1	1333	286.0	280.6
MIM-G1	MCV-G1	145	280.6	280.0
MCV-G1	MSB-G1	4555	280.0	262.3
MSB-G1	TR2 PZ9	904	262.3	258.7
TR2 PZ9	TR2 PZ10	763	258.7	255.6
TR2 PZ10	TR2 PZ11	826	255.6	252.3
TR2 PZ11	TR2 PZ12	1094	252.3	247.9
TR2 PZ12	MIM-G2	1070	247.9	280.0
MIM-G2	MPP	3721	280.0	265.1

## 5.5 Identificazione preliminare utenze esistenti

Da un'analisi preliminare condivisa con il personale dell'esercizio ATO2 risultano ad oggi collegate le seguenti derivazioni per l'alimentazione di utenze presenti lungo il tracciato dei due acquedotti esistenti.

Di seguito sono riportati i manufatti appartenenti alla prima fase funzionale di progetto da cui verranno rialimentate le utenze, con una stima preliminare della

lunghezza delle condotte necessarie a collegare tali punti di presa con i punti attuali di consegna.

<b>Denominazione</b>	<b>Comune</b>	<b>Punto di Presa</b>	<b>Lunghezza condotta di rialimentazione [m]</b>
Presa Casetta Rossa	Arsoli	Manufatto MCR	-

## 6 Verifiche idrauliche delle condotte in pressione

### 6.1 Verifiche Idrauliche prima fase funzionale

Nei paragrafi che seguono sono descritte nel dettaglio le verifiche idrauliche effettuate relativamente al tratto TR4M1 previsto nella prima fase funzionale in oggetto.

#### 6.1.1 Scenario di funzionamento fase funzionale 1

La fase funzionale 1 prevede la realizzazione del manufatto origine (MCR), delle condotte di collegamento DN2000 (TC1) fino al manufatto Nodo A (MNA) e la realizzazione del TR4 fino alla prima interconnessione (presso l'esistente manufatto di uscita del Sifone Ceraso). A valle di tale manufatto verrà ristabilita l'alimentazione degli esistenti acquedotti, a una quota del livello idrico pari a circa 312,5 m s.l.m.;

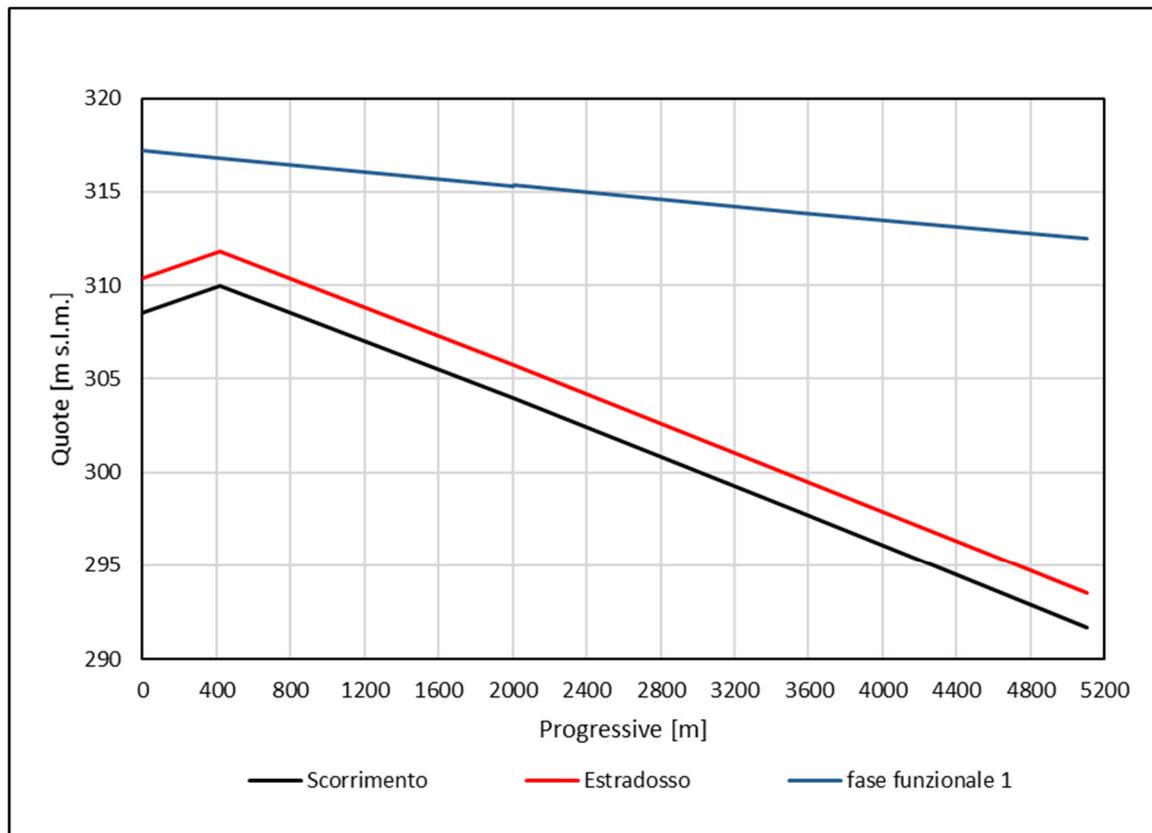
**Tabella 3 Scenari considerati nelle simulazioni numeriche**

	Portata MCC	Portata TR4	Portata TR2	Livello Sifone Ceraso
esercizio fase funzionale 1	4,2 m <sup>3</sup> /s	4,2 m <sup>3</sup> /s	-	312,50 m s.l.m.

Nelle condizioni transitorie sopra descritte è garantita l'adduzione di una portata di 4,2 m<sup>3</sup>/s, ossia pari alla portata media attualmente adottata con il sistema esistente. Le citate condizioni di funzionamento sono state verificate con il modello realizzato con il software Infoworks ICM.

Ai fini della verifica, sono stati considerati i valori di scabrezza di progetto, come definiti nel paragrafo 4.2. La configurazione raggiunta al termine della prima fase funzionale infatti verrà mantenuta fino al completamento della seconda fase, che avverrà in un numero di anni limitato rispetto alla vita utile delle opere, tale da scongiurare il depauperamento dei rivestimenti interni delle condotte rispetto al loro stato al momento della posa in opera.

Di seguito il profilo idraulico schematico.



**Figura 11 Funzionamento transitorio – scabrezze di progetto: Profilo Idraulico Schematico del tracciato TR4**

Nelle condizioni sopra rappresentate il livello al Nodo A è pari a circa 317,2 m s.l.m., compatibile con il troppo pieno presente nel manufatto e il carico sugli sfiati è sempre superiore ai 3 m richiesti.

### 6.1.2 Verifica moto vario elastico

Sulle condotte di progetto sono presenti valvole di sezionamento, la cui chiusura potrebbe generare fenomeni di colpo d'ariete.

Per stimare il tempo di movimentazione della valvola con cui effettuare la verifica, si è fatto riferimento a valori presenti nella letteratura tecnica.

Una valvola a farfalla DN1800 può necessitare di circa 360 giri del volantino per portarla da posizione completamente aperta a completamente chiusa e viceversa.

Per le valvole a farfalla poi, generalmente si usano attuatori caratterizzati da una velocità di manovra che varia da 4 a 90 rpm.

Solitamente negli attuatori vengono definite due velocità, una per le prime fasi della manovra, più lenta, e un'altra, più elevata, per portarla a conclusione.

Anche immaginando, a favore di sicurezza di avere per tutta la durata della manovra la velocità massima, occorrerebbero come minimo 4 minuti per arrivare a completa apertura (240 secondi).

Tale valore risulta essere ampiamente cautelativo, dato che valvole di tale importanza e dimensioni vengono azionate con tempi notevolmente maggiori.

Di seguito i risultati del calcolo per la tratta interamente in pressione chiusa a valle da una valvola più lunga nell'intervento in oggetto, che risulta essere circa 1543 m (dal PZ5 al PZ7).

<b>modulo di comprimibilità dell'acqua</b>	$\epsilon =$	2.03E+09	N/m <sup>2</sup>
<b>densità acqua</b>	$\rho =$	998	kg/m <sup>3</sup>
<b>modulo di elasticità del materiale (CIs)</b>	$E =$	3,3E+10	N/m <sup>2</sup>
<b>Diametro condotta</b>	$D =$	1,8	m
<b>Portata</b>	$Q =$	6,7	m <sup>3</sup> /s
<b>Velocità iniziale</b>	$U_0 =$	2,63	m/s
<b>spessore condotta</b>	$s =$	0,18	m
<b>celerità di propagazione onde</b>	$a =$	1122,22	m/s
<b>Lunghezza tratta</b>	$L =$	1543	m
<b>durata di fase</b>	$T =$	2,75	s
<b>durata della manovra</b>	$T_c =$	240	s
<b>tipo di manovra</b>		lenta	
<b>sovrappressione</b>	$\Delta H =$	3,5	m

Per la pressione idrostatica al manufatto in oggetto (intervallo compreso tra 0 e 6 atm), la sovrappressione massima è di 3 atm (equivalenti a circa 30 m), superiore a quella sopra determinata. Si prevede l'utilizzo di condotte certificate per pressioni interne di collaudo pari a 10,5 bar.

## 6.2 Verifiche Idrauliche fasi funzionali successive

Al termine della realizzazione di tutte le fasi funzionali del Nuovo Acquedotto Marcio, il funzionamento idraulico si sviluppa prevalentemente a superficie libera, nel tratto comune di partenza tra il Manufatto Casetta Rossa e il Nodo A presso la località Ponte Anticoli, ed in pressione dal Nodo A sino ai manufatti di arrivo al Nodo di Tivoli.

Al fine dell'esecuzione delle verifiche idrauliche sul Nuovo Acquedotto Marcio, sono stati definiti tre scenari di alimentazione della nuova infrastruttura, rispettivamente riconducibili alle condizioni transitorie, condizioni di esercizio ordinario e straordinario che questa potrà avere nel corso della sua vita utile.

Tali scenari sono stati verificati con l'ausilio del software InfoWorks ICM descritto al paragrafo 4.6.

In ciascuno scenario le quote piezometriche all'arrivo sono mantenute costanti, determinate in particolare dalla quota di una delle due soglie presenti nel Manufatto Pozzo Piezometrico, descritto al paragrafo 5.11.

Nel manufatto sono presenti due soglie ortogonali al flusso, tra loro in serie; quella di monte (soglia "bassa") con una quota della cresta sfiorante pari a 285 m s.l.m., mentre quella di valle (soglia "alta") con quota sommitale pari a 303 m s.l.m.. A valle di ciascuna soglia sono presenti delle condotte di uscita dal piezometro.

Nel caso in cui la condizione di funzionamento prevede che venga aperta la condotta di uscita posta a monte della soglia "alta", l'acquedotto avrà un livello fisso di valle pari a circa 285 m s.l.m.

Qualora viceversa la condotta a monte della soglia "alta" sia chiusa, con aperte invece le altre due tubazioni in uscita dal piezometro, la quota terminale del sistema acquedottistico sarà pari a circa 303 m s.l.m..

Risalendo verso monte, lungo le condotte TR2 e TR4, le altezze piezometriche sono poi determinate dalle diverse portate di funzionamento, nonché dalla loro distribuzione tra le due condotte costituenti l'acquedotto.

Il funzionamento dell'acquedotto viene governato mediante la regolazione della portata immessa a monte. Presso il Manufatto di Casetta Rossa, descritto al paragrafo 5.1, viene immessa una quantità di acqua prefissata, a una quota ridotta di circa 1 m rispetto all'attuale piezometrica.

Per regolare la portata immessa nelle due linee dell'acquedotto di progetto, verranno utilizzati le paratoie presenti nel Manufatto di Casetta Rossa, nel quale è prevista l'installazione di paratoie di sezionamento sui due DN2000 in uscita dal nodo.

Il livello risulterà essere di circa 1 m inferiore a quello odierno, per effetto delle quote di scorrimento di progetto imposte alle due citate condotte DN2000.

Il funzionamento del sistema con una quota idrica di partenza ribassata rispetto alle condizioni odierne costituisce un margine di sicurezza rispetto a non prevedibili fenomeni di abbassamento rispetto al livello di affioramento sorgentizio.

Di seguito sono descritte le condizioni di funzionamento previste per il Nuovo Acquedotto Marcio.

- Condizioni di esercizio ordinario – Nelle condizioni di esercizio ordinario è prevista l'adduzione dell'intera portata di concessione ( $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ripartita tra le due condotte costituenti il nuovo sistema acquedottistico. La regolazione delle portate verrà effettuata per mezzo di idonee apparecchiature idrauliche installate lungo i tracciati delle condotte in progetto.
- Condizioni di esercizio straordinario – Nelle condizioni di esercizio straordinario è prevista l'adduzione dell'intera portata di concessione ( $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ) anche in caso di esclusione parziale di una delle due condotte costituenti il nuovo sistema acquedottistico. Tale condizione risponde all'esigenza di realizzare, senza alcun disservizio per l'utenza, le necessarie ispezioni e le eventuali manutenzioni straordinarie sui tratti costituenti le condotte in progetto che potranno così essere messe alternativamente fuori servizio per periodi anche lunghi.
- Esercizio al termine della fase funzionale 2 – Le condizioni transitorie si riferiscono alle modalità di funzionamento che l'opera assume al termine della

realizzazione della seconda fase funzionale. In tali scenario la portata di progetto è pari a 4,2 m<sup>3</sup>/s, ossia pari alla portata media attualmente recapitata a Casa Valeria.

**Tabella 4 Scenari considerati nelle simulazioni numeriche**

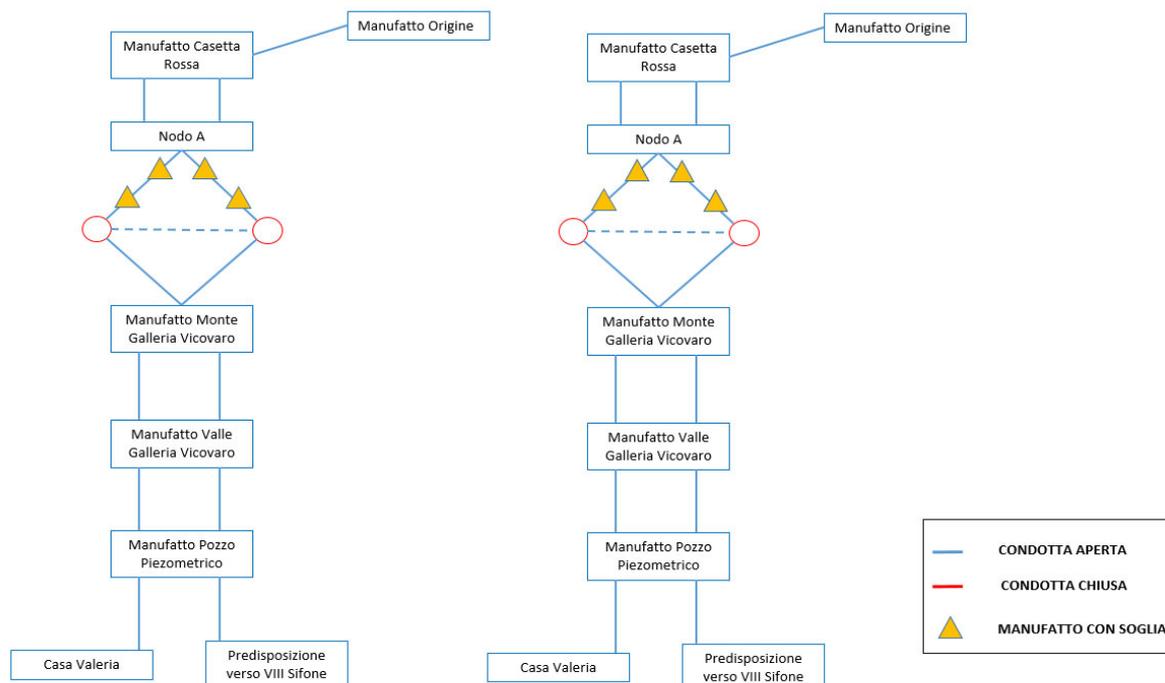
	Portata MCC	Portata TR4	Portata TR2	Livello MPP
Esercizio al termine fase funzionale 2	4,2 m <sup>3</sup> /s	4,2 m <sup>3</sup> /s	0 m <sup>3</sup> /s	285 m s.l.m.
esercizio ordinario	6,7 m <sup>3</sup> /s	3,35 m <sup>3</sup> /s	3,35 m <sup>3</sup> /s	303 m s.l.m.
esercizio straordinario	6,7 m <sup>3</sup> /s	3,35 m <sup>3</sup> /s Con eccezione di una tratta compresa tra due interconnessioni successive che adduce 6,7 m <sup>3</sup> /s	3,35 m <sup>3</sup> /s Con eccezione di una tratta compresa tra due interconnessioni successive che è fuori servizio	285 m s.l.m.
		3,35 m <sup>3</sup> /s Con eccezione di una tratta compresa tra due interconnessioni successive che è fuori servizio	3,35 m <sup>3</sup> /s Con eccezione di una tratta compresa tra due interconnessioni successive che adduce 6,7 m <sup>3</sup> /s	

Nelle condizioni di funzionamento sopra descritte, si garantisce sempre il rispetto della piezometrica minima da assicurare al nodo di Casa Valeria che, secondo le indicazioni riportate nel Quadro Esigenziale e nel DIP è pari a 280 m s.l.m..

Ai fini della verifica idraulica, tutti gli scenari di funzionamento descritti devono soddisfare i seguenti requisiti:

- Livello Piezometrico a Ponte Anticoli compatibile con il grado di riempimento massimo delle condotte a superficie libera DN2000 in arrivo al Nodo A dal Manufatto di Casetta Rossa, e comunque inferiore alla quota di troppo pieno presente al nodo A (320,5 m s.l.m.);
- Carico Piezometrico minimo di circa 3 m sopra le valvole di sfiato in condizioni di moto permanente;
- Carico Piezometrico al di sopra della generatrice superiore delle tubazioni in condizioni di moto vario d’insieme, affinché nessun punto di sfiato subisca fenomeni di depressione.

### 6.2.1 Scenario di esercizio ordinario



**Figura 12 Funzionamento ordinario – schema unifilare**

Come chiarito al paragrafo precedente, lo scenario di esercizio ordinario rappresenta le future condizioni di funzionamento dell'intero sistema, che sarà possibile avere al termine della realizzazione della terza fase funzionale in cui è suddiviso l'intervento, di seguito sinteticamente riepilogate:

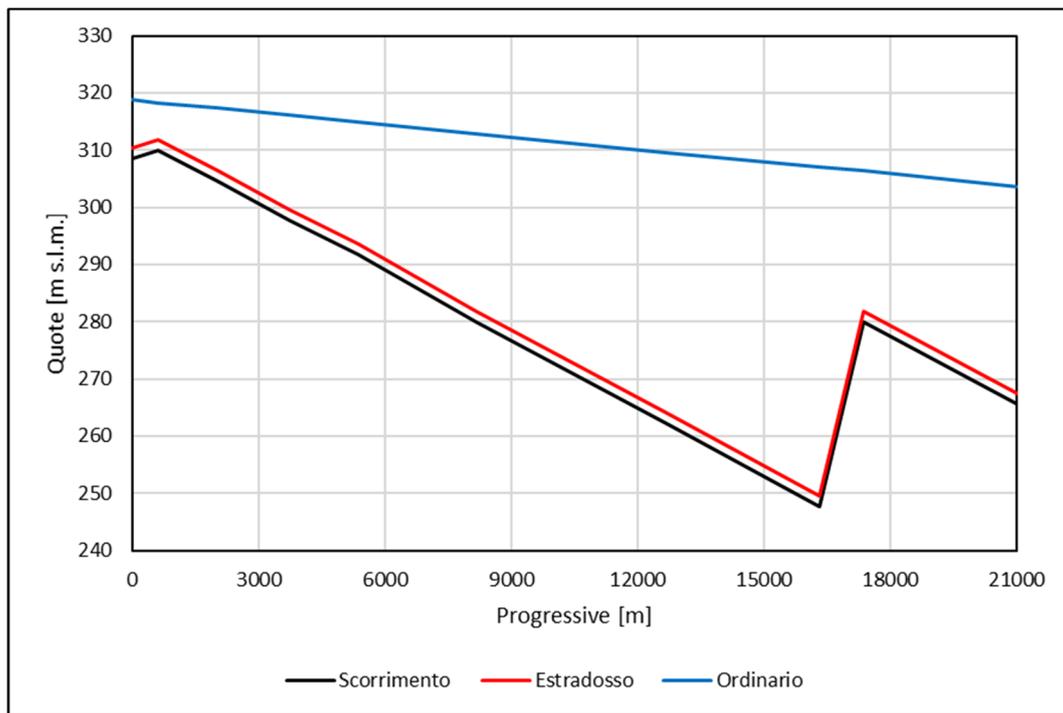
- adduzione dell'intera portata di concessione (6,7 m<sup>3</sup>/s) ripartita tra le due condotte costituenti il nuovo sistema acquedottistico;
- carico presso Tivoli pari a circa la quota sommitale della soglia "alta" presente nel Manufatto Pozzo Piezometrico (303 m s.l.m.).

Le citate condizioni di funzionamento sono state verificate con l'ausilio del software Infoworks ICM, nel quale è stato realizzato un modello di entrambe le condotte, dei manufatti presenti, completo delle funzioni di regolazione degli organi speciali presenti lungo i tracciati.

Ai fini della verifica, sono stati considerati i valori di scabrezza peggiorativi, come definite nel paragrafo 4.2, in quanto risultano dimensionanti per le condizioni in esame.

Di seguito i profili idraulici schematici lungo il TR2 e il TR4 nelle condizioni ordinarie con le scabrezze peggiorate rispetto ai valori di progetto.

(a) Tracciato TR2



(b) Tracciato TR4

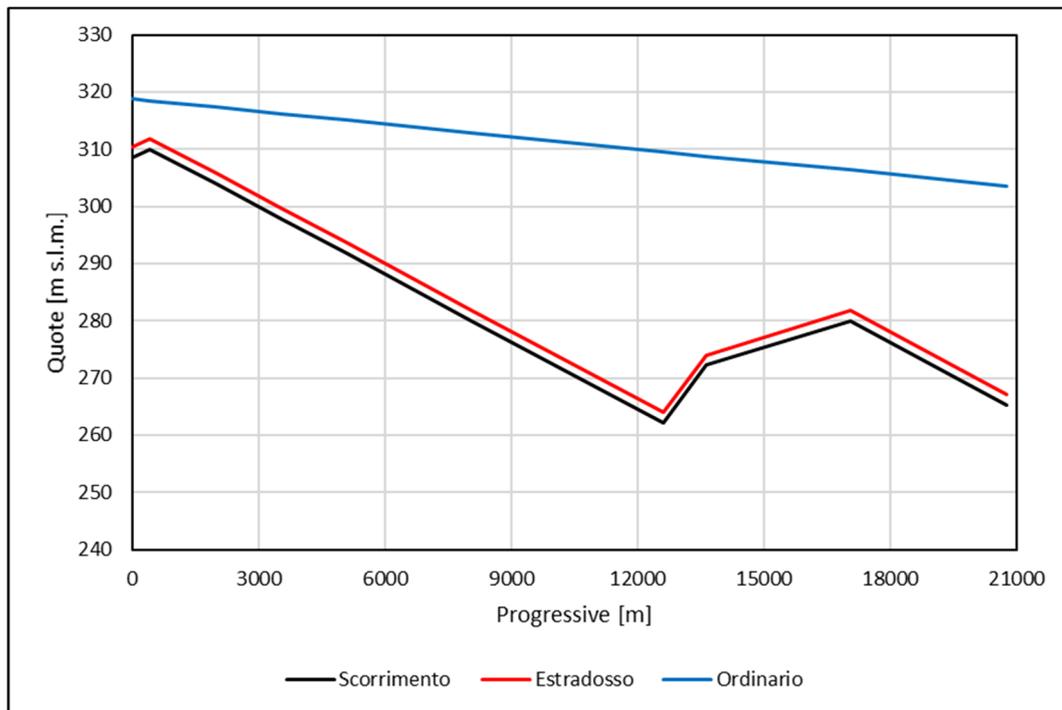


Figura 13 Funzionamento ordinario – Profilo Idraulico Schematico del tracciato TR2 (in alto) e del TR4 (in basso)

Nelle condizioni sopra rappresentate il livello al Nodo A è pari a circa 318,92 m s.l.m., compatibile con il troppo pieno del manufatto e il carico sugli sfiati è sempre superiore ai 3 m richiesti.

### 6.2.2 Scenario di esercizio straordinario

Come chiarito al paragrafo 6.1, lo scenario di esercizio straordinario rappresenta le future condizioni di funzionamento dell'intero sistema, anche in caso di funzionamento con esclusione parziale in una delle due condotte costituenti il nuovo sistema acquedottistico, di seguito sinteticamente riepilogate:

- adduzione dell'intera portata di concessione ( $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ripartita tra le due condotte costituenti il nuovo sistema acquedottistico, con esclusione parziale di una di esse. Tra due nodi di interconnessione quindi, uno delle due condotte verrà messa fuori servizio, l'altra invece funzionerà con l'intera portata di  $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- carico presso Tivoli pari a circa la quota sommitale della soglia "bassa" presente nel Manufatto Pozzo Piezometrico (285 m s.l.m.).

Nei grafici che seguono vengono analizzate 4 casistiche:

Sul tracciato TR2 (TR4):

- CASO 1 – Piezometrica lungo il tracciato TR2 (TR4) in caso di fuori servizio del tracciato TR4 (TR2) dal Nodo A fino al manufatto Interconnessione 1, che collega i due tracciati in prossimità del Pozzo PZ7 sul TR2 e sul TR4;
- CASO 2 – Piezometrica lungo il tracciato TR2 (TR4) in caso di fuori servizio del tracciato TR4 (TR2) tra il manufatto Interconnessione 1 (PZ7 sul TR2 e sul TR4) e lo sbocco della Galleria di Vicovaro (MSB-G1);
- CASO 3 – Piezometrica lungo il tracciato TR2 (TR4) in caso di fuori servizio del tracciato TR4 (TR2) tra lo sbocco della Galleria di Vicovaro (MSB-G1) e il manufatto pozzo piezometrico (MPP);

Lungo i tracciati sono presenti altri due punti di interconnessione, nei pressi del manufatto di imbocco della Galleria di Vicovaro (MIM-G1) e nel manufatto di imbocco della Galleria di San Polo (MIM-G2).

Poiché tali nodi risultano essere interni a tratte di acquedotto verificate ai punti precedenti si è ritenuto non necessario riportarle nelle verifiche. Tali punti sono stati comunque realizzati per dotare l'infrastruttura di ulteriori ridondanze funzionali e manutentive.

Le citate condizioni di funzionamento sono state ancora verificate con il modello realizzato con il software Infoworks ICM.

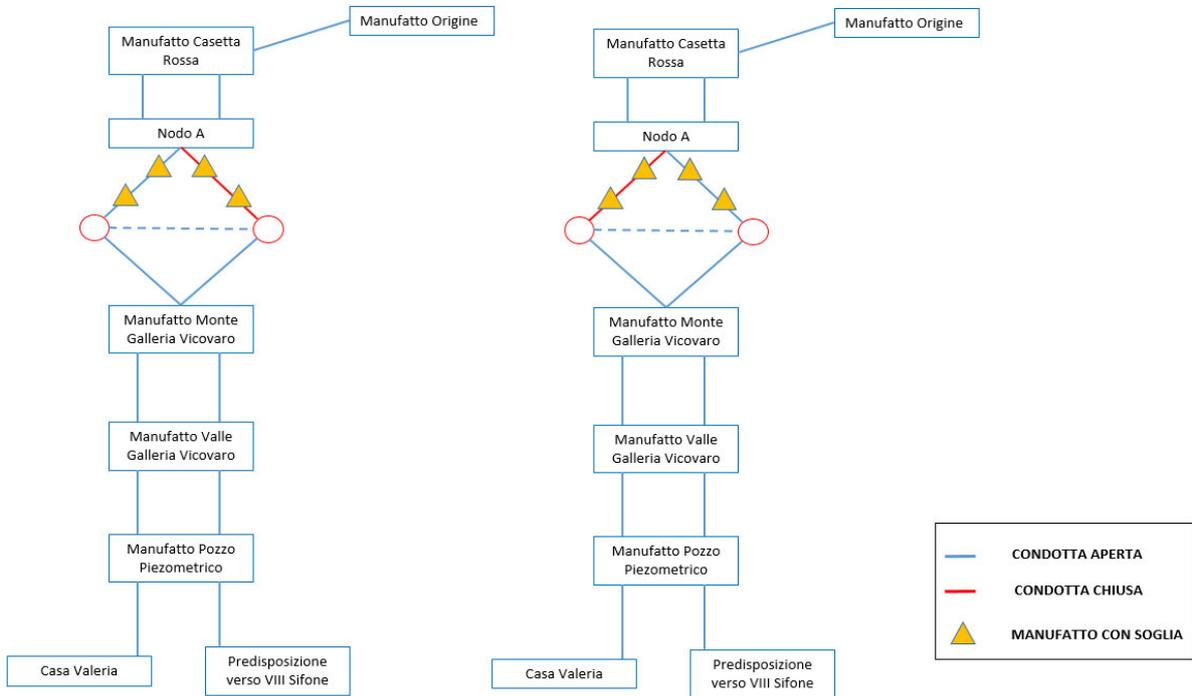


Figura 14 CASO 1

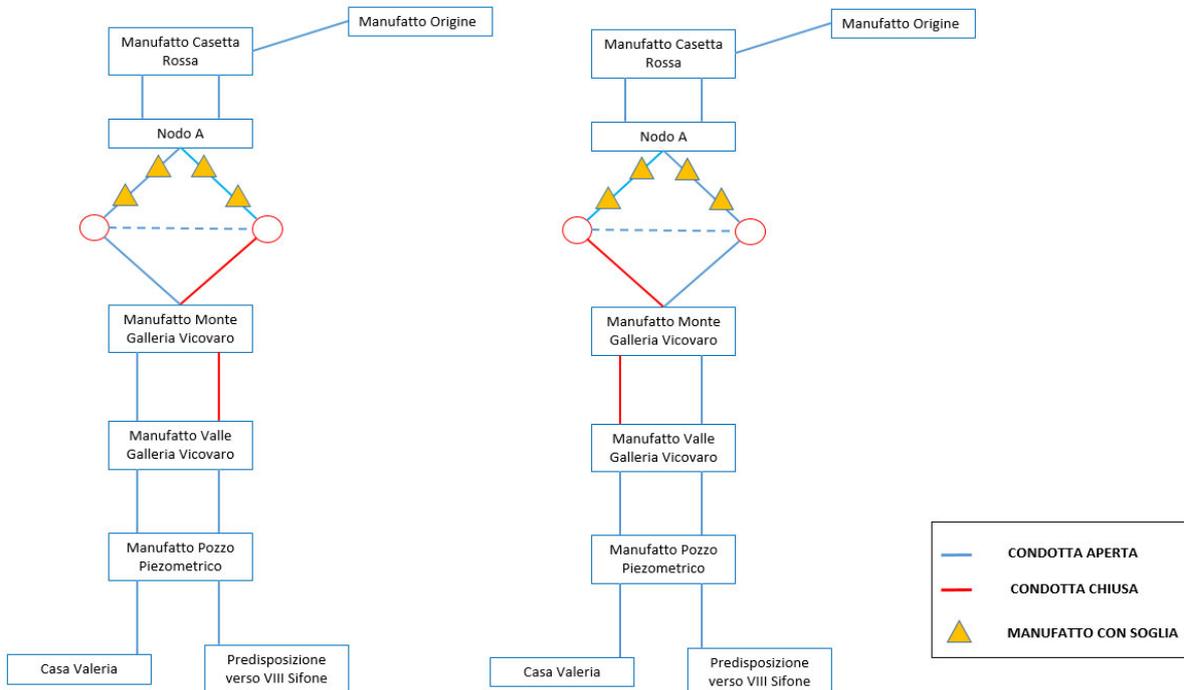


Figura 15 CASO 2

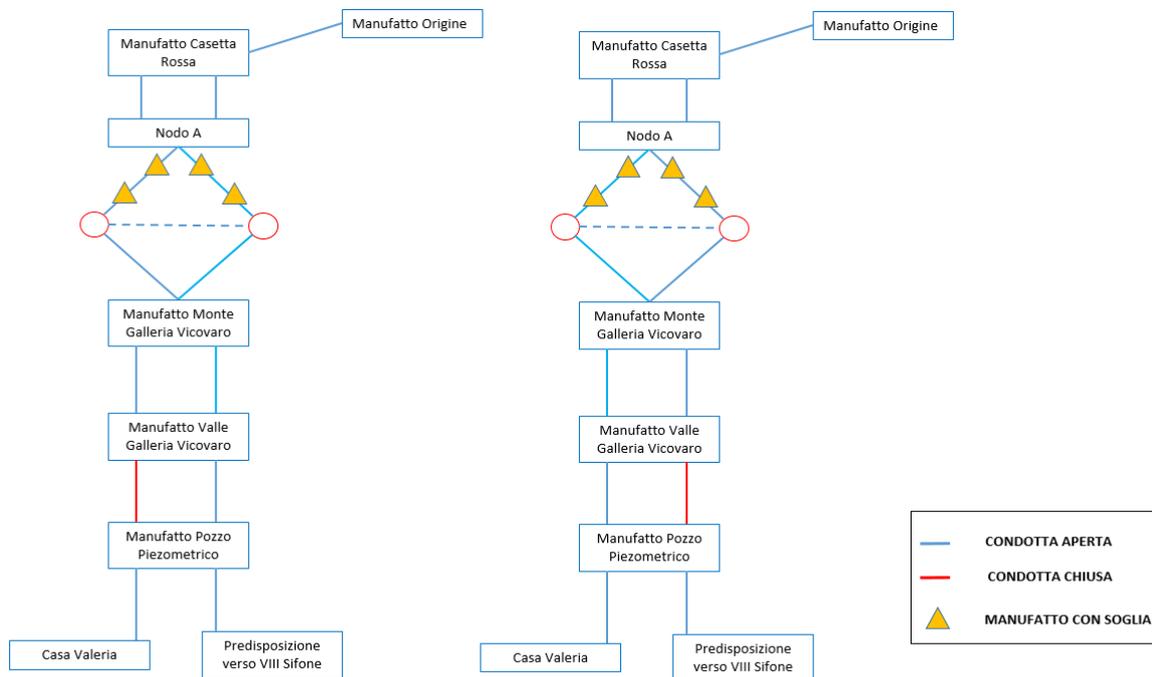


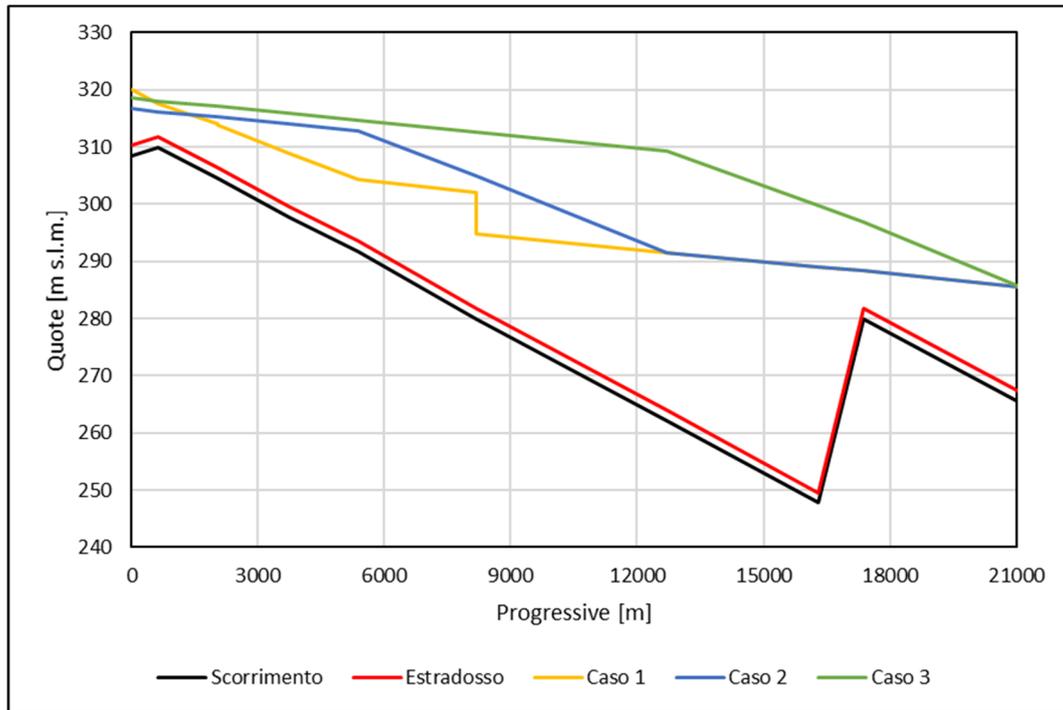
Figura 16 CASO 3

Figura 17 Funzionamento straordinario– schemi unifilari

Ai fini della verifica, sono stati considerati i valori di scabrezza peggiorativi, come definite nel paragrafo 4.2, in quanto risultano dimensionanti per le condizioni in esame.

Di seguito i profili idraulici schematici dal Nodo A al manufatto MPP lungo il TR2 e il TR4 nelle diverse casistiche di condizioni straordinarie con scabrezze peggiorate.

(a) Tracciato TR2



(b) Tracciato TR4

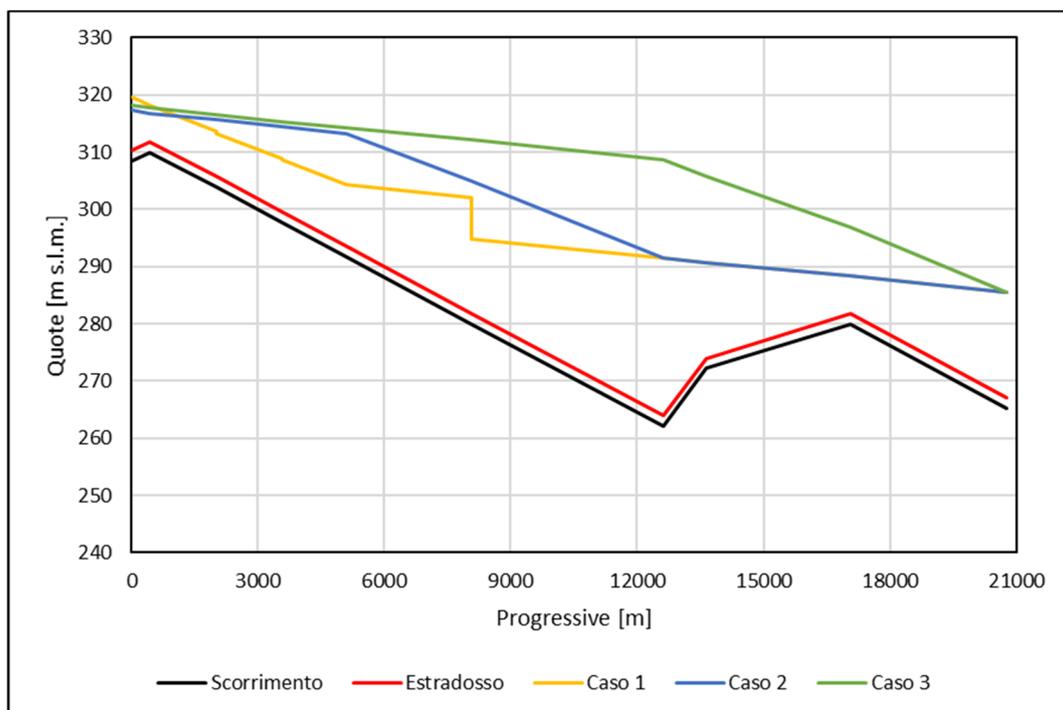


Figura 18 Funzionamento straordinario: Profilo Idraulico Schematico del tracciato TR2 (in alto) e del TR4 (in basso)

Nelle condizioni sopra rappresentate il massimo livello al Nodo A è pari a circa 319,95 m s.l.m., compatibile con il troppo pieno presente nel manufatto e il carico sugli sfiati è sempre superiore ai 3 m richiesti.

Osservando le piezometriche nei diversi casi di funzionamento straordinario, si possono notare dei nodi in cui si ha un "salto" nei valori del carico.

Tali salti sono dovuti all'attivazione delle soglie presenti nel Manufatto di Imbocco della Galleria di Vicovaro (MIM-G1), descritto al paragrafo 5.5, e nei pozzi presenti nelle tratte TR2M1 - TR4M1, descritti al paragrafo 5.4.

In assenza di tali soglie la piezometrica, essendo fissa a valle, avrebbe intersecato in alcuni casi le condotte risalendo verso monte. L'attivazione delle soglie produce dei salti localizzati che permettono invece di mantenere la linea piezometrica sempre sufficientemente al di sopra delle condotte.

### **6.2.3 Scenario di esercizio fase funzionale 2**

Di seguito vengono invece riportati i risultati delle verifiche idrauliche condotte sul sistema alla fine della fase funzionale 2, quindi con il completamento del TR4 fino ai manufatti di Tivoli.

Come si è potuto evincere dai paragrafi precedenti, solamente con tutte e due le linee in funzione sarà possibile addurre verso Tivoli l'intera portata di concessione.

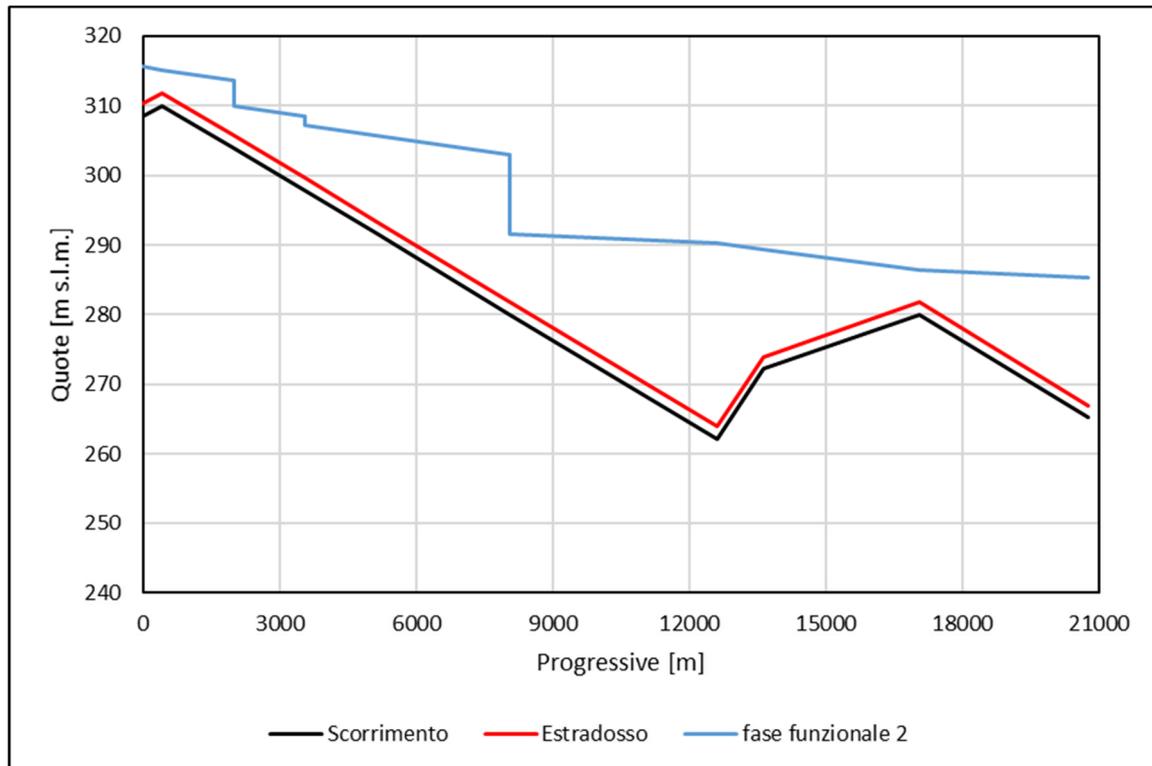
Nelle condizioni transitorie sopra descritte è garantita l'adduzione di una portata di 4,2 m<sup>3</sup>/s, ossia pari alla portata media attualmente recapitata a Casa Valeria.

In tale condizione dovrà essere assicurato il carico presso Tivoli pari a circa la quota sommitale della soglia "bassa" presente nel Manufatto Pozzo Piezometrico (285 m s.l.m.).

Le citate condizioni di funzionamento sono state ancora verificate con il modello realizzato con il software Infoworks ICM.

Ai fini della verifica, come nel caso della fase funzionale 1 anche in questo caso sono state considerati i valori di scabrezza di progetto, come definiti nel paragrafo 4.2. La configurazione raggiunta verrà mantenuta fino al completamento dell'ultima fase, a una distanza di tempo tale da scongiurare il depauperamento dei rivestimenti interni delle condotte rispetto al loro stato al momento della posa in opera.

Di seguito il profilo idraulico schematico.



**Figura 19 Funzionamento transitorio – scabrezze di progetto: Profilo Idraulico Schematico del tracciato TR4**

Nelle condizioni sopra rappresentate il livello al Nodo A è pari a circa 315,60 m s.l.m., compatibile con il troppo pieno presente nel manufatto e il carico sugli sfiati è sempre superiore ai 3 m richiesti.

Nella figura precedente si possono notare alcuni cambi di gradiente idraulico lungo il percorso. In particolare la cadente piezometrica si riduce tra le progressive 8.000 e 12.500 e da 17.000 fino al termine del tracciato, a causa del fatto che in tali tratti l'opera, al termine della seconda fase funzionale, è già composta da due tubazioni. I salti presenti in alcuni nodi sono invece provocati dagli stramazzi frontali presenti nei principali invasi del progetto.

Similmente al caso precedente anche in tale condizione si ha l'attivazione delle tre soglie presenti sul tracciato, con conseguente formazione di salti nei corrispondenti nodi.

#### 6.2.4 Analisi del moto vario di insieme

Al fine di valutare il comportamento dell'acquedotto al verificarsi di fenomeni transitori conseguenti a eventi accidentali e/o calamitosi, particolare rilevanza è data alle oscillazioni di moto vario di insieme che si possono instaurare lungo l'acquedotto. In particolare, sono stati analizzati i casi di interruzione del flusso verso i manufatti a superficie libera posti in corrispondenza di alcuni dei nodi di interconnessione tra i due tracciati, vale a dire il Nodo A e il Manufatto di Imbocco della Galleria di Vicovaro. Una condizione di questo tipo può essere causata, ad esempio, da un crollo tale da mettere fuori servizio entrambe le condotte in arrivo da monte in tali manufatti.

Una interruzione del flusso improvvisa di questo tipo provocherebbe un fenomeno di moto vario d'insieme potenzialmente in grado di abbassare il livello idrico nei manufatti al di sotto della quota di imbocco delle condotte che ripartono verso valle con conseguente ingresso di aria nei tubi e il rischio di provocare al loro interno depressioni in grado di danneggiarne la struttura.

Nel caso di moto vario di insieme, le dimensioni dei pozzi di monte e di valle della condotta in cui si instaura il fenomeno, giocano un ruolo fondamentale nell'attenuazione delle oscillazioni di massa al suo interno. Tanto più grande è il pozzo di monte, tanto minore è il rischio che la condotta subisca il fenomeno di ingresso di aria.

Per simulare l'interruzione con il modello InfoWorks, è inserita, nei punti in cui si vuole arrestare bruscamente il flusso, un elemento paratoia associato ad una funzione di regolazione, che viene istantaneamente chiuso (manovra lineare di durata pari a 1s). Tale situazione non rispecchia presumibilmente ciò che accadrebbe nella realtà nel caso di una criticità improvvisa tale da recidere le condotte provocando la perdita completa della tenuta idraulica, in quanto si presume che l'interruzione del flusso non sarebbe né immediata, né totale.

Le situazioni analizzate sono quindi le seguenti:

- Interruzione del flusso a monte del Nodo A;
- Interruzione del flusso a monte del Manufatto di Imbocco della Galleria di Vicovaro (MIM-G1).

In ciascuna simulazione è stato modellato l'intero sistema, assumendo l'ipotesi che le condotte e il fluido che transita al loro interno siano rigide e non deformabili.

In entrambi i casi sono state osservate le oscillazioni che si verificano negli invasi presenti sul sistema:

- Nodo A;
- Pozzi PZ3 e PZ5 sul TR2;
- Pozzi PZ3 e PZ5 sul TR4;
- Manufatto Pozzo Piezometrico.

In ciascuno dei manufatti sopra elencati sono inoltre presenti delle soglie di sfioro trasversali al flusso idrico, come descritto nei paragrafi precedenti. Al verificarsi del transitorio, a causa dell'interruzione del flusso da monte, il livello idrico in ognuno di questi manufatti non arriva più a superare la quota della soglia ivi presente. In questo modo in ogni vasca si avrà un volume a monte della soglia, che costituisce l'invaso di valle per le condotte che giungono nel manufatto, e un volume a valle della soglia, che costituisce l'invaso di monte per le condotte che escono dal manufatto.

La presenza delle soglie trasversali al flusso fa in modo che il livello finale del transitorio si stabilizzi al di sopra del cervello delle condotte. La quota di tali soglie è stata infatti definita proprio per scongiurare la vuotatura delle condotte stesse.

Gli eventi sono stati considerati nel caso di regolare esercizio della futura infrastruttura, durante condizioni assimilabili allo scenario di esercizio ordinario, come descritto al paragrafo 6.1, nella sua configurazione definitiva.

A favore di sicurezza, anche in queste condizioni si è scelto di prevedere un funzionamento con livello idrico presso il Manufatto Pozzo Piezometrico di valle pari a quello della soglia "bassa", ossia di 285 m s.l.m..

Nelle simulazioni svolte, sono state utilizzate le condizioni di scabrezza di progetto, e non i valori peggiorativi. Scabrezze elevate infatti, in condizioni di moto vario di insieme costituiscono un elemento dissipativo, e quindi massimizzarle come è stato fatto per i valori peggiorativi ipotizzati per le diverse tipologie di condotte presenti, costituisce una valutazione a sfavore di sicurezza, in quanto in presenza di tubi più scabri il fenomeno si dissipa maggiormente.

### Interruzione del flusso a Monte del Nodo A

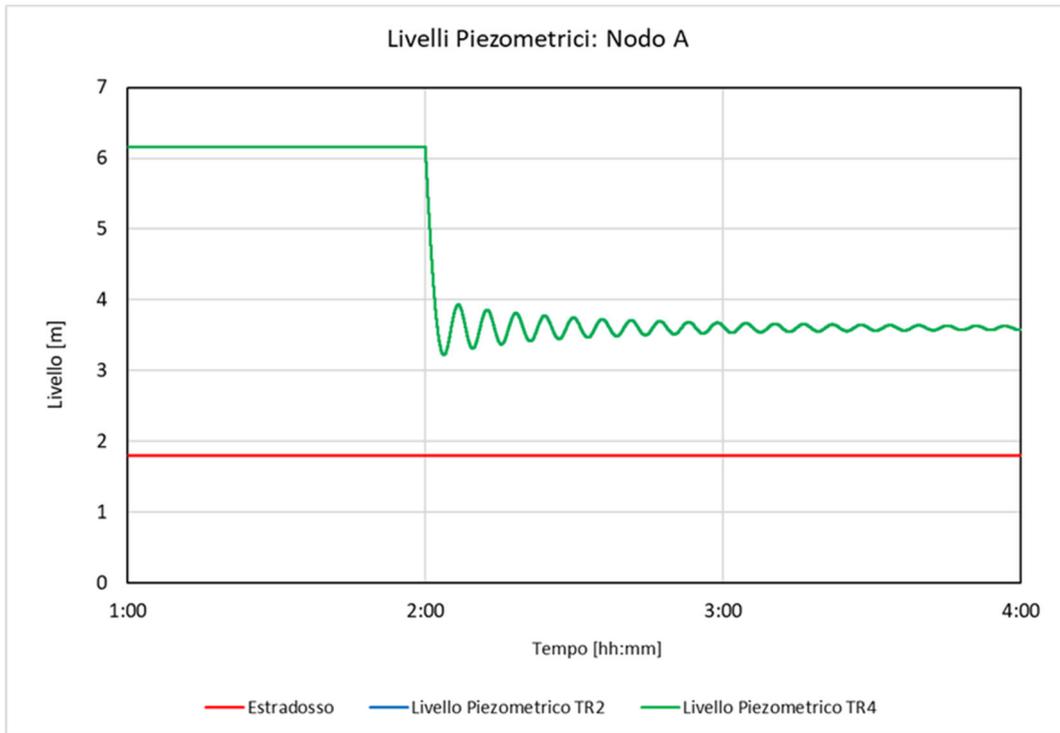
Nelle condizioni di funzionamento ordinarie, nel caso di brusca interruzione del flusso al Nodo A, si instaurano una serie di oscillazioni che coinvolgono tutti i manufatti a superficie libera presenti sui tracciati.

Come detto in precedenza, la situazione appare più critica, in termini di possibilità di veder scendere la piezometrica al di sotto delle condotte, nel caso in cui nel Manufatto Pozzo Piezometrico sia attiva la soglia "bassa" (285 m s.l.m.), in quanto il livello di regime lungo tutta l'infrastruttura è inferiore già prima che si verifichi la riduzione di apporto al nodo A ipotizzata.

I manufatti che si monitorano in questo primo caso, ossia di interruzione a monte del Nodo A, sono quelli posti tra questo e la prima interconnessione, vale a dire quei nodi per i quali tale scenario è critico.

Per valutare invece lo stato delle condotte a partire dalla galleria di Vicovaro in caso di moto vario d'insieme, si prenderà in considerazione un evento localizzato immediatamente a monte del manufatto di imbocco della stessa (MIM-G1).

Di seguito le oscillazioni di livello (relativo e riferito allo scorrimento delle condotte) delle condotte DN1800 in uscita dal Nodo A.

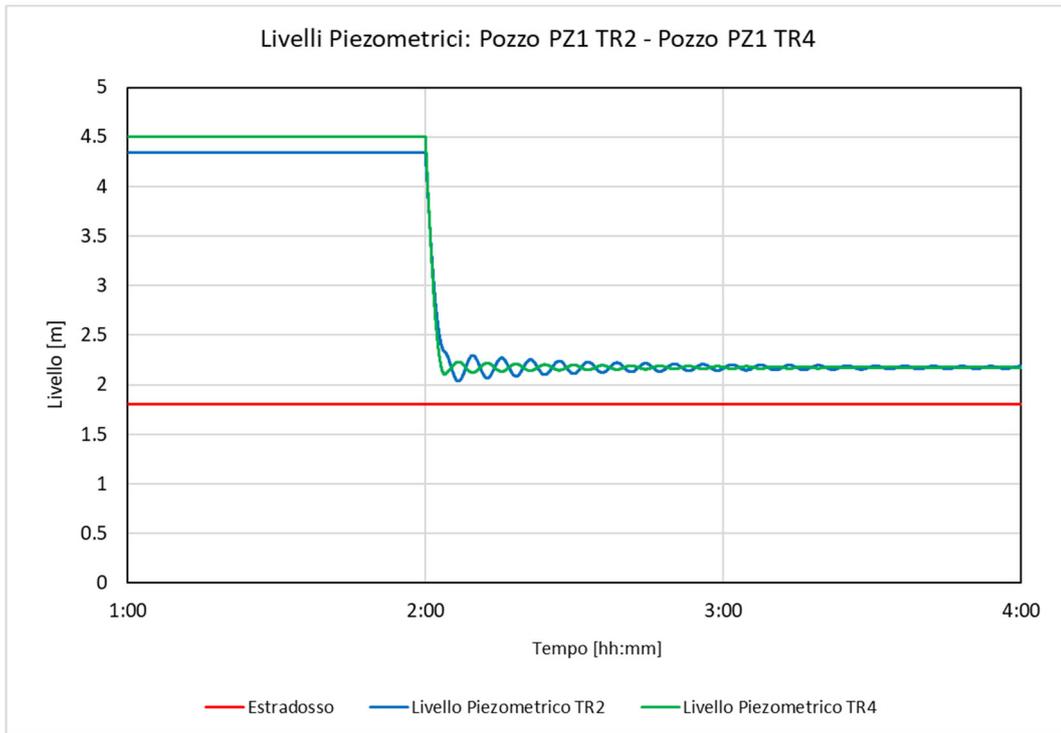


**Figura 20 Rottura a monte del Nodo A: livelli piezometrici sulle condotte in uscita dal Nodo A**

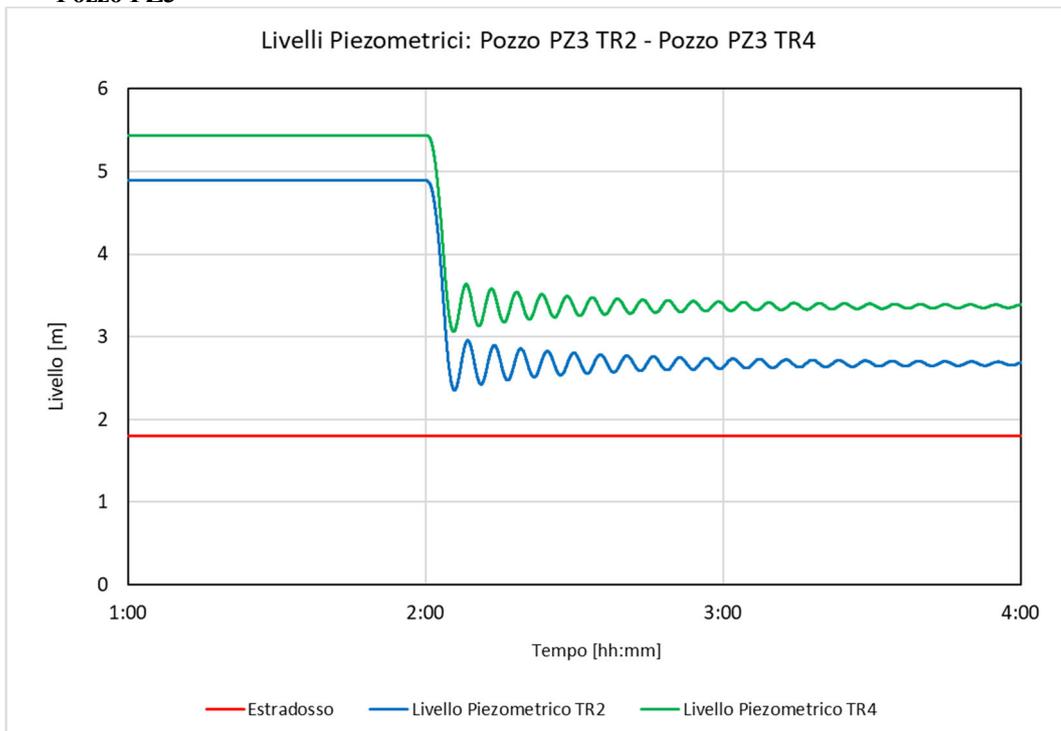
Si noti come il requisito espresso al paragrafo 6.1 sia rispettato in entrambe le condotte. Il livello piezometrico non scende infatti mai al di sotto della generatrice superiore della condotta.

Seguono i livelli idrici nei nodi pozzo PZ1 su entrambi i tracciati, dove sono presenti dei punti di sfiato, e nelle condotte in uscita dai 4 pozzi con la soglia presenti sui due tracciati (PZ3 e PZ5)

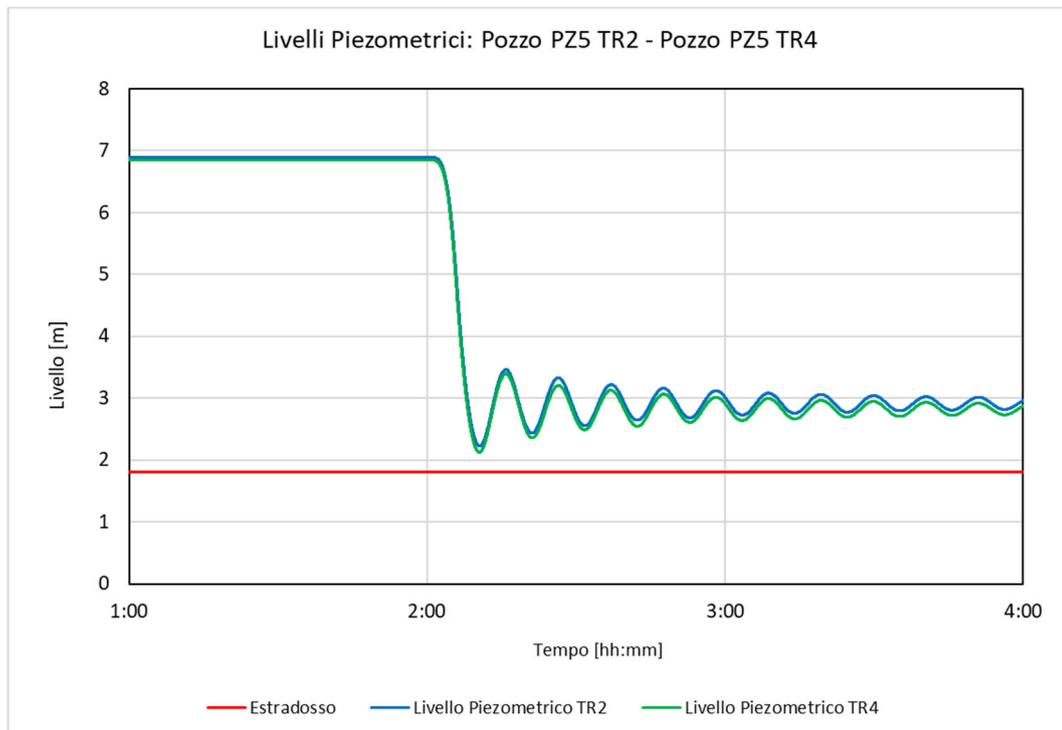
(a) **Pozzo PZ1**



**(b) Pozzo PZ3**



**(c) Pozzo PZ5**



**Figura 21 Rottura a monte del Nodo A: livelli piezometrici sulle condotte in prossimità di un vertice di sfiato e in uscita dai pozzi con soglia su entrambi i tracciati**

Tutte le condotte analizzate sopra non presentano fenomeni di depressione nelle condizioni analizzate.

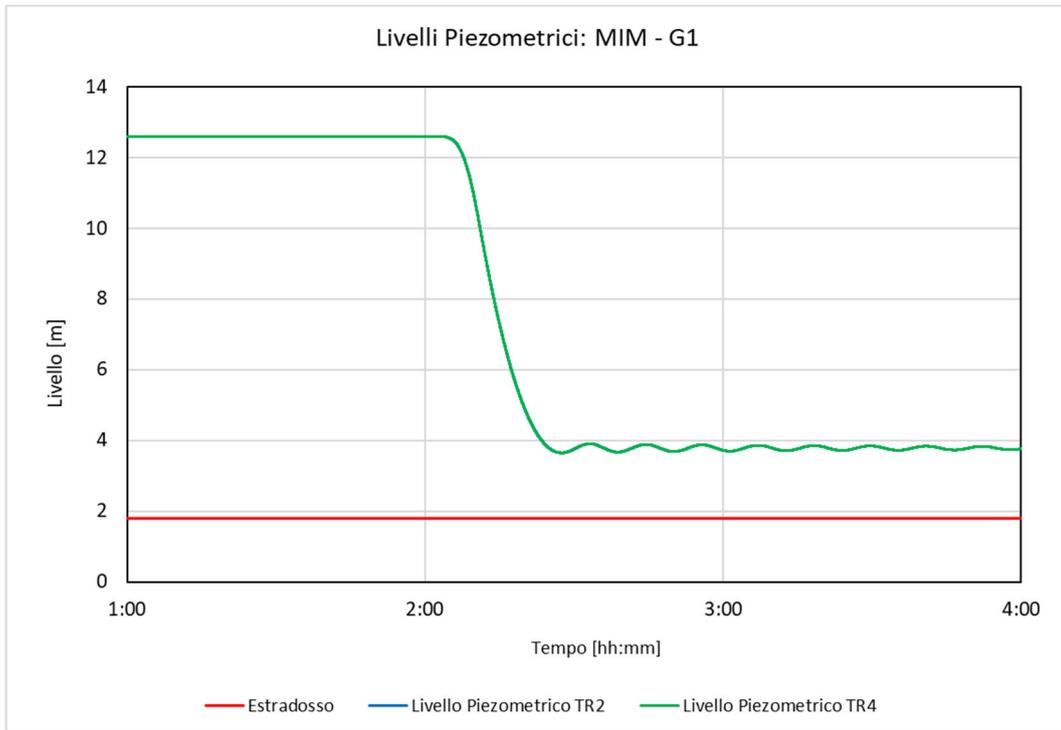
Interruzione del flusso a Monte del Manufatto di Imbocco della Galleria di Vicovaro (MIM-G1)

Le verifiche sopra descritte, sono state ripetute nel caso di interruzione dell'adduzione su entrambe le condotte DN1800 in ingresso alla vasca del Manufatto di Imbocco della Galleria di Vicovaro.

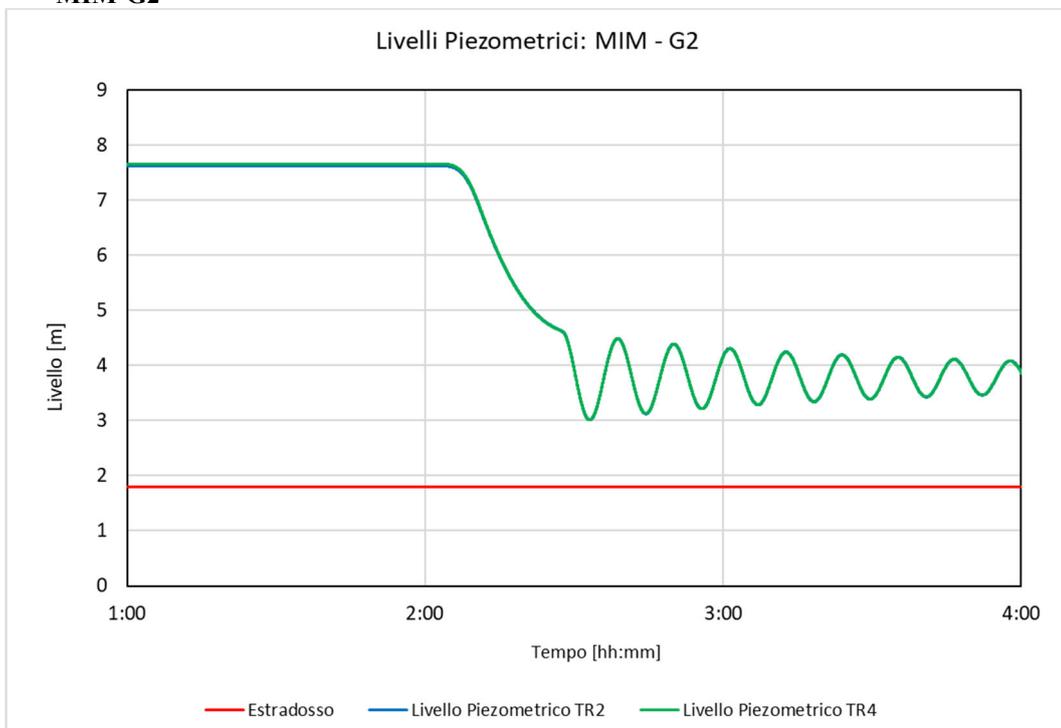
Seguono i livelli idrici delle condotte subito a valle del manufatto, e in prossimità del Manufatto di Imbocco della Galleria di San Polo (MIM-G2).

Tale secondo nodo è stato valutato in quanto presenta un vertice di sfiato, con una quota relativamente prossima alla piezometrica di regime.

(a) MIM-G1



(b) **MIM-G2**



**Figura 22 Rottura a monte del MIM-G1: livelli piezometrici sulle condotte dal MIM-G1 e sulle condotte in prossimità MIM-G2**

Da come si può osservare nelle figure riportate, i livelli nelle condotte analizzate non scendono al di sotto della generatrice superiore delle stesse. Pertanto non si verificano condizioni di depressione. Il requisito è pertanto rispettato.

### **6.2.5 Scenario di vuotatura dell'acquedotto**

Al fine di rispettare il requisito espresso nel QE di garantire tempi di svuotamento dell'acquedotto inferiori a 12 ore, si riportano di seguito i risultati delle simulazioni svolte, in considerazione della massima portata transitante nel Nuovo Acquedotto Marcio, pari a  $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nella verifica descritta i valori di scabrezza imposti alle condotte sono quelle corrispondenti alle condizioni peggiorative.

Le simulazioni sono realizzate per mezzo di leggi di regolazione degli organi presenti nelle opere di progetto.

Nello specifico si ipotizza la chiusura degli organi di sezionamento presenti alla partenza delle condotte DN2000 a superficie libera dal MCR, con una manovra lineare di durata pari a un'ora. In questo modo la derivazione della portata captata di concessione viene derivata verso gli scarichi a servizio del MCR.

Tale durata è giudicata estremamente cautelativa rispetto agli effettivi tempi di manovra degli organi elettromeccanici, introdotti ai paragrafi precedenti. Infatti l'obiettivo della verifica è assicurarsi che il sistema sia in grado di vuotarsi in tempi contenuti (minori di 12 ore). In questo senso sovrastimare la durata di chiusura dell'alimentazione dell'acquedotto è quindi a favore di sicurezza.

In questo modo la portata di concessione viene derivata verso gli scarichi a servizio del MCR.

A seguito dell'interruzione dell'immissione da monte, vengono aperti gli scarichi presenti lungo l'acquedotto, sempre con legge lineare di durata cautelativa pari a 1 ora.

In via preliminare si valuta la vuotatura a seguito dell'apertura dei principali scarichi dell'acquedotto a gravità dell'acquedotto, descritti al capitolo 7 e riassunti brevemente di seguito:

- Scarico Manufatto di uscita della Galleria di Vicovaro;
- Scarico pozzo PZ12 sul TR2;
- Scarico Manufatto Pozzo Piezometrico.

Per scaricare l'acquedotto a gravità, vengono inoltre aperte tutte le paratoie di bypass delle soglie presenti lungo il tracciato.

Di seguito sono riportati i livelli nei tratti immediatamente a monte del Manufatto di uscita della Galleria di Vicovaro, che rappresenta il punto di scarico a servizio della tratta più lunga di acquedotto. Dall'analisi degli stessi si evince come sia rispettato il requisito del contenimento del tempo di vuotatura entro le 12 ore.

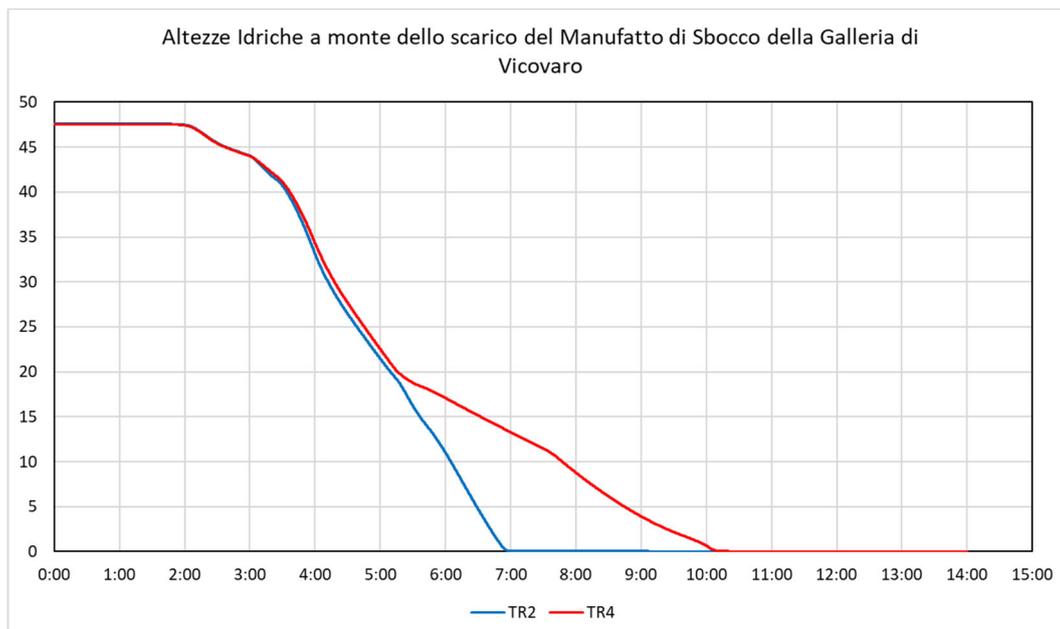


Figura 23 Livelli nelle condotte a monte dello scarico a gravità del Manufatto di Sbocco della Galleria di Vicovaro

### 6.2.6 Scenario di esercizio per le portate minime

Al fine di valutare l'effetto delle cadute dell'acqua dalle soglie di disconnessione presenti lungo i due tracciati, sono state condotte delle ulteriori simulazioni relative alle condizioni di adduzione delle portate minime

In tali condizioni, a causa delle basse portate, le perdite di carico lungo il tracciato sono modeste e quindi, qualora il livello di valle a Casa Valeria venga mantenuto pari a circa la quota sommitale della soglia "bassa" presente nel Manufatto Pozzo Piezometrico (285 m s.l.m.), lungo il tracciato in corrispondenza delle soglie di disconnessione si generano delle cadute di acqua anche dell'ordine massimo di circa 16 m.

È da notare come tale condizione sia di carattere eccezionale, infatti nel normale funzionamento la quota presso Tivoli è mantenuta pari a circa la quota sommitale della soglia "alta" presente nel Manufatto Pozzo Piezometrico (303 m s.l.m.), e quindi le cadute dalle soglie presenti lungo il tracciato sono di entità significativamente minore.

Di seguito sono riassunte le condizioni di funzionamento esaminate.

- adduzione della portata minima degli ultimi 10 anni adottata dal sistema esistente (2,8 m<sup>3</sup>/s) ripartita tra le due condotte costituenti il nuovo sistema acquedottistico;
- carico presso Tivoli pari a circa la quota sommitale della soglia "bassa" presente nel Manufatto Pozzo Piezometrico (285 m s.l.m.).

Le citate condizioni di funzionamento sono state ancora verificate con il modello realizzato con il software Infoworks ICM.

Ai fini della verifica, sono state considerate le scabrezze di progetto come definite nel paragrafo 4.2.

In questo caso infatti le cadute di acqua maggiori dalle soglie si hanno quando le perdite di carico sono minori, in questi termini è dimensionante la condizione con le scabrezze inferiori.

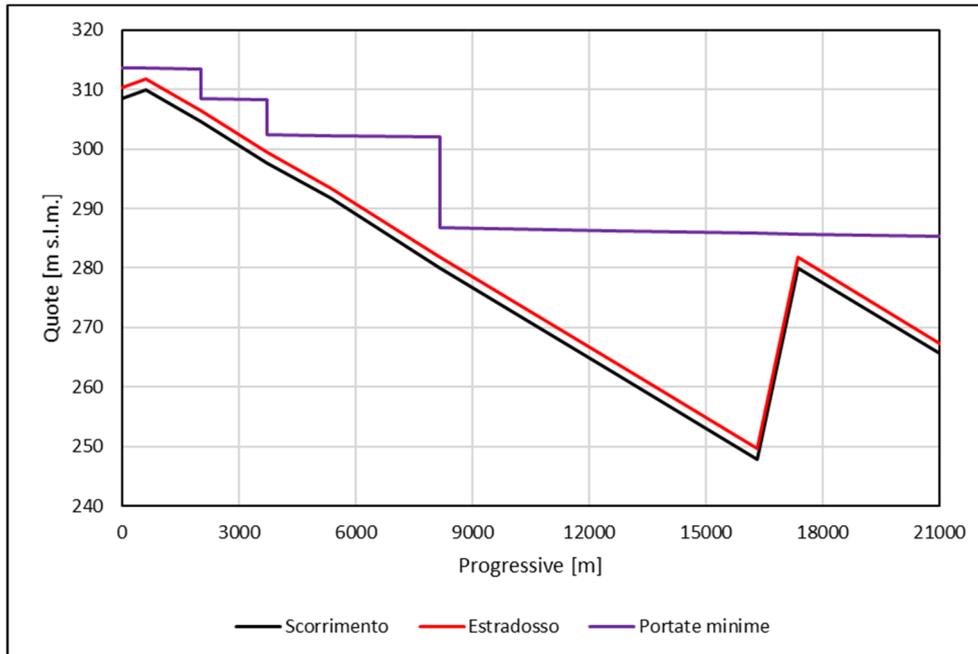
Come si può osservare dai risultati delle simulazioni, la caduta di acqua maggiore si ha in prossimità del manufatto di imbocco della galleria di Vicovaro, che arriva a circa 16 m.

Per limitare gli effetti di tale caduta di acqua, il fondo delle vasche verrà dotato di opportuni rinforzi per scongiurare eventuali fenomeni di erosione del calcestruzzo posto alla base delle soglie.

Scabrezze di progetto

Di seguito i profili idraulici schematici dal Nodo A al manufatto MPP lungo il TR2 e il TR4 con le scabrezze di progetto.

(c) Tracciato TR2



(d) Tracciato TR4

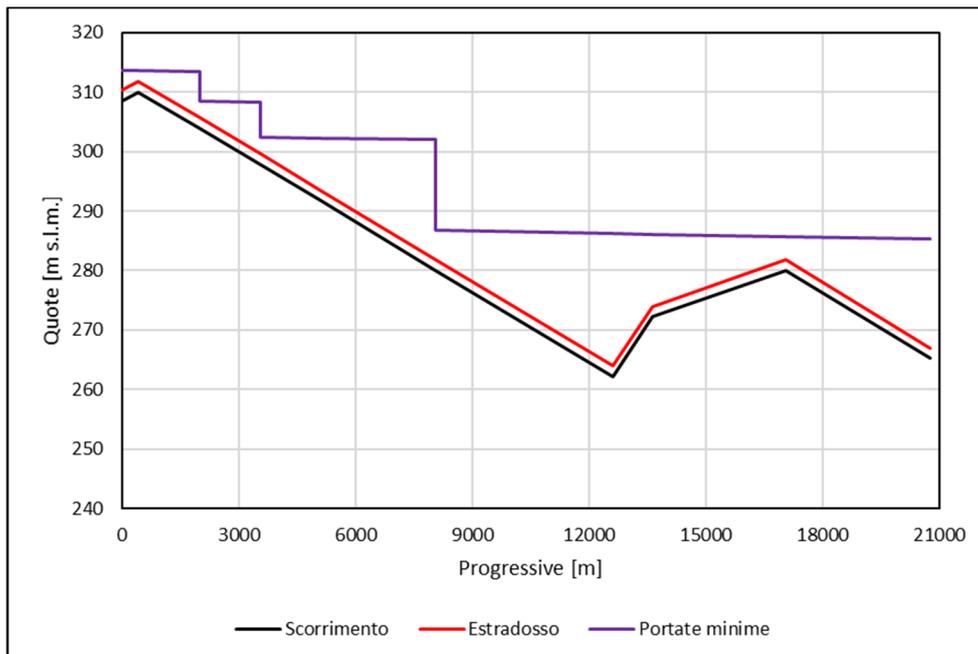


Figura 24 Portate minime–scabrezze di progetto: Profilo Idraulico Schematico TR2 (in alto) e TR4 (in basso)

### 6.2.7 Verifica di moto vario elastico

La verifica di moto vario elastico viene ripetuta per le condotte previste nelle fasi funzionali successive.

Di seguito i risultati del calcolo per la tratta interamente in pressione più lunga prevista nelle fasi funzionali successive, che risulta essere circa 12933 m (dalla vasca di Vicovaro al manufatto Pozzo Piezometrico).

In tale tratta sono previste sia condotte in acciaio che in calcestruzzo rivestito internamente in HDPE. Il calcolo è quindi ripetuto per entrambe le tipologie di condotte

<b>modulo di comprimibilità dell'acqua</b>	<b><math>\epsilon</math> =</b>	2.03E+09	N/m <sup>2</sup>
<b>densità acqua</b>	<b><math>\rho</math> =</b>	998	kg/m <sup>3</sup>
<b>modulo di elasticità del materiale (CIs)</b>	<b>E =</b>	3,3E+10	N/m <sup>2</sup>
<b>Diametro condotta</b>	<b>D =</b>	1,8	m
<b>Portata</b>	<b>Q =</b>	6,7	m <sup>3</sup> /s
<b>Velocità iniziale</b>	<b>U<sub>0</sub> =</b>	2,63	m/s
<b>spessore condotta</b>	<b>s =</b>	0,18	m
<b>celerità di propagazione onde</b>	<b>a =</b>	1122,22	m/s
<b>Lunghezza tratta</b>	<b>L =</b>	12933	m
<b>durata di fase</b>	<b>T =</b>	23,05	s
<b>durata della manovra</b>	<b>T<sub>c</sub> =</b>	240	s
<b>tipo di manovra</b>		lenta	
<b>sovrappressione</b>	<b><math>\Delta H</math> =</b>	28,9	m

<b>modulo di comprimibilità dell'acqua</b>	<b><math>\epsilon</math> =</b>	2.03E+09	N/m <sup>2</sup>
<b>densità acqua</b>	<b><math>\rho</math> =</b>	998	kg/m <sup>3</sup>
<b>modulo di elasticità del materiale (CIs)</b>	<b>E =</b>	2,1E+11	N/m <sup>2</sup>
<b>Diametro condotta</b>	<b>D =</b>	1,8	m
<b>Portata</b>	<b>Q =</b>	6,7	m <sup>3</sup> /s
<b>Velocità iniziale</b>	<b>U<sub>0</sub> =</b>	2,63	m/s
<b>spessore condotta</b>	<b>s =</b>	0,02	m
<b>celerità di propagazione onde</b>	<b>a =</b>	1042,95	m/s
<b>Lunghezza tratta</b>	<b>L =</b>	12933	m

<b>durata di fase</b>	<b>T =</b> 24,80 s
<b>durata della manovra</b>	<b>T<sub>c</sub> =</b> 240 s
<b>tipo di manovra</b>	lenta
<b>sovrappressione</b>	<b>ΔH =</b> 28,9 m

Per la pressione idrostatica di esercizio dell'impianto al manufatto in oggetto (intervallo compreso tra 0 e 6 atm), la sovrappressione massima è di 3 atm (equivalenti a circa 30 m), superiore a quella sopra determinata. La verifica è pertanto soddisfatta. Si prevede l'utilizzo di condotte certificate per pressioni interne di collaudo pari a 10,5 bar.

## 7 Modalità di scarico

Il nuovo acquedotto è stato dotato di una ridondanza di sistemi di scarico al Fiume Aniene, in modo da poter svuotare sia tratte isolate, sia tutta l'infrastruttura, sia per consentire lo scarico della portata di concessione in caso emergenziale.

Si segnala che tutte le opere di restituzione presentate nel paragrafo sono a carattere emergenziale e di sicurezza.

Essendo l'acquedotto in progetto dotato di punti di interconnessione tra le due linee di condotte delle quali si costituisce, sono stati definiti dei sistemi per consentire lo svuotamento isolato di ogni tratta singola, mantenendo in esercizio il resto dell'infrastruttura.

Sarà così possibile, nelle condizioni di esercizio straordinario descritte al precedente capitolo, vuotare interamente le tratte messe fuori servizio.

Di seguito sono elencati i punti di restituzione presenti lungo i due tracciati, con il valore di portata scaricata. Di questi solo il primo appartiene alla fase funzionale in oggetto (Nodo A).

Sono comunque descritti tutti gli scarichi in modo da consentire la leggibilità delle verifiche idrauliche effettuate.

- Scarichi esistenti del Manufatto di Casetta Rossa: Per lo scarico e la vuotatura dei manufatti di Casetta Rossa verranno utilizzate le condotte degli attuali acquedotti. Sono poi previsti degli interventi di sostituzione dell'esistente tubazione di collegamento dello sfioro esistente nel Manufatto Origine. La nuova condotta sarà realizzata in PRFV De1200 e recapita al pozzetto connesso idraulicamente al Vecchio 1° Acquedotto che ha funzione di scarico.
- Scarico di Troppo Pieno al Nodo A: al Nodo A è presente una canaletta di raccolta del troppo pieno della vasca. La canaletta permette l'adduzione verso un canale interrato esterno all'opera che sversa a gravità negli acquedotti esistenti. Questo scarico entra in funzione esclusivamente in condizioni di

emergenza, qualora debba essere chiusa improvvisamente l'adduzione verso valle;

- Scarico 1° interconnessione: In prossimità della prima interconnessione (tra il Pozzo PZ7 del TR2 e il Pozzo PZ7 del TR4) sono presenti gli organi necessari per il sezionamento e lo scarico delle condotte in arrivo da monte in tale Nodo. La derivazione verso il punto di restituzione al Fiume può avvenire sia a gravità fino alla sommità delle tubazioni di scarico che tramite le pompe di aggettamento per il successivo esaurimento, per una portata di circa 350 l/s;
- Scarico Manufatto di Imbocco della Galleria di Vicovaro: Similmente al manufatto del Nodo A, anche nelle vasche presso l'imbocco della galleria di Vicovaro è presente una canaletta di raccolta del troppo pieno. Anche in questo caso le acque raccolte dal troppo pieno vengono addotte con un canale interrato verso l'esterno del manufatto, in un pozzo dove confluiscono anche gli scarichi di fondo del manufatto. Da tale pozzo, le acque vengono scaricate inizialmente a gravità. In casi di utilizzo delle pompe di aggettamento viene scaricata una portata di circa 50 l/s, mentre in caso di attivazione del troppo pieno di emergenza la portata arriva a 6.7 m<sup>3</sup>/s di concessione;
- Scarico Manufatto di uscita della Galleria di Vicovaro: All'interno di tale manufatto, a monte dell'interconnessione lungo le due condotte DN1800 sono presenti degli organi di sezionamento che consentono lo scarico completo dell'acquedotto a monte, per una portata di 6.7 m<sup>3</sup>/s;
- Scarico località Santa Balbina: Tale scarico è localizzato presso il PZ12 del TR2. Permette la vuotatura della tratta del TR2 a valle della galleria di Vicovaro fino al Manufatto Imbocco della galleria di San Polo. La portata di scarico, che avviene a gravità, è pari a circa 3.35 m<sup>3</sup>/s;
- Scarico Manufatto Pozzo Piezometrico: All'interno del manufatto è presente una tubazione DN800 che colletta le eventuali acque di scarico verso l'esistente punto di restituzione dello scarico di Casa Valeria. Tale scarico consente la vuotatura del Piezometro e della tratta di TR4 e di TR2 a valle dell'imbocco

della Galleria di San Polo. La portata di scarico, che avviene a gravità (pari a 650 l/s), consente la completa vuotatura entro le 12 ore.

## **8 Modalità di controllo, misura e ispezionabilità delle opere**

### **8.1 Controllo**

Per consentire la visione da remoto dello stato delle opere del Nuovo Acquedotto Marcio, sarà realizzato un sistema di videosorveglianza TVCC costituito da un insieme di telecamere di sorveglianza che trasmettono il segnale video verso il set di monitor e videoregistratori nella sala controllo nell'Opera di Presa e nel sistema di telecontrollo di ACEA ATO2 SpA. Tramite i monitor, l'operatore potrà controllare in tempo reale diversi punti sia interni alle opere (es. gallerie, vasche, soglie, ecc.) che esterni (es. porte di accesso, canali di scarico, ecc.).

Si prevede l'installazione di telecamere dotate di LED ed infrarossi, per registrare e trasmettere le immagini anche al buio o in penombra. e di meccanismi per il brandeggio e lo zoom da remoto.

Per quanto riguarda la visione all'interno delle nuove opere la finalità è quella di consentire agli operatori di verificare dalla sala controllo il funzionamento dell'acquedotto.

Tutti gli accessi alle nuove opere dall'esterno saranno dotati di sistemi di allarme anti-intrusione, come detto di telecamere di video-sorveglianza.

Gli organi idraulici di manovra (valvole e paratoie piane) saranno dotati di servomotori elettrici comandabili da remoto. La movimentazione degli organi di manovra non sarà di tipo automatico ma, al contrario, qualsiasi manovra potrà essere avviata solo da operatori provvisti di specifica autorizzazione.

### **8.2 Misura, monitoraggio e manovre**

Il Nuovo Acquedotto Marcio sarà dotato di un sistema di telecontrollo per il monitoraggio e la registrazione delle misure idrauliche utili a caratterizzare il funzionamento del sistema.

Con riferimento alla prima fase funzionale, le misure di portata verranno effettuate in particolare a valle del Manufatto di Casetta Rossa e a valle del Nodo A.

Di seguito un elenco preliminare delle strumentazioni previste e degli organi di manovra in ciascun manufatto della prima fase funzionale del progetto.

Manufatto	Apparecchiature di misura	Organi di manovra
Manufatto Casetta Rossa	<ul style="list-style-type: none"> <li>n°2 misuratori di livello</li> <li>n°1 misura di qualità</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n°1 paratoia piana motorizzata per sezionamento su canale di collegamento</li> <li>n°2 Paratoie piane motorizzata per sezionamento e regolazione su DN2000 in uscita dalla seconda vasca</li> <li>n°4 paratoie esistenti di regolazione.</li> </ul>
Immissione Fiumetto/Mola di regno	<ul style="list-style-type: none"> <li>n°2 misuratori di portata sulle condotte di mandata in arrivo dal campo pozzi; MID elettromagnetici DN0 per misura fiscale;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n°2 valvole di sezionamento tubazioni in ingresso.</li> </ul>
Nodo A	<ul style="list-style-type: none"> <li>n°2 misure di portata tubazioni in ingresso DN2000;</li> <li>n°4 misuratori di livello nelle vasche;</li> <li>n°1 misura di qualità;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n° 5 Paratoie piane motorizzate per il sezionamento.</li> <li>n° 2valvole motorizzate DN2000.</li> </ul>
Pozzi con soglia – PZ3/PZ5	<ul style="list-style-type: none"> <li>n°2 misuratore di livello (monte/valle della soglia);</li> <li>n°1 misura di qualità;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n°1 paratoia motorizzata di sezionamento.</li> </ul>
Interconnessione prima fase funzionale 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>n°1 misuratori di portata sulle condotte in pressione DN1800;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n°4 valvole di intercettazione motorizzate DN1800.</li> <li>n° 1 valvole di intercettazione motorizzate sulle condotte di scarico;</li> </ul>

### **8.3 Ispezionabilità e manutenzione**

Il Nuovo Acquedotto Marcio garantirà possibilità di ispezionare le opere secondo diverse modalità.

Si deve inoltre tenere in conto che il sistema in futuro sarà caratterizzato dalla massima flessibilità di gestione, potendo garantire anche il trasferimento della portata da addurre facendo ricorso al sistema di interconnessioni progettato.

Senza interrompere il servizio si potranno dunque svuotare tratte di acquedotto ed accedervi per le ispezioni.

Nei manufatti in cui sono presenti delle condotte in pressione passanti, si accederà aprendo il passo d'uomo presente in ciascun punto di ispezione e percorrendo tratte di limitata lunghezza anche direttamente all'interno dei DN1800 (idonei all'ingresso di un operatore).

Per quanto riguarda invece le due gallerie, ossia la Galleria di Vicovaro e la Galleria di San Polo, queste saranno percorribili in esercizio, sarà dunque possibile effettuare un controllo visivo e strumentale delle condotte DN1800, nonché effettuare eventuali interventi di manutenzione (ripristino del rivestimento esterno).