



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

aceq
 acqua
 ACEA ATO 2 SPA

Member of ISO
 9001:2015
RINA
 CERTIFIED MANAGEMENT SYSTEM
 ISO 9001-ISO 14001
 BS OHSAS 18001
 ISO 50001

aceq
 ingegneria
 e servizi

Member of ISO
 9001:2015
RINA
 CERTIFIED MANAGEMENT SYSTEM
 ISO 9001-ISO 14001
 ISO 45001

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

CONSULENTE

Ing. Biagio Eramo

ELABORATO
A254PDS R005 2

COD. ATO2 ROM11105

DATA **MARZO 2022** SCALA **VARIE**

AGG. N.	DATA	NOTE	FIRMA
1	04/22	AGGIORNAMENTO ELABORATI UVP	
2	05/22	AGGIORNAMENTO ELABORATI CSLPP	
3			
4			
5			
6			

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

**Sottoprogetto
 ADDUTTRICE OTTAVIA – TRIONFALE**
 (con il finanziamento dell'Unione europea – Next Generation EU)

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

TEAM DI PROGETTAZIONE

RESPONSABILE PROGETTAZIONE Hanno collaborato:
 Ing. Angelo Marchetti Ing. Matteo Botticelli

CAPO PROGETTO
 Ing. Viviana Angeloro

IDRAULICA
 Ing. Eugenio Benedini

GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA
 Geol. Stefano Tosti

GEOTECNICA E STRUTTURE
 Ing. Angelo Marchetti

ASPETTI AMBIENTALI
 Ing. PhD Nicoletta Stracqualursi

ATTIVITA' TECNICHE DI SUPPORTO
 Geom. Stefano Francisci

ATTIVITA' PATRIMONIALI
 Geom. Fabio Pompei

RELAZIONE IDRAULICA E SUGLI ASPETTI TECNICO – FUNZIONALI

Indice

1	PREMESSA	2
2	OGGETTO E SCOPO DELL'INTERVENTO.....	3
3	SCHEMA GENERALE DI PROGETTO	6
3.1	DESCRIZIONE DEL SISTEMA FUTURO	6
3.2	PORTATE DI PROGETTO.....	8
3.3	VINCOLI DI PROGETTO	11
3.4	DESCRIZIONE DEL FUNZIONAMENTO IDRAULICO	12
4	DEFINIZIONE DEL FUNZIONAMENTO DEI NODI DI PROGETTO.....	18
5	VERIFICHE IDRAULICHE.....	23
5.1	MODELLO MATEMATICO	23
5.1.1	<i>InfoWorks ICM.....</i>	<i>23</i>
5.1.2	<i>InfoWorks WS PRO</i>	<i>26</i>
5.2	MATERIALI E SCABREZZE DELLE CONDOTTE.....	30
5.3	SCENARI DI TARATURA DEL SISTEMA.....	31
5.4	SCENARI DI VERIFICA	34
5.5	RISULTATI	36
5.5.1	<i>Scenario 1 – Condizioni di funzionamento della sola nuova condotta</i>	<i>37</i>
5.5.2	<i>Scenario 2 – Condizioni di funzionamento della nuova linea in parallelo alle condotte esistenti</i>	<i>39</i>
5.5.3	<i>Scenario di funzionamento con le portate minime.....</i>	<i>40</i>
5.6	VERIFICHE DEL SOLLEVAMENTO E DI MOTO VARIO ELASTICO	42
5.7	DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI VUOTATURA	49
5.7.1	<i>Punto di scarico 1</i>	<i>50</i>
5.7.2	<i>Punti di scarico 2, 3 e 4.....</i>	<i>51</i>
5.7.3	<i>Ulteriori punti di scarico</i>	<i>52</i>
5.8	ORGANI DI SEZIONAMENTO	54
5.9	VERIFICA IDRAULICA CONTROTUBO	55
5.9.1	<i>Verifica dell'area libera dell'intercapedine tra collettore e tubo fodera</i>	<i>55</i>
5.9.2	<i>Verifica smaltimento portata in caso di rottura della condotta DN2000 in pressione.....</i>	<i>56</i>

1 Premessa

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

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

2 Oggetto e scopo dell'intervento

Il sistema acquedottistico denominato Peschiera-Capore è la principale fonte di approvvigionamento idrico del territorio dell'ATO2 Lazio Centrale Roma.

Il Centro Idrico di Ottavia rappresenta uno dei nodi principali del sistema di smistamento della Capitale. In esso confluiscono il tronco inferiore del Peschiera Destro, l'adduttrice Monte Carnale Ottavia, che può trasferire le acque dal Peschiera Sinistro al Destro, e il Nuovo Acquedotto dal Lago di Bracciano.

Da questo Centro idrico partono le adduttrici che permettono il trasferimento della risorsa idrica verso il nodo Trionfale ed il Serbatoio di Monte Mario, da cui vengono alimentati molti quartieri del centro Città, e che poi proseguono verso il nodo Aurelio per l'alimentazione dei quadranti occidentali.

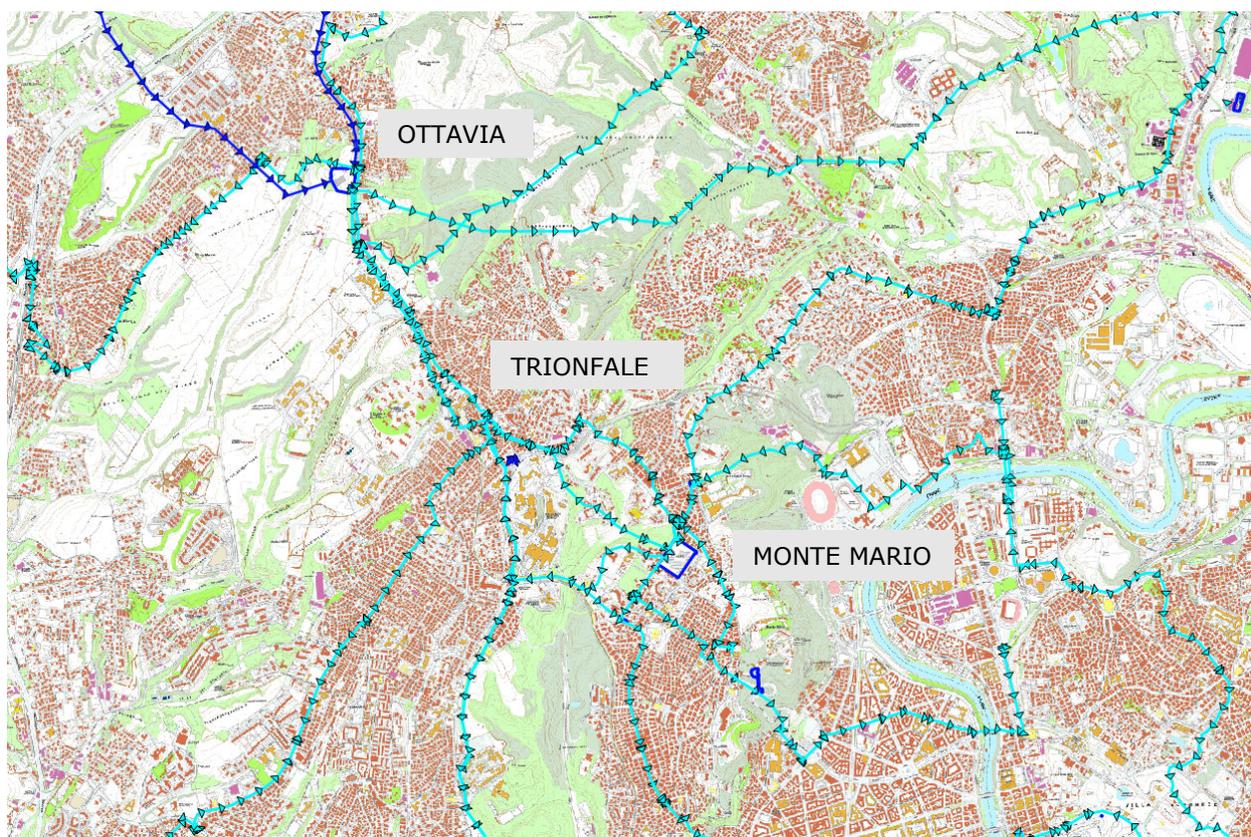


Figura 1 – Corografia territoriale di inquadramento

Le condotte oggi in esercizio su questa tratta sono state realizzate negli anni '50 in CAP o cemento armato tipo Bonna, hanno quindi vita di oltre 60 anni e la tipologia di materiale ne rende complessa e lunga la riparazione in caso di danno.

Occorre pertanto intervenire al fine di garantire un aumento potenziale dell'alimentazione al nodo Aurelio e alle vasche di ripartizione di Trionfale e consentire di far fronte ad eventi critici e di fuori servizio delle adduttrici esistenti. La necessità di potenziare anche l'alimentazione della vasche di ripartizione nodo Trionfale (che alimentano la zona idrica "A" e supporta il C.I. Monte Mario per l'alimentazione delle zone idriche "V", "S2" ed "E") ha determinato l'esigenza di un ulteriore ramo di alimentazione del suddetto centro, a partire da un partitore in pressione da ubicarsi nella zona di Casale del Marmo, dando origine ad un sistema finalizzato al miglioramento dell'affidabilità degli impianti strategici esistenti ed alla realizzazione di alternative per garantire l'approvvigionamento idrico della città.

Per la realizzazione delle opere di progetto e per il loro futuro funzionamento si sono stabilite le portate da garantire nei diversi nodi del sistema, con riferimento ai fabbisogni futuri delle aree oggetto di intervento.

Tali portate sono da riferire principalmente a due condizioni:

- Condizioni di fabbisogno delle aree servite odierne – in condizioni di fuori servizio di uno dei due rami inferiori dell'Acquedotto del Peschiera – portata totale in uscita da Ottavia pari a $6.1 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Condizioni di fabbisogno delle aree servite stimato al 2050 - portata totale in uscita da Ottavia pari a $6.05 \text{ m}^3/\text{s}$ di punta.

Di seguito si riporta la corografia territoriale di inquadramento dell'intervento.

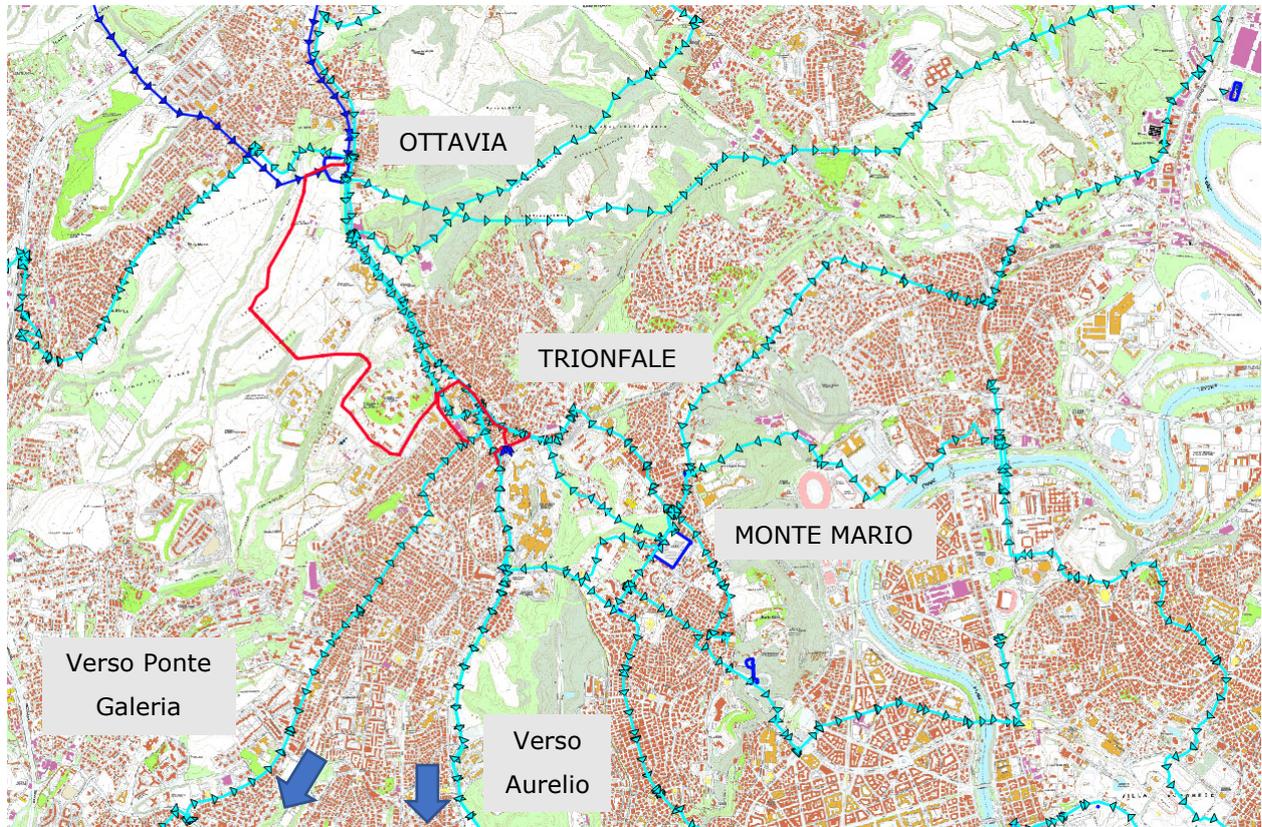


Figura 2 – Corografia territoriale di inquadramento con individuazione dell'intervento

3 Schema generale di Progetto

3.1 Descrizione del sistema futuro

Le opere in progetto si inseriscono nel sistema di adduzione ed alimentazione della zona Ovest di Roma, come rappresentato dalla figura che segue.

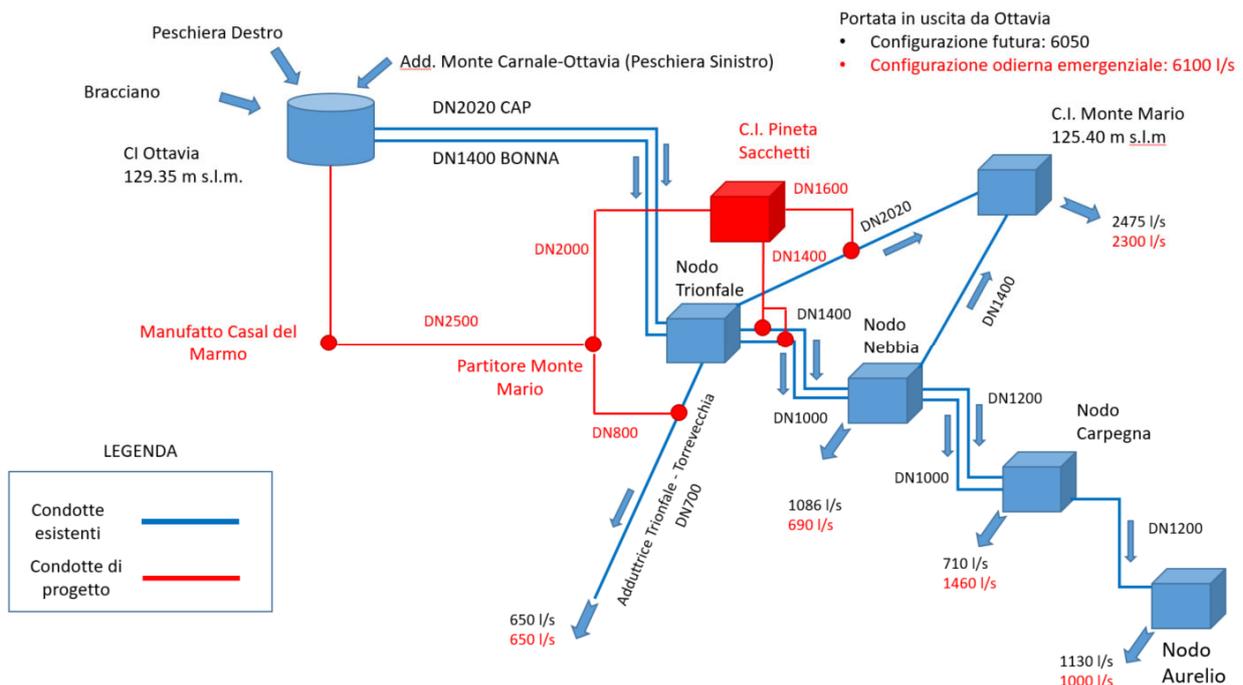


Figura 3 – Schema di Progetto con indicazione delle portate ai nodi del sistema

La configurazione futura del quadrante prevede una nuova linea di collegamento dal C.I. di Ottavia all’area di Trionfale, dove sorgerà un nuovo impianto denominato “Centro Idrico Pineta Sacchetti”.

Tali opere andranno ad affiancare le condotte esistenti che collegano il C.I. di Ottavia alla vasca di ripartizione di Trionfale, nodo che smista le acque verso le seguenti direttrici:

- i centri idrici di Nebbia, Carpegna ed Aurelio, con due condotte di cemento DN1400 e DN1000;
- il centro idrico di Monte Mario, con una condotta in buona DN2020;

- Ponte Galeria e le aree ovest della Città, con una condotta DN700 in acciaio;
- la rete di distribuzione.

Le nuove opere andranno a consentire l'alimentazione di tutte le linee di adduzione sopra elencate tramite un sistema di nuova realizzazione, in modo da duplicare integralmente il sistema.

3.2 Portate di Progetto

Per la realizzazione delle opere di progetto e per il loro futuro funzionamento il gestore del SII, ha stabilito le seguenti portate da garantire nei diversi nodi del sistema, con riferimento ai fabbisogni futuri delle aree oggetto di intervento.

- Portata in partenza dal C.I. di Ottavia in condizioni ordinarie pari a 5300 l/s massimi (4850 l/s medi) ai quali sommare i circa 750 l/s necessari per far fronte all'incremento di domanda previsto per i municipi 1, 11, 12 e 13;
- Portata di 1800 l/s da destinare verso Monte Mario (ai quali sommare circa 225 l/s di incremento di fabbisogno sul municipio 1);
- Portata da destinare all'alimentazione della rete di Trionfale pari a circa 650 l/s;
- Portata da destinare all'alimentazione della rete limitrofa al C.I. Nebbia pari a 690 l/s (ai quali sommare circa 396 l/s di incremento di fabbisogno sui municipi 12 e 13);
- Portata in uscita dal nodo Carpegna verso Monte Verde pari a circa 710 l/s;
- Portata in uscita dal Nodo Aurelio pari a circa 1000 l/s, ai quali sommare circa 130 l/s di aumento di fabbisogno sul municipio 11 e sull'area di Fiumicino;

Le condotte di progetto sono dimensionate per consentire l'alimentazione delle adduttrici che oggi partono dal Nodo Trionfale, anche al verificarsi di una rottura su una delle due condotte esistenti, o in caso di fuori servizio del Nodo Trionfale stesso.

Per il progetto in esame la differenza tra la portata media e la portata di punta in uscita da Ottavia viene assegnata interamente al C.I. Monte Mario, così da massimizzare le perdite di carico verso tale centro idrico, per il quale si ha un requisito sul carico minimo da raggiungere.

A monte delle vasche di compenso del Centro di Monte Mario è infatti presente un manufatto detto "prevasca" o "vasca di misura", costituito da una vasca di calcestruzzo in cui è presente una soglia di sfioro con profilo tipo "bazin", con quota

sommitale pari a 125,40 m s.l.m., che ha lo scopo sia di fissare la piezometrica di arrivo al centro idoneo anche ad effettuare la misura di portata.

Tale manufatto, e quindi lo stramazzo, è interposto tra l'ingresso al centro e le condotte di ingresso alle vasche di compenso. Qualora la quota in partenza da Trionfale si abbassi eccessivamente, a Monte Mario ci si può trovare nelle condizioni di arrivare con un carico minore rispetto alla quota dello stramazzo della prevasca, rendendo necessario il ricorso ai sistemi di by-pass della stessa, e riducendo il livello di riempimento massimo raggiungibile nei serbatoi del centro.

Nell'ambito dello studio degli scenari predisposti dal Gestore del SII, le opere di progetto sono verificate anche per assicurare l'adduzione delle portate odierne anche nel caso di un evento calamitoso tale da rendere indisponibile parte della portata addotta tramite i due rami inferiori dell'acquedotto del Peschiera. Considerando la possibile attivazione di fonti a riserva per la Città di Roma, la condizione più gravosa è rappresentata da uno scenario di fuori servizio del Peschiera Sinistro. In questo caso, il sistema in progetto con il pieno funzionamento a regime delle condotte esistenti e di quelle di nuova realizzazione, dovrà essere in grado di far fronte a un aumento della richiesta verso il C.I. di Monte Mario di 500 l/s rispetto ai 1800 l/s attuali e della richiesta in uscita dal nodo Carpegna di 750 l/s da sommare agli odierni 710 l/s che già vengono adottati dal nodo Carpegna verso il C.I. Monteverde. Tali incrementi portano la portata in uscita dal C.I. di Ottavia a 6100 l/s rispetto 4850 l/s medi odierni.

L'analisi della domanda idrica dei territori serviti dall'adduttrice è uno dei documenti contenuti nel quadro esigenziale di progetto. Si precisa che tale analisi è stata condotta dal soggetto Gestore nell'ambito dell'aggiornamento dei propri Piani per l'efficientamento del sistema idrico integrato dell'ATO2 Lazio Centrale Roma che partendo dall'analisi dei fabbisogni attuali e futuri, tramite lo sviluppo di un modello sui dati demografici e le varie componenti di domanda idrica con la creazione di indici di analisi di sviluppo territoriale.

Tale stima di fabbisogno è stata confrontata con la disponibilità idrica al fine di aggiornare la programmazione degli interventi a medio termine per il soddisfacimento delle richieste idriche.

3.3 Vincoli di progetto

Per la realizzazione delle opere di progetto e per il loro futuro funzionamento il Gestore del SII, ha indicato seguenti vincoli idraulici:

- Livello idrico di partenza presso il C.I. di Ottavia pari al livello di massimo invaso del centro: 129.35 m s.l.m.;

Per quanto riguarda il vincolo di quota al C.I. Pineta Sacchetti:

- Deve essere garantito un carico in partenza nel nuovo Centro che consenta di arrivare al Centro Idrico di Monte Mario con un carico sufficiente ad assicurare lo sfioro sulla soglia della pre-vasca presente all'ingresso ai serbatoi, che ha la cresta posta a quota 125.40 m s.l.m.;
- La quota deve essere tale da non inficiare il corretto funzionamento delle adduttrici in pressione che attualmente escono dal Nodo Trionfale esistente. Ad oggi il livello in tale nodo scende anche al di sotto della quota 125.40 m s.l.m. senza che l'adduzione di valle verso Torrevecchia e verso Nebbia, Carpegna e Aurelio subisca disservizi.

Per il progetto in esame quindi il vincolo idraulico più stringente è costituito dal livello idrico presso il C.I. di Monte Mario, che deve essere tale da consentire lo sfioro sopra un livello di 125.40 m s.l.m..

3.4 Descrizione del funzionamento idraulico

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova linea di adduzione tra il C.I. di Ottavia e l'area di Trionfale. Nel Centro Idrico di Ottavia confluiscono le portate del tronco inferiore del Peschiera Destro, dell'adduttrice Monte Carnale Ottavia, linea che può trasferire le acque dal Peschiera Sinistro al Destro, oltre alle risorse di riserva.

Dal Centro idrico di Ottavia partono le adduttrici che permettono il trasferimento della risorsa idrica verso il nodo Trionfale ed il Serbatoio di Monte Mario.

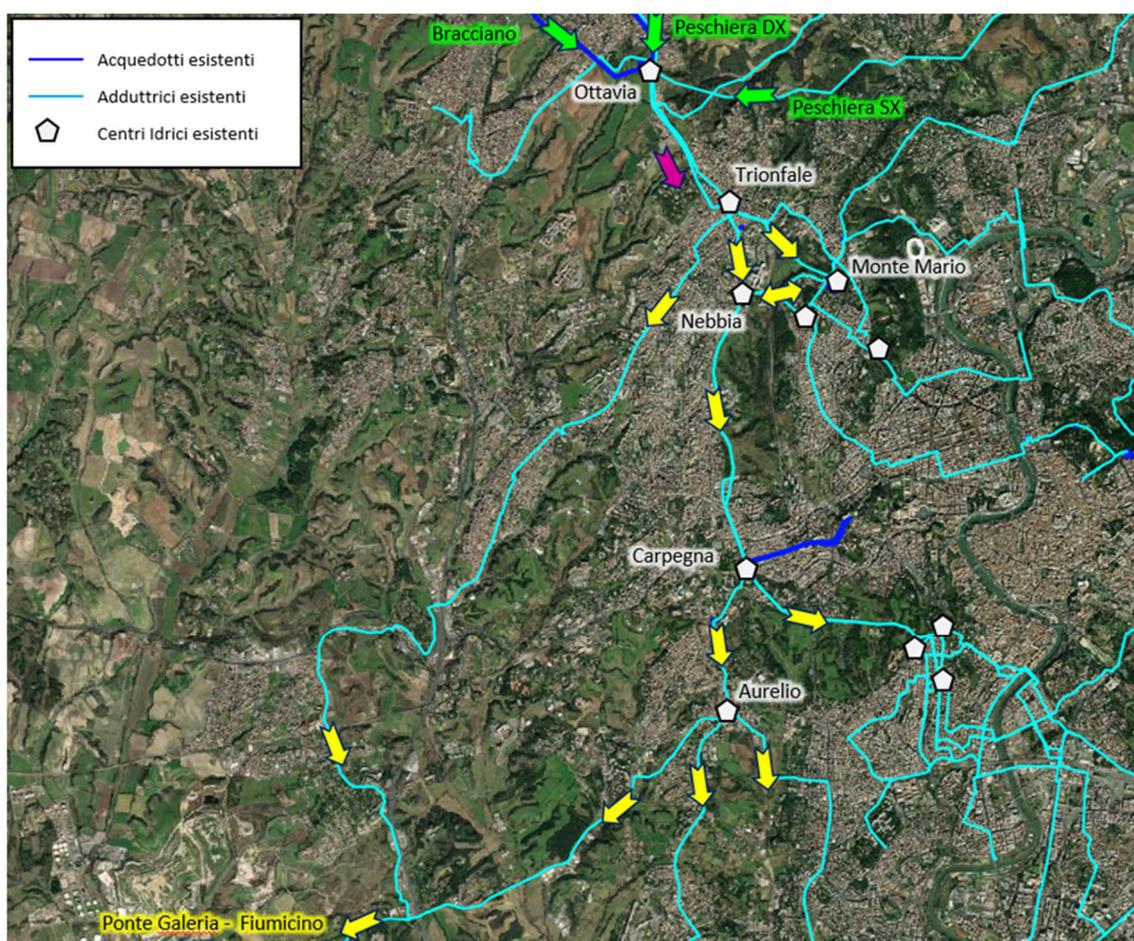


Figura 4 – Planimetria delle Opere esistenti

Le due condotte esistenti sono in esercizio da circa 60 anni e sono realizzate con materiali che ne rendono complessa la manutenzione e che viaggiano affiancate in contesti diventati altamente urbanizzati.

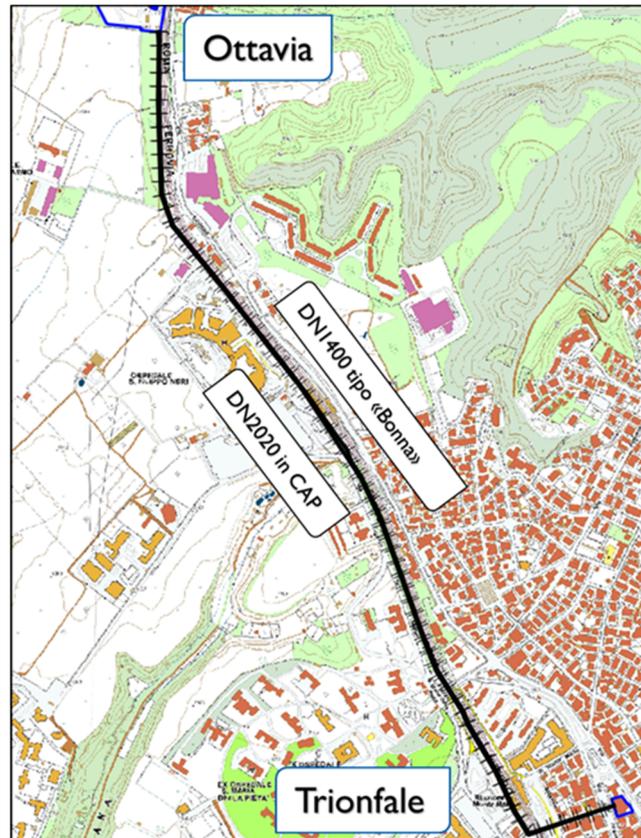


Figura 5 – Planimetria dell’Adduttrice Ottavia – Trionfale esistente

Il sistema esistente è quindi oggi alimentato in parte con le portate provenienti dal Peschiera Destro, in parte con quelle in arrivo dal Peschiera Sinistro, che sono trasferite verso Ottavia con la linea di adduzione Monte Carnale – Cecchina – Ottavia, oltre ad essere all’occorrenza alimentabile anche con le acque provenienti dalle fonti di riserva.

Nel C.I. di Ottavia le acque provenienti da tali sistemi vengono derivate verso una vasca di carico dalla quale poi hanno inizio le due adduttrici dell’Ottavia Trionfale esistente.

La vasca di carico è stata realizzata diverso tempo dopo al Peschiera Destro e alla linea di adduzione dell’Ottavia Trionfale. Il funzionamento originario del Nodo, prevedeva che le acque del Peschiera Destro, alimentassero l’adduttrice Ottavia –

Trionfale direttamente dal punto terminale dalla galleria policentrica a superficie libera dell'acquedotto. Tale modalità di esercizio è ancora oggi possibile. Oltre a questo, nel tempo, sono stati realizzati una serie di condotte che consentono il by-pass della vasca anche alle acque in arrivo dal Peschiera Sinistro.

Nelle condizioni di funzionamento che prevedono il passaggio della risorsa idrica all'interno della vasca di Ottavia, descritto nella figura seguente, nel nodo si verificano perdite di carico idraulico concentrate considerevoli, localizzate principalmente nelle condotte in uscita dalla vasca stessa.

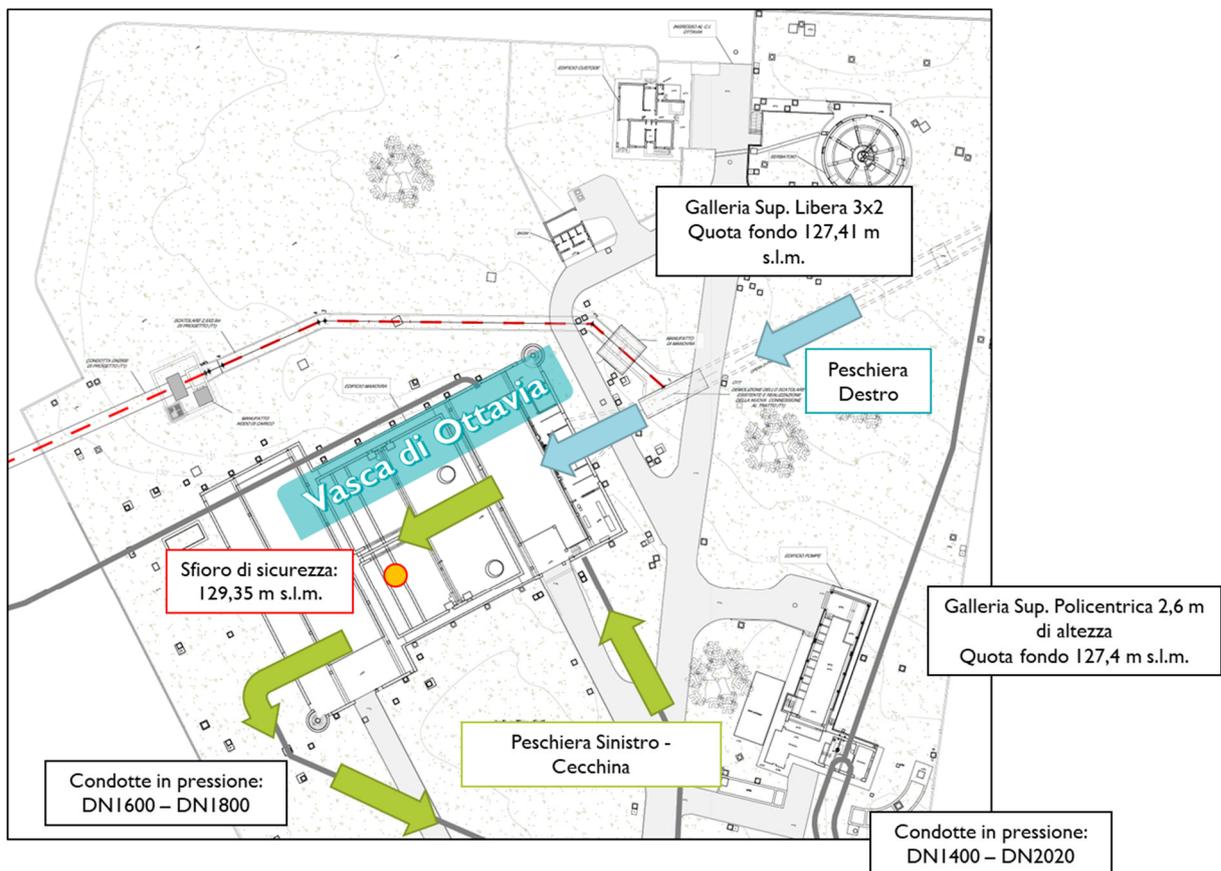


Figura 6 – Schema di funzionamento odierno del Nodo di Ottavia.

Con la realizzazione delle nuove opere si avranno a disposizione due linee per derivare le acque dei sistemi acquedottistici in ingresso ad Ottavia verso le aree da servire.

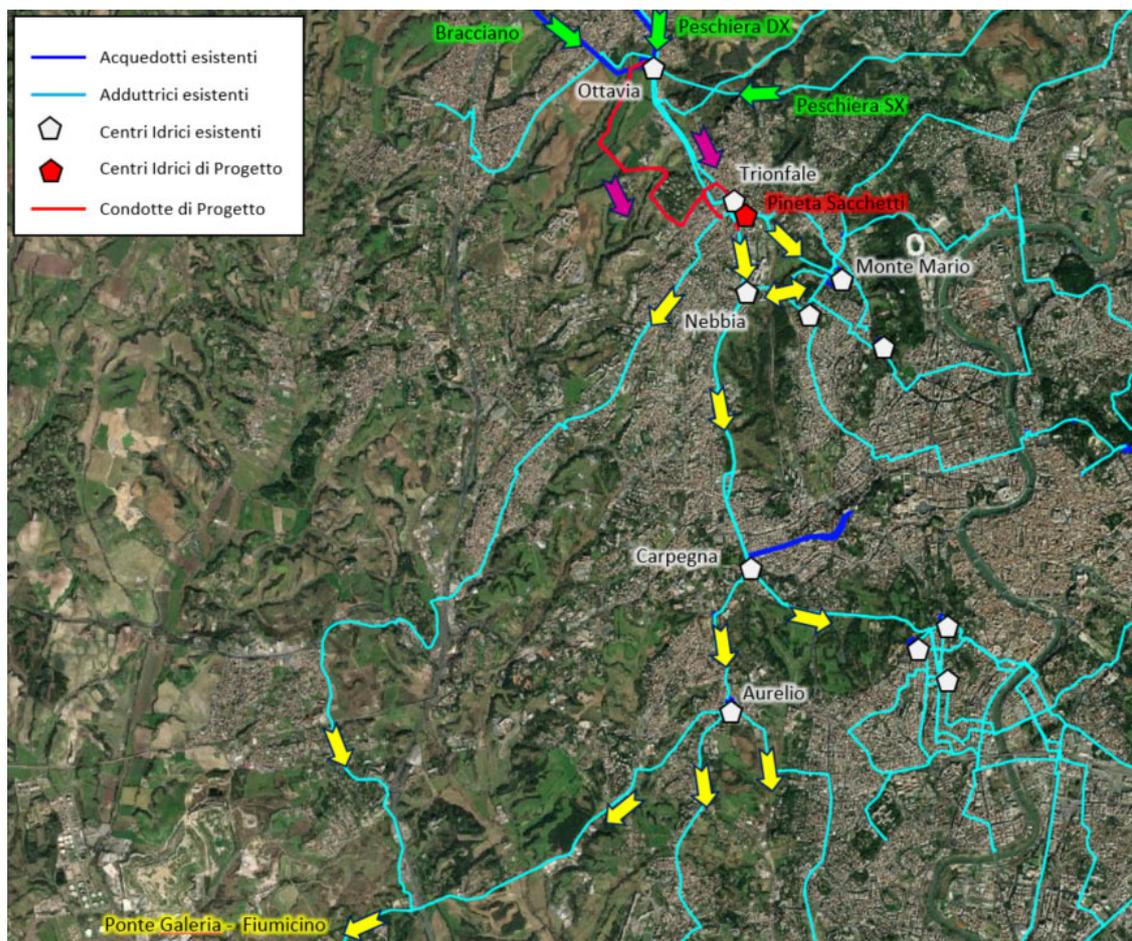


Figura 7 – Planimetria generale delle Opere esistenti e di Progetto

La partenza da Ottavia verrà realizzata sul canale di derivazione dal Peschiera Destro. Nel funzionamento ordinario le acque del Peschiera Destro non verranno addotte verso la vasca di carico, ma si ripartiranno tra il canale di progetto e la galleria policentrica a superficie libera che, in origine, rappresentava il nodo terminale del Peschiera Destro stesso.

Le acque invece in arrivo da Cecchina continueranno a transitare nella vasca per essere derivate verso le condotte esistenti.

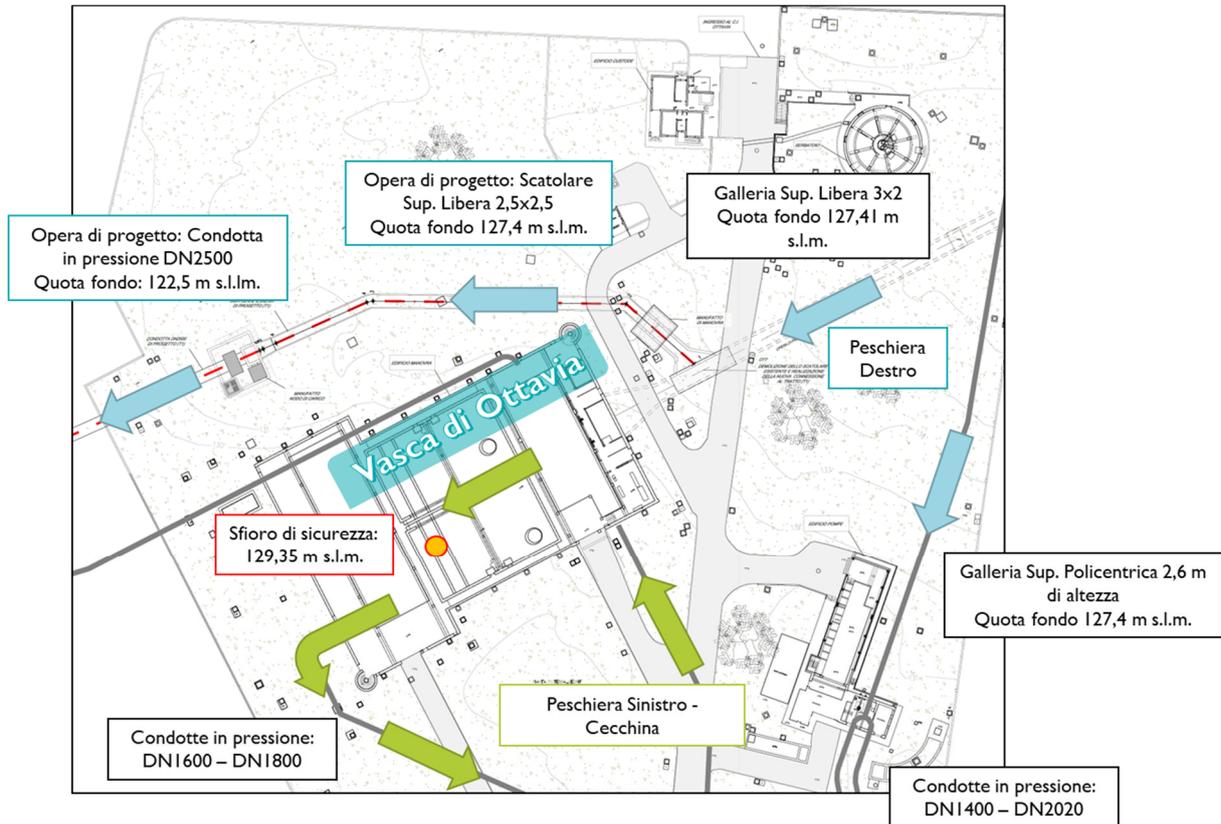


Figura 8 – Schema di funzionamento futuro del Nodo di Ottavia.

Il sistema fornisce in ogni caso diverse alternative di funzionamento. Le acque della Peschiera sinistra potranno infatti essere comunque derivate verso le nuove opere passando attraverso la vasca di carico, percorrendo a ritroso l'ingresso odierno della stessa.

La quota massima disponibile alla partenza ad Ottavia rimane invariata rispetto alla condizione odierna, pari quindi agli sfiori di sicurezza del Centro Idrico, la cui cresta è posta a 129,35 m s.l.m..

AL nodo Trionfale esistente è oggi presente una vasca di disconnessione idraulica a superficie libera con una soglia trasversale al flusso, la cui cresta è posta a circa

127,1 m s.l.m.. Tale vasca può comunque essere by-passata tramite delle condotte in pressione presenti nel centro stesso.

Il nuovo C.I. di Pineta Sacchetti verrà realizzato con uno schema similare. Saranno presenti delle vasche di disconnessione a superficie libera, in cui saranno realizzate dei setti di sfioro ortogonali al flusso, sempre a una quota di 127,1 m s.l.m..

Anche per tale nodo saranno disponibili dei sistemi di by-pass delle vasche.

4 Definizione del funzionamento dei nodi di progetto

Si riporta nel seguente paragrafo una breve descrizione dei manufatti di nuova realizzazione presenti nella prima fase funzionale in esame.

- **Opere di Connessione al C.I. di Ottavia:** le nuove opere partono in fregio alla galleria di derivazione esistente dal Peschiera Destro, che oggi costituisce l'ingresso al C.I. di Ottavia. Il punto di connessione può essere completamente by-passato durante i lavori, dato che le due adduttrici in uscita dal C.I. di Ottavia possono essere alimentate come mostrato nella figura seguente.

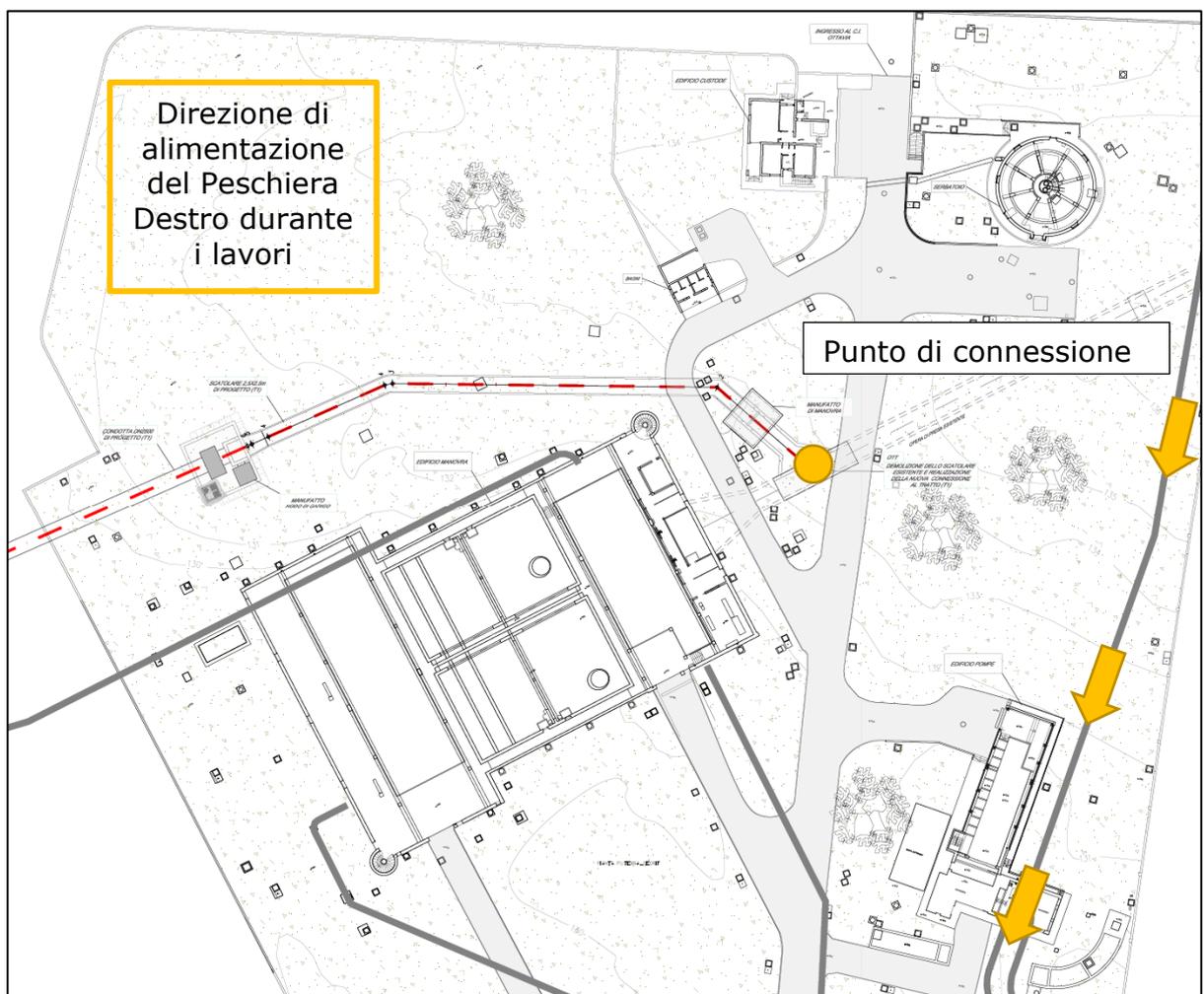


Figura 9 – Individuazione del punto di connessione al C.I. di Ottavia

Dalla galleria esistente parte uno scatolare 2,5x2,5 m, che prosegue interrato costeggiando la vasca esistente. Alla partenza dello scatolare viene realizzato un manufatto fuori terra in cui è presente una paratoia di sezionamento 2,5 x 2,5. Il manufatto ha dimensioni in pianta 6,5 x 7,1 m, altezza fuori terra di 5,25m e profondità al di sotto del piano campagna di 4,65m.

All'altezza delle condotte di uscita dalle vasche viene realizzato un manufatto interrato a valle del quale l'adduttrice in progetto prosegue in pressione con una condotta in acciaio DN2500. In tale sezione è anche presente una valvola a farfalla, sempre con diametro DN2500. Il manufatto ha dimensioni 9,50 x 10,45 m in pianta e una profondità massima di circa 10 m.

All'interno di questo nodo è presente anche una predisposizione DN1200, per futuri allacci con le condotte esistenti del C.I. di Ottavia. La predisposizione viene chiusa poi con una valvola a farfalla DN1200.

L'imbocco dello scatolare 2,5x2,5 di progetto può essere alimentato dalle portate in arrivo dal Peschiera Destro direttamente dal canale di derivazione, e può ricevere anche gli altri contributi che oggi arrivano al C.I. di Ottavia percorrendo in senso contrario l'odierno ingresso alle vasche del Centro stesso.

- **Manufatto Casal del Marmo:** manufatto che costituisce una predisposizione per future alimentazioni. In esso sono presenti i necessari organi di sezionamento per consentire la realizzazione di eventuali futuri allacci senza mettere fuori servizio la linea. Eventuali futuri allacci non si traducono in un aumento della portata in uscita da Ottavia rispetto ai valori considerati nel presente progetto, che già considerano l'aumento demografico delle aree da servire.

Il manufatto è realizzato interamente interrato, con una profondità di circa 6 m dal piano di campagna, fatta eccezione di una soletta di calcestruzzo di 40 cm che sporge dal terreno.

- **Partitore Monte Mario:** opera che costituisce la partenza delle condotte di attraversamento della Ferrovia Roma Viterbo. In esso è presente inoltre la derivazione verso il DN700 su via di Torrevecchia. Il manufatto è interamente interrato per una profondità di circa 7m, e presenta dimensioni in pianta di circa 14 x 10 m. Nel manufatto è presente inoltre una soglia di sfioro per raccogliere eventuali acque provenienti dal tubo fodera DN2500 che sottopassa la ferrovia. Da tale soglia le acque vengono derivate verso una condotta di scarico DN2000 che collega alla fognatura presente nelle vicinanze del manufatto stesso. Nel nodo è presente una predisposizione per un eventuale futuro collegamento con le altre adduttrici esistenti in uscita da Ottavia, che passano vicino al manufatto stesso. Tale predisposizione non si traduce in un aumento della portata in uscita da Ottavia rispetto ai valori considerati nel presente progetto.
- **Pozzi Trionfale (PZ1 – PZ3) di spinta/ arrivo del Microtunnelling:** tali manufatti costituiscono i pozzi necessari alla realizzazione della tratta in Microtunnelling. Sono realizzati interamente interrati, con profondità comprese tra i 13 e i 15 m circa. In essi verrà lasciato un punto di accesso alla condotta chiuso con passo d'uomo.
- **Centro Idrico Pineta Sacchetti:** il nuovo C.I. è composto da una serie di manufatti sia interrati che fuori terra, che andranno a riprodurre le funzioni attualmente esercitate dal Nodo Trionfale esistente. L'ingresso al nuovo Centro Idrico avverrà da Nord Est, da via dell'Acquedotto Paolo, con una condotta DN2000 realizzata in affiancamento alla linea esistente dell'acquedotto Paolo. Il DN2000 giunge in un partitore interrato, a cui sarà possibile accedere tramite un edificio fuori terra, all'interno del quale il DN2000 si divide in due condotte in acciaio di diametro analogo, dotate degli opportuni sezionamenti. In tale primo manufatto è riprodotto anche il sistema di pompaggio per l'alimentazione della rete di trionfale, partenza della tratta T8. Le due linee DN2000 in uscita dal partitore entrano in due manufatti fuori terra speculari, composti da una camera di manovra interrata e una vasca dotata di uno

stramazzo frontale, di dimensioni in pianta di circa 20x18 m. Ciascun manufatto è interrato per circa 7.5 m, mentre per quanto riguarda l'ingombro fuori terra presenta un'altezza massima di circa 15 m. Tale quota viene raggiunta sopra la parte del manufatto occupata dalla vasca a superficie libera, mentre al di sopra della camera di manovra l'altezza fuori terra si riduce a circa 9 m. Nella camera di manovra viene realizzato il sistema di by-pass della vasca, sempre con condotte DN2000 dotate di opportuni sezionamenti. Da ciascun manufatto escono infatti le condotte che alimentano le linee esistenti: il manufatto in sinistra idraulica alimenta il DN1600 che collega all'adduttrice diretta verso Monte Mario, mentre il manufatto in destra idraulica connette verso le due condotte DN1000/DN1400 dirette verso Nebbia e Carpegna. Le due camere di manovra dei due centri speculari sono unite da una linea DN2000. Ciascuno dei due centri è dotato di una vasca rettangolare di dimensioni 10x5 m, con quota di fondo posta a 120.70 m s.l.m., quota dello stramazzo pari a 127.10 m s.l.m. e quota di massimo invaso pari a 130.50 m s.l.m.. La vasca sarà sostanzialmente pensile, dato che la quota del piazzale e degli ingressi è posta a quota 116.85 m s.l.m.. Nel piazzale sono inoltre presenti cabina di trasformazione BT/MT e gruppo elettrogeno a servizio del sollevamento di rete.

- **Pozzo Pineta Sacchetti:** Il pozzo costituisce il manufatto di spinta della prima tratta della tratta T5, presenta forma circolare con diametro interno pari a 9m e profondità di circa 10m.
- **Pozzo Pestalozzi:** il pozzo costituisce il manufatto di arrivo della prima parte della tratta T5, presenta forma circolare con diametro interno pari a 5.5m e profondità di circa 10m.
- **Manufatto Pestalozzi:** il manufatto presenta forma rettangolare circa 10x5m, è interamente interrato con profondità di circa 6m. Al suo interno è presente la condotta DN1400 in arrivo dal C.I. Pineta Sacchetti e le condotte DN1000/ DN1400 per la connessione alle linee esistenti, con gli opportuni sezionamenti.

- **Manufatto di Connessione DN2020:** Il manufatto viene realizzato intorno alla condotta esistente DN2020 esistente, dopo aver isolato con un by-pass provvisorio la linea esistente. La connessione verrà effettuata con un pezzo speciali in acciaio connesso alla linea esistente con opportuni giunti intermateriale.

5 Verifiche Idrauliche

Per la verifica delle nuove opere è stato condotto uno studio che ha compreso le parti principali del sistema esistente insieme ad entrambe le due nuove linee del sistema, l'adduttrice Ottavia Trionfale, oggetto del presente progetto, e l'adduttrice Casal del Marmo Aurelio, che invece viene trattata in un'altra specifica progettazione.

5.1 Modello matematico

Per la verifica del corretto funzionamento idraulico delle nuove condotte di progetto, a seconda dello scenario da simulare, sono stati utilizzati i software "InfoWorks WS Pro", sviluppato dalla Innovyze Usa, maggiormente indicato nella simulazione di reti in pressione caratterizzate dalla presenza di numerosi punti di domanda, e il software di calcolo InfoWorks ICM prodotto da HR Wallingford Ltd, particolarmente efficiente qualora nel sistema siano presenti opere in pressione e a superficie libera.

5.1.1 InfoWorks ICM

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, ϑ [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 (Δx) 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 Δt (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 $f(Q_j, y_j, Y_j)$, relazione che lega la portata Q_j ed il livello y_j al livello del nodo Y_j . 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*.

5.1.2 InfoWorks WS PRO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

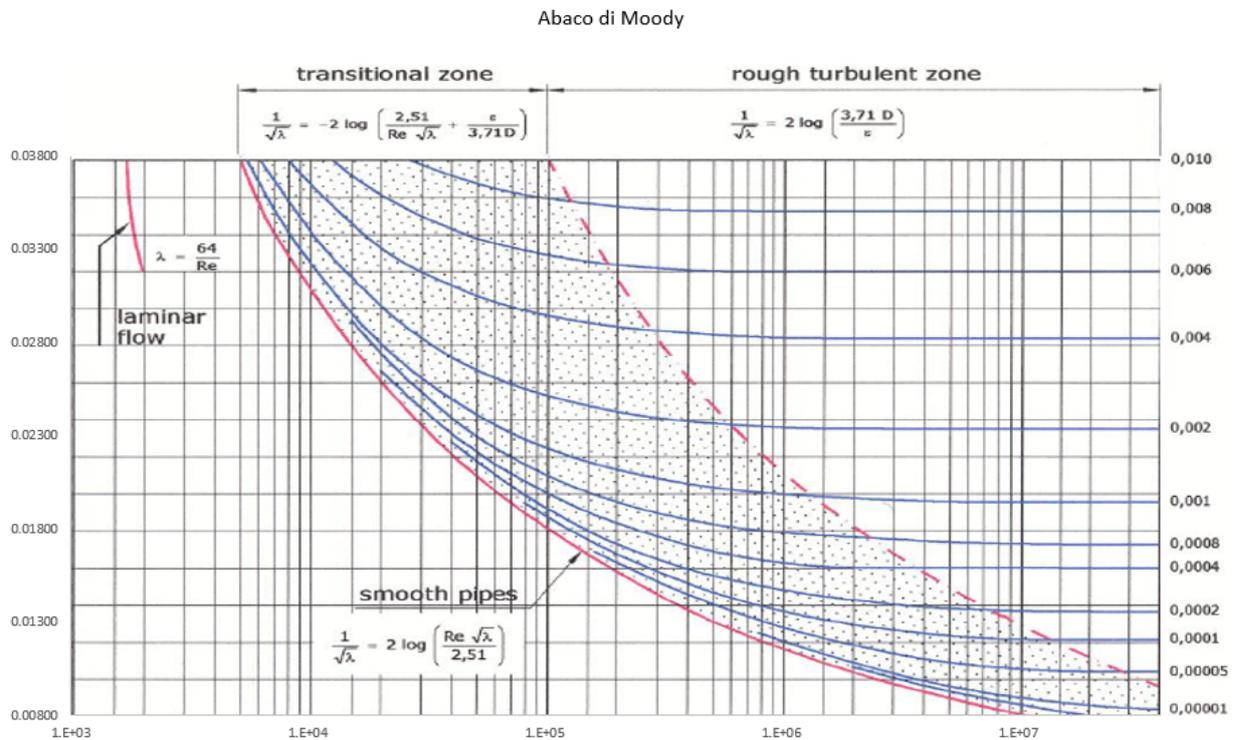


Figura 10 – Abaco di Moody

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

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

D [m]: diametro del tubo

V [m/s]: velocità media della corrente

ρ [kg/m³]: densità del fluido

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

ν [m²/s]: viscosità cinematica del fluido

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

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

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

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

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

5.2 Materiali e Scabrezze delle condotte

Le condotte della linea saranno realizzate in acciaio rivestito internamente in resina epossidica.

Per le simulazioni di verifica è stato adottato per tutte le condotte un valore di ϵ uguale a 0.4 mm. Il valore più cautelativo presente in letteratura per i tubi impiegati nel progetto, in acciaio rivestiti internamente di resina epossidica, è pari a 0.15 mm (fonte "Costruzioni Idrauliche" a cura del Prof. Ing. Leopardi).

Il valore scelto, relativo alla condizione di "tubi usati", corrisponde alla formazione di ruggine all'interno delle condotte, condizione che nelle condotte impiegate può verificarsi prevedibilmente solo localmente. Il valore scelto può pertanto ritenersi cautelativo per il caso in esame.

Per le verifiche nella condizione di "tubi nuovi" è stato utilizzato invece un valore di 0,05 mm, corrispondente al valore minore dell'intervallo indicato per le condotte in acciaio rivestiti internamente di resina epossidica.

Nodo	Portata [l/s]		
	Giorno	Sera	Notte
	ore 11.00	ore 20.00	ore 05.00
Nodo Trionfale (rete)	570	580	415
Nodo Trionfale (Nebbia, Carpegna e Aurelio)	2090	2240	2220
Monte Mario	1595	1430	2125

Tabella 1 Portate ai nodi del Sistema – condizioni di taratura

Le condotte costituenti il sistema sono state realizzate negli anni '50 in CAP o cemento armato tipo Bonna. Il modello è risultato tarato assegnando alle stesse una scabrezza $\varepsilon = 1.0 \text{ mm}$, coerente con i valori di letteratura per tale materiale.

Per quanto riguarda le perdite di carico concentrate, è stato assegnato un coefficiente $K = 0.5$ per gli sbocchi dalle vasche, $K = 1.0$ per gli imbocchi, dei valori variabili compresi tra circa 1 e circa 3 per le confluenze e le derivazioni (in funzione dell'angolo di incrocio, dei rapporti tra i diametri e della ripartizione delle portate), e valori compresi tra 0.2 e 0.5 per le valvole di sezionamento.

La taratura è stata effettuata imponendo nelle condotte il transito delle portate registrate dagli strumenti e verificando che i livelli calcolati nei nodi del sistema riproducessero con buona approssimazione i livelli misurati.

Di seguito sono riportati i risultati delle tarature in termini di carico ai nodi.

Nodo	Giorno - ore 11.00		
	Livello misurato	Livello simulato	Errore
	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]
Ottavia	128.40	128.40	0.00
Nodo Trionfale (ingresso)	126.92	127.00	-0.08
Nodo Trionfale (uscita)	125.84	125.97	-0.13
Monte Mario	125.64	125.75	-0.11

Nodo	Sera - ore 20.00		
	Livello misurato	Livello simulato	Errore
	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]
Ottavia	128.13	128.13	0.00
Nodo Trionfale (ingresso)	126.70	126.73	-0.03
Nodo Trionfale (uscita)	125.72	125.76	-0.04
Monte Mario	125.62	125.59	0.03
Nodo	Notte - ore 05.00		
	Livello misurato	Livello simulato	Errore
	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]
Ottavia	129.20	129.20	0.00
Nodo Trionfale (ingresso)	127.47	127.47	0.00
Nodo Trionfale (uscita)	126.13	126.00	0.13
Monte Mario	125.69	125.61	0.08

Tabella 2 Taratura del modello nelle tre condizioni analizzate

Come si evince dalle tabelle sopra esposte, il modello risulta tarato, con un errore medio di circa 5 cm, assolutamente accettabile per il caso in esame.

5.4 Scenari di Verifica

Per l'infrastruttura di progetto sono stati indicate le seguenti condizioni limite di funzionamento, ciascuna dei quali prevede la definizione di alcune ipotesi circa le condotte funzionanti e le portate richieste ai nodi:

1. Scenario 1: Condizioni di funzionamento della sola nuova condotta:
 - Domanda ai nodi del sistema relativa alle condizioni future - portata in uscita da Ottavia pari a $6,05 \text{ m}^3/\text{s}$;
2. Scenario 2: Condizioni di funzionamento della nuova linea in parallelo alle condotte esistenti:
 - Domanda ai nodi del sistema relativa alle condizioni odierne emergenziali – portata in uscita da Ottavia pari a $6,1 \text{ m}^3/\text{s}$;

Il primo scenario di funzionamento considera l'esigenza di dover addurre la portata richiesta in futuro dalle aree servite anche in caso di un fuori servizio in una parte del sistema esistente. L'elemento la cui perdita si traduce nella maggior riduzione della capacità di trasporto è il Nodo Trionfale esistente. Infatti, nelle condizioni odierne dell'infrastruttura, un fuori servizio dell'intero nodo Trionfale si traduce nell'impossibilità utilizzo di entrambe le condotte esistenti tra il C.I. di Ottavia e il nodo Trionfale stesso. In questa condizione occorre quindi addurre l'intera portata di dimensionamento con l'infrastruttura di progetto.

L'eventuale necessità di addurre l'intera portata con la sola nuova condotta impone l'utilizzo dei by-pass al C.I. di Pineta Sacchetti, in modo tale da poter consentire in tale nodo un abbassamento del livello piezometrico al di sotto della quota della soglia di progetto, la cui cresta è posta a 127,1 m s.l.m..

La seconda ipotesi di funzionamento invece considera l'eventualità che, nel breve periodo, possa verificarsi una condizione di criticità nei due rami inferiori dell'Acquedotto del Peschiera. Le domande ai nodi del sistema non tengono conto quindi dell'aumento di fabbisogno delle aree servite dovuto all'aumento demografico,

ma solo delle portate necessarie a compensare il deficit nelle condizioni di fabbisogno odierne.

Le verifiche sopra illustrate sono state svolte nella condizione di tubi usati, essendo questa la condizione di funzionamento che determina le maggiori perdite di carico e di conseguenza i carichi minimi ai nodi principali del sistema. Queste sono poi state ripetute anche nelle condizioni a tubi nuovi.

La verifica a tubi nuovi condotta per determinare le massime altezze piezometriche ai nodi viene nel presente lavoro omessa in quanto tutti i nodi sono verificati per la massima pressione idrostatica registrabile sul sistema, corrispondente alla situazione di sfioro di sicurezza del nodo di partenza, vale a dire il C.I. di Ottavia, la cui cresta è posta a 129.35 m s.l.m.. Cautelativamente si assume su tutto il sistema un carico massimo di 130.50 m s.l.m..

È stata invece condotta una ulteriore verifica a tubi nuovi tesa a scongiurare la presenza di nodi o di tratte di condotta in cui la pressione arrivi al di sotto della quota sommitale della condotta stessa.

A tal fine si è verificato che, in una condizione di basse portate (portata in uscita da Ottavia pari a 4850 l/s), nelle condizioni di arrivo al C.I. di Monte Mario a una quota appena sufficiente allo sfioro sopra la soglia presente nella prevasca in ingresso (125,40 m s.l.m.), le condotte in partenza da Ottavia non vedessero il livello piezometrico scendere al di sotto della quota sommitale della condotta.

Le verifiche relative allo scenario 1 sono state condotte con il Software InfoWorks ICM, dato che è stato necessario simulare il comportamento delle soglie di sfioro del sistema.

Per le altre, il cui le soglie risultano by-passate, si è fatto ricorso al software InfoWorks WS PRO.

5.5 Risultati

Di seguito sono riportati i risultati delle simulazioni condotte sugli scenari di funzionamento ipotizzati.

Per ciascuno scenario sono riportati i valori di portata, velocità, perdite di carico per unità di lunghezza e i carichi di monte e di valle delle principali componenti del sistema.

I risultati vengono riportati in forma tabellare e in forma di profilo schematico. Il profilo lungo il quale vengono riportate le piezometriche è indicato nello schema seguente:

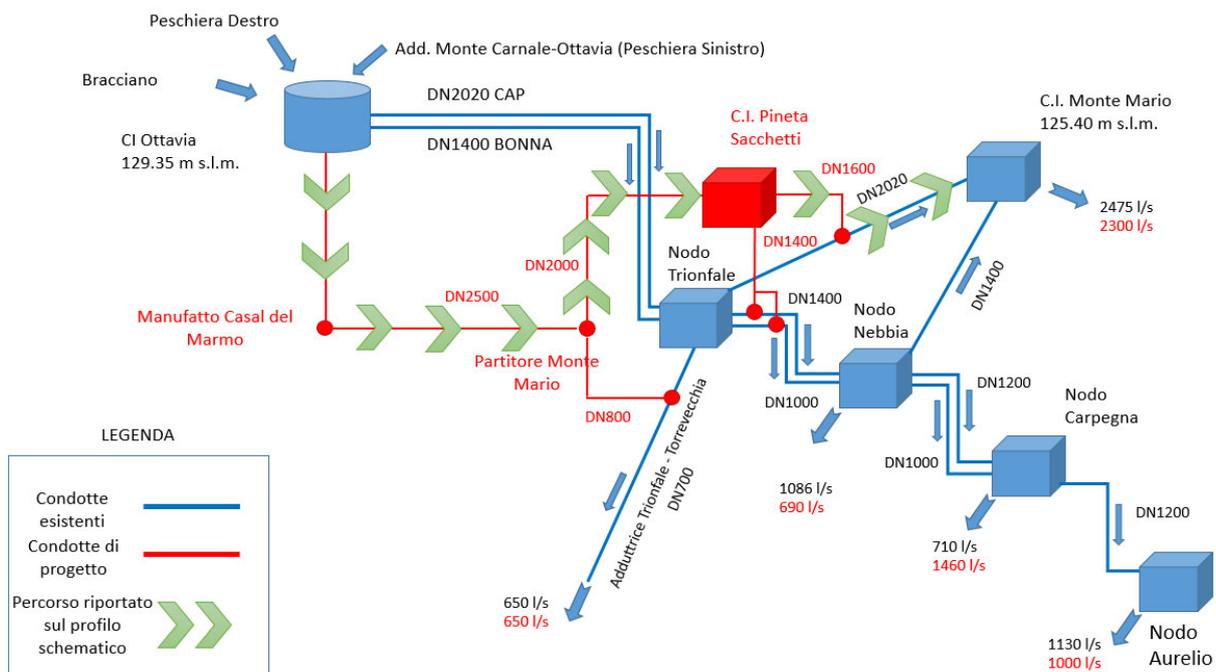


Figura 12 – Indicazione schematica del percorso idraulico riportato nei profili semplificati

5.5.1 Scenario 1 – Condizioni di funzionamento della sola nuova condotta

Tale condizione è stata verificata con il software InfoWorks WS PRO. Di seguito sono riportati i risultati per la condizione a tubi nuovi e a tubi usati.

Scenario 1 – Condizioni di funzionamento della sola nuova condotta - tubi usati									
Tratta	Diametro	Lunghezza	materiale	Scabrezza	Portata	Velocità	Perdite di Carico	Carico di Monte	Carico di Valle
	[mm]	[m]	[-]	[mm]	[l/s]	[m/s]	[m/km]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Ottavia - Casal del Marmo	2500	1489	Acciaio	0.4	6051	1.23	0.66	129.35	128.37
Casal del Marmo - Partitore Monte Mario	2500	2651	Acciaio	0.4	6051	1.23	0.42	128.37	127.25
Partitore Monte Mario - Pineta Sacchetti	2000	821	Acciaio	0.4	5451	1.74	1.08	127.25	126.36
Partitore Monte Mario - Torrevecchia	800	448	Acciaio	0.4	600	1.19	1.56	127.25	126.55
Pineta Sacchetti - Coll. DN2020	1600	163	Acciaio	0.4	2475	1.23	0.74	126.32	126.20
Pineta Sacchetti - Coll. DN1400/ DN1000	1400	132	Acciaio	0.4	2926	1.90	2.27	126.30	126.00
Ottavia - Trionfale 1/2	1400	2210	CAP	1.0	-	-	-	-	-
Ottavia - Trionfale 2/2	2020	2203	Bonna	1.0	-	-	-	-	-
Trionfale - Coll. DN2020	2020	399	Bonna	1.0	-	-	-	-	-
Coll. DN2020 - Monte Mario	2020	1364	Bonna	1.0	2475	0.77	0.37	126.20	125.70
Trionfale - Coll. DN1400	1400	440	Bonna	1.0	-	-	-	-	-
Trionfale - Coll. DN1000	1000	436	Bonna	1.0	-	-	-	-	-

Scenario 1 – Condizioni di funzionamento della sola nuova condotta - tubi nuovi									
Tratta	Diametro	Lunghezza	materiale	Scabrezza	Portata	Velocità	Perdite di Carico	Carico di Monte	Carico di Valle
	[mm]	[m]	[-]	[mm]	[l/s]	[m/s]	[m/km]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Ottavia - Casal del Marmo	2500	1489	Acciaio	0.05	6051	1.23	0.57	129.16	128.31
Casal del Marmo - Partitore Monte Mario	2500	2651	Acciaio	0.05	6051	1.23	0.33	128.31	127.43
Partitore Monte Mario - Pineta Sacchetti	2000	821	Acciaio	0.05	5451	1.74	0.82	127.43	126.76
Partitore Monte Mario - Torrevecchia	800	448	Acciaio	0.05	600	1.19	1.16	127.43	126.91
Pineta Sacchetti - Coll. DN2020	1600	163	Acciaio	0.05	2475	1.23	0.55	126.72	126.63
Pineta Sacchetti - Coll. DN1400/ DN1000	1400	132	Acciaio	0.05	2926	1.90	1.66	126.70	126.48
Ottavia - Trionfale 1/2	1400	2210	CAP	1.0	-	-	-	-	-
Ottavia - Trionfale 2/2	2020	2203	Bonna	1.0	-	-	-	-	-
Trionfale - Coll. DN2020	2020	399	Bonna	1.0	-	-	-	-	-
Coll. DN2020 - Monte Mario	2020	1364	Bonna	1.0	2475	0.77	0.24	126.48	126.15
Trionfale - Coll. DN1400	1400	440	Bonna	1.0	-	-	-	-	-
Trionfale - Coll. DN1000	1000	436	Bonna	1.0	-	-	-	-	-

Figura 13 – Scenario 1: risultati a tubi usati e a tubi nuovi

In entrambi i casi, sia a tubi nuovi che a tubi usati, viene by-passata la soglia al C.I. di Pineta Sacchetti. Il livello in ingresso al centro è infatti inferiore alla quota dello sfioro, pari a 127,10 m s.l.m..

Dall’analisi delle tabelle si può notare come la quota a Pineta Sacchetti si mantiene però al di sopra del minimo livello odierno del nodo Trionfale. Si possono quindi scongiurare abbassamenti di pressione tali da inficiare il funzionamento del sistema di valle.

Nella condizione a tubi nuovi inoltre il livello a Monte Mario riesce ad arrivare fino a 126,15 m s.l.m., quota dello sfioro di sicurezza del Centro. Tale condizione si traduce nel raggiungimento del massimo grado di riempimento del centro.

Nel caso a tubi usati invece la quota di ingresso a Monte Mario, in caso di adduzione della portata massima, si abbassa fino a 125.70 m s.l.m., condizione comunque sufficiente ad alimentare il nodo passando dalla prevasca. Gradi di riempimento superiori possono comunque essere eventualmente raggiunti riducendo gradualmente la portata una volta che il livello nei serbatoi di Monte Mario ha superato la quota dello stramazzo della prevasca.

Di seguito sono riportati gli andamenti schematici delle piezometriche da Ottavia al Nuovo Centro Idrico di Pineta Sacchetti.

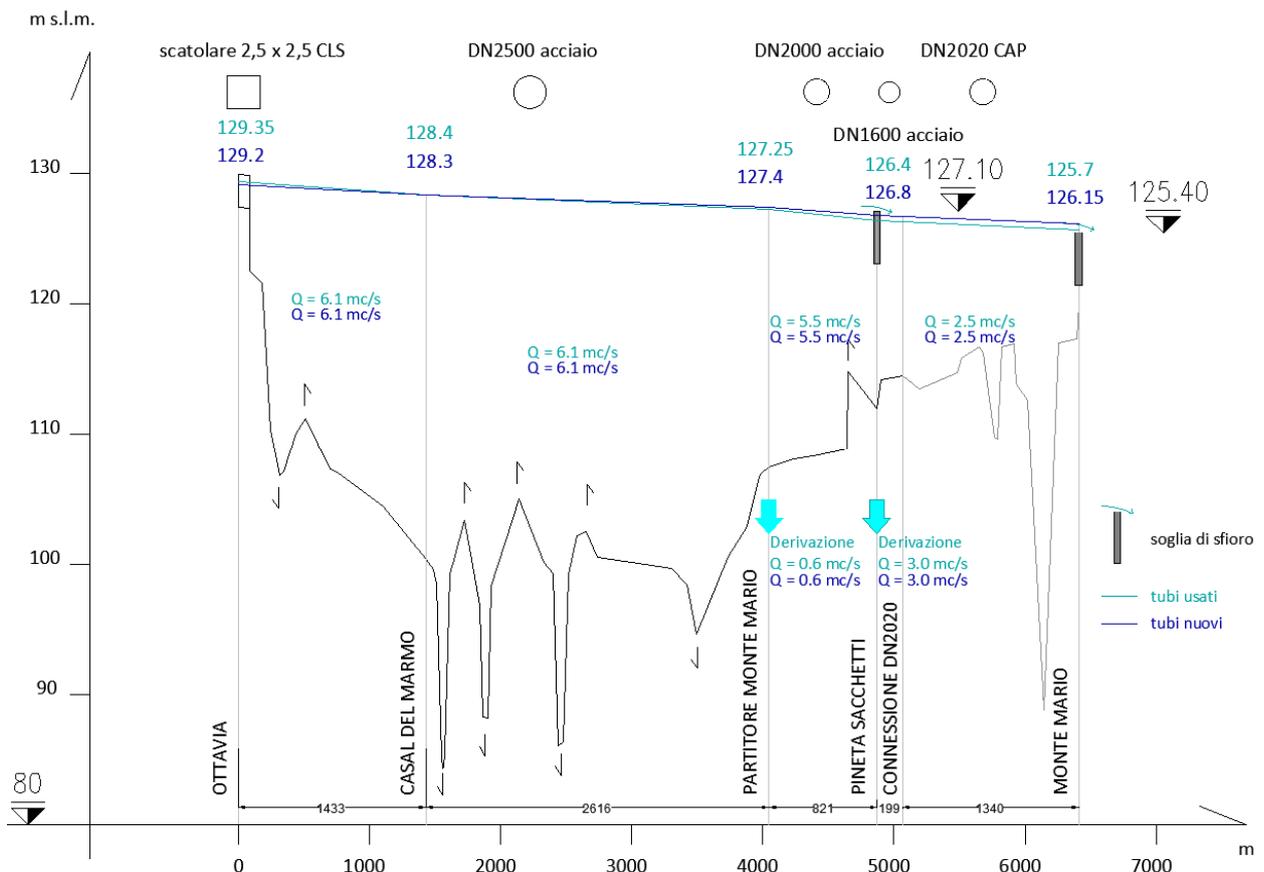


Figura 14 – Andamento schematico delle piezometriche – Scenario 1

5.5.2 Scenario 2 – Condizioni di funzionamento della nuova linea in parallelo alle condotte esistenti

Tale condizione è stata verificata con il software InfoWorks ICM, che meglio consente di tenere in conto dell'effetto delle soglie di sfioro presenti sul sistema. Di seguito sono riportati i risultati per la condizione a tubi nuovi e a tubi usati.

Scenario 2 - Condizioni di funzionamento della nuova linea in parallelo alle condotte esistenti - tubi usati									
Tratta	Diametro	Lunghezza	materiale	Scabrezza	Portata	Velocità	Perdite di Carico	Carico di Monte	Carico di Valle
	[mm]	[m]	[-]	[mm]	[l/s]	[m/s]	[m/km]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Ottavia - Casal del Marmo	2500	1489	Acciaio	0.4	3200	0.65	0.36	128.43	127.9
Casal del Marmo - Partitore Monte Mario	2500	2651	Acciaio	0.4	3200	0.65	0.12	127.9	127.58
Partitore Monte Mario - Pineta Sacchetti	2000	821	Acciaio	0.4	2500	0.79	0.22	127.58	127.4
Partitore Monte Mario - Torrevecchia	800	448	Acciaio	0.4	700	1.40	2.28	127.58	126.56
Pineta Sacchetti - Coll. DN2020	1600	163	Acciaio	0.4	700	0.35	0.06	126.46	126.45
Pineta Sacchetti - Coll. DN1400/ DN1000	1400	132	Acciaio	0.4	1800	0.87	0.76	126.46	126.36
Ottavia - Trionfale 1/2	1400	2210	CAP	1.0	1000	0.63	0.30	128	127.34
Ottavia - Trionfale 2/2	2020	2203	Bonna	1.0	1900	0.6	0.30	128	127.34
Trionfale - Coll. DN2020	2020	399	Bonna	1.0	1600	0.52	0.13	126.5	126.45
Coll. DN2020 - Monte Mario	2020	1364	Bonna	1.0	2300	0.73	0.22	126.45	126.15
Trionfale - Coll. DN1400	1400	440	Bonna	1.0	900	0.6	0.23	126.5	126.4
Trionfale - Coll. DN1000	1000	436	Bonna	1.0	500	0.6	0.23	126.5	126.4

Scenario 2 - Condizioni di funzionamento della nuova linea in parallelo alle condotte esistenti - tubi nuovi									
Tratta	Diametro	Lunghezza	materiale	Scabrezza	Portata	Velocità	Perdite di Carico	Carico di Monte	Carico di Valle
	[mm]	[m]	[-]	[mm]	[l/s]	[m/s]	[m/km]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Ottavia - Casal del Marmo	2500	1489	Acciaio	0.05	3400	0.69	0.38	128.43	127.86
Casal del Marmo - Partitore Monte Mario	2500	2651	Acciaio	0.05	3400	0.69	0.11	127.86	127.56
Partitore Monte Mario - Pineta Sacchetti	2000	821	Acciaio	0.05	2600	0.82	0.19	127.56	127.4
Partitore Monte Mario - Torrevecchia	800	448	Acciaio	0.05	800	1.60	2.01	127.56	126.66
Pineta Sacchetti - Coll. DN2020	1600	163	Acciaio	0.05	700	0.36	0.06	126.46	126.45
Pineta Sacchetti - Coll. DN1400/ DN1000	1400	132	Acciaio	0.05	1900	0.91	0.45	126.46	126.4
Ottavia - Trionfale 1/2	1400	2210	CAP	1.0	900	0.59	0.29	127.98	127.33
Ottavia - Trionfale 2/2	2020	2203	Bonna	1.0	1800	0.56	0.30	127.98	127.33
Trionfale - Coll. DN2020	2020	399	Bonna	1.0	1600	0.51	0.13	126.5	126.45
Coll. DN2020 - Monte Mario	2020	1364	Bonna	1.0	2300	0.73	0.22	126.45	126.15
Trionfale - Coll. DN1400	1400	440	Bonna	1.0	900	0.57	0.23	126.5	126.4
Trionfale - Coll. DN1000	1000	436	Bonna	1.0	400	0.57	0.23	126.5	126.4

Figura 15 – Scenario 2: risultati a tubi usati e a tubi nuovi

In entrambe le condizioni di verifica il livello a Monte Mario riesce ad arrivare fino a 126,15 m s.l.m., quota dello sfioro di sicurezza del Centro. Tale condizione si traduce nel raggiungimento del massimo grado di riempimento del centro.

Le piezometriche nelle condizioni a tubi nuovi e a tubi usati sono praticamente coincidenti. Quello che cambia è la diversa ripartizione delle portate tra le condotte esistenti e quelle di progetto.

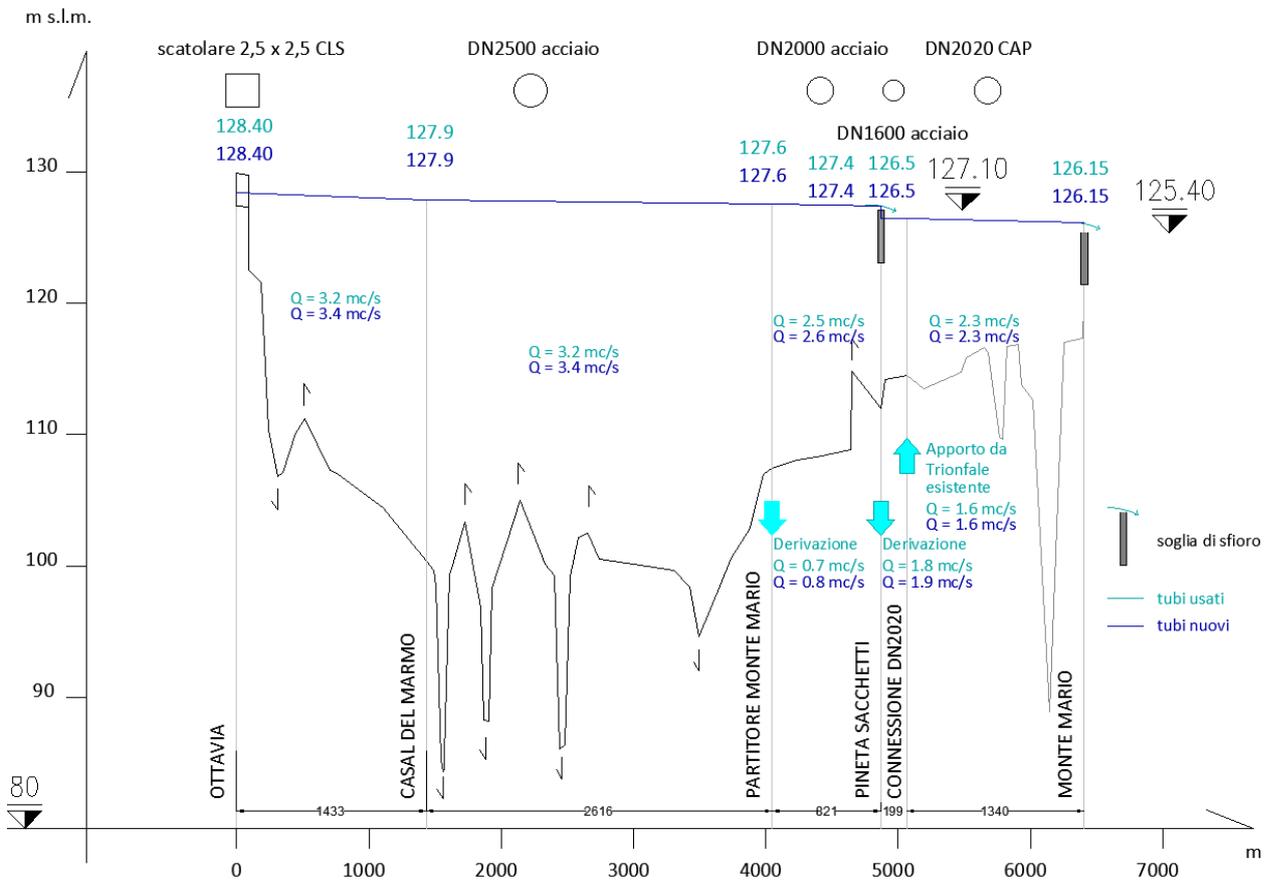


Figura 16 – Andamento schematico delle piezometriche – Scenario 2

5.5.3 Scenario di funzionamento con le portate minime

Relativamente alla verifica nella condizione a portate minime invece, ci si è voluti assicurare che la partenza delle condotte da Ottavia, che costituisce il punto più alto di tutta l'adduttrice in progetto, non subisse abbassamenti di livello idrico al di sotto della quota sommitale della condotta, causando una perdita di pressione della stessa con conseguente ingresso di aria.

La condizione più gravosa in questo caso prevede che siano by-passate le soglie di Pineta Sacchetti. In questo modo il livello di valle del sistema è più basso rispetto alle condizioni di regolare funzionamento del C.I. di Pineta Sacchetti, e viene mantenuto fisso a Monte Mario dalla soglia della Prevasca.

Essendo by-passate le soglie la verifica è stata condotta con il software InfoWorks WS PRO.

Di seguito si riporta l'andamento schematico delle piezometriche nella condizione di tubi nuovi, con tutte le condotte in esercizio, sia esistenti che di progetto, e con una portata pari a 4850 l/s in uscita da Ottavia.

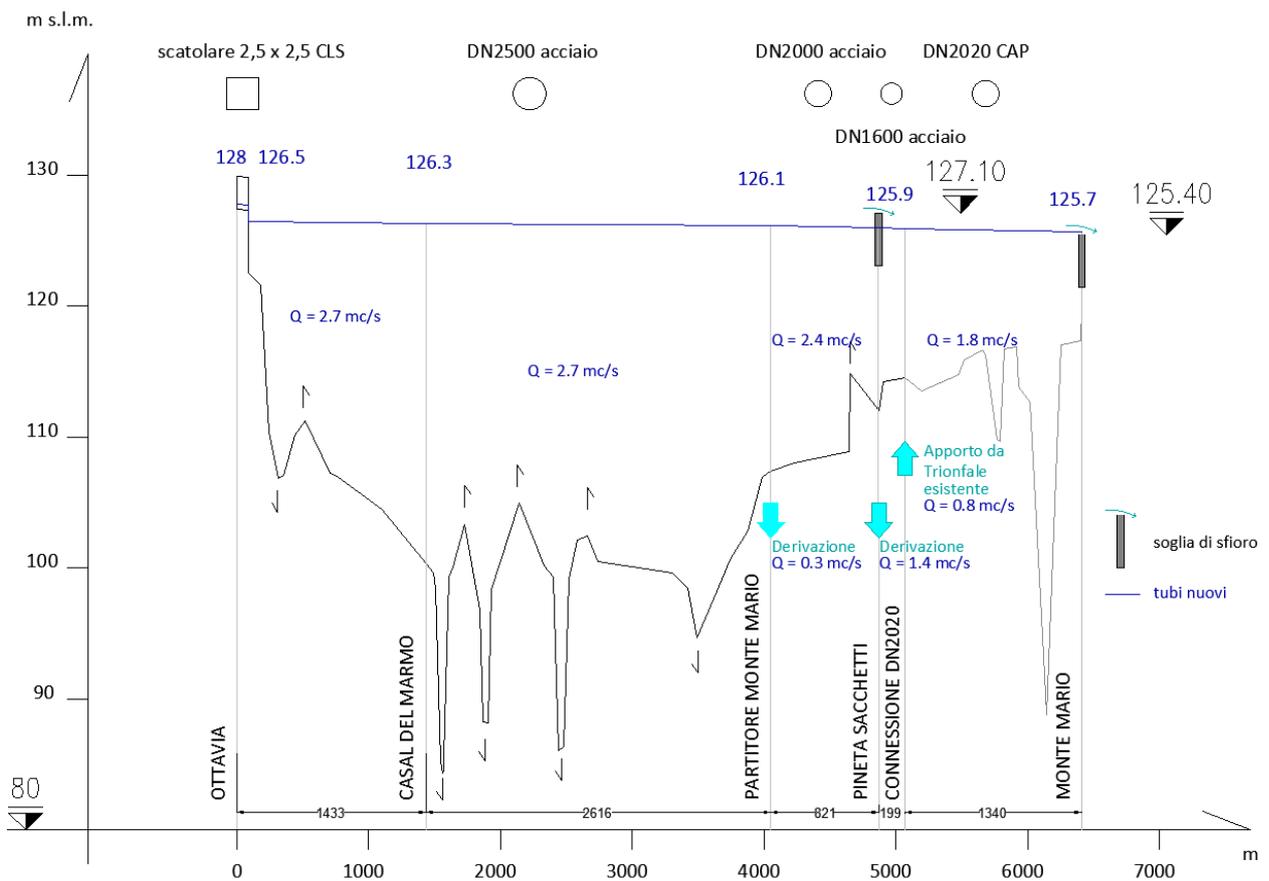


Figura 17 – Andamento schematico delle piezometriche – Basse portate a tubi nuovi

In queste condizioni la piezometrica di partenza risulta essere pari a circa 126,5 m s.l.m., che si traduce in un battente di circa 1,5 m sopra la condotta di partenza, valore che assicura rispetto a ingressi di aria nella stessa.

5.6 Verifiche del sollevamento e di Moto Vario Elastico

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

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

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

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

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

D [m]: diametro della tubazione

S [m]: spessore della tubazione

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

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

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

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

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

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

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

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

g [m/s²]: 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 Idrostatica	Pressione [daN/cm^2]			
	6	6÷10	10÷20	20÷30
Sovrappressione massima ammissibile	3	3÷4	4÷5	5÷6

Nel caso degli impianti di sollevamento, Il *tempo di manovra* T_c è definito come il tempo necessario al completamento della manovra di arresto della pompa, ed è funzione principalmente dell'inerzia della girante. Può essere valutato utilizzando la teoria semplificata di Mendiluce, secondo la quale il tempo durante cui la pompa continua ad erogare portata dopo il distacco della potenza motrice è esprimibile con:

$$T_c = C + K \frac{U_0 L}{g H_m}$$

con T_c [s]: tempo di manovra

C, K [s]: costanti dedotte dalle tabelle in funzione rispettivamente di H_m/L e L

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

L [m]: lunghezza della condotta

g [m/s^2]: accelerazione di gravità

H_m [m]: prevalenza della pompa a regime

I valori dei coefficienti possono essere valutati mediante l'ausilio delle tabelle seguenti.

H_m/L	0 – 0,2	0,21 – 0,28	0,29 – 0,32	0,33 – 0,37	0,38 – 0,40
C	1	0,75	0,5	0,25	0

L	$\leq 2000\ m$	$> 2000\ m$
K	$2 - 0,0005L$	1

Di seguito sono riportate le verifiche idrauliche relative all’impianto di sollevamento da realizzare nel nuovo Centro Idrico di Pineta Sacchetti, costituito da 2 pompe più una lasciata come riserva.

Tale sollevamento serve ad alimentare la rete delle aree limitrofe analogamente al compito attualmente svolto dall’impianto di sollevamento presente nell’esistente nodo Trionfale. La nuova opera verrà quindi dimensionata per portate e pressioni analoghe a quelle esistenti.

La portata di progetto è quindi 60 l/s per una prevalenza geodetica di circa 33 m. Infatti il carico a monte delle pompe è circa 127 m s.l.m., mentre per il carico di arrivo occorre far riferimento ai 160 m s.l.m. da assicurare alla zona servita.

Di seguito sono riportati i risultati dei dimensionamenti svolti.

Lunghezza condotta	L = 350 m
Diametro nominale condotta	DN 300 mm
Materiale condotta	ghisa sferoidale
Portata da sollevare	Q = 60 l/s
Quota vasca di carico pompe	Zm = 127 m s.l.m.
Quota vasca di arrivo pompe	Zv = 160 m s.l.m.
Altezza geodetica	Hg = 33 m
Scabrezza Gauckler – Strickler (tubi nuovi)	Ks 95 $m^{1/3}/s$
Altezza manometrica	Hm = 34.1 m
Potenza effettiva	Pe = 26.76 kW

modulo di comprimibilità dell'acqua	$\epsilon = 2.03E+09 \text{ N/m}^2$
densità acqua	$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
modulo di elasticità del materiale	$E = 1.70E+11 \text{ N/m}^2$
spessore condotta	$s = 0.009 \text{ m}$
celerità di propagazione onde	$a = 1205.004 \text{ m/s}$
durata di fase	$T = 0.58 \text{ s}$
durata della manovra	$T_c = 2.62 \text{ s}$
tipo di manovra	lenta
sovrappressione	$\Delta H = 23.1 \text{ m}$

Tabella 3 Verifica idraulica dell'impianto di sollevamento di Pineta Sacchetti

Per pressioni idrostatiche comprese tra 0 e 6 atm, intervallo in cui ricade l'impianto di sollevamento in progetto, la sovrappressione massima è di 3 atm (equivalenti a circa 30 m), superiore a quella sopra determinata. Non è quindi necessario prevedere per tale impianto degli organi di attenuazione del colpo d'ariete.

Sulle condotte di progetto sono presenti inoltre diverse 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.

Per valvole a farfalla di dimensioni considerevoli (a partire orientativamente da DN1200) si può assumere come numero di giri del volantino per portarla da posizione completamente aperta a completamente chiusa e viceversa un valore di 360 secondi.

Per le valvole a farfalla di tali dimensioni 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 si riportano i valori di sovrappressione massima ottenuti per le valvole giudicate dimensionanti sulla linea adduttrice in progetto, vale a dire la valvola DN2500 al manufatto di Casal del Marmo e la valvola DN2000 in ingresso al C.I. di Pineta Sacchetti.

modulo di comprimibilità dell'acqua	$\epsilon =$	2.03E+09	N/m ²
densità acqua	$\rho =$	998	kg/m ³
modulo di elasticità del materiale (acciaio)	$E =$	2,1E+11	N/m ²
Diametro condotta	$D =$	2,5	m
Portata	$Q =$	6,1	m ³ /s
Velocità iniziale	$U_0 =$	1,24	m/s
spessore condotta	$s =$	0,02	m
celerità di propagazione onde	$a =$	959,73	m/s
Lunghezza tratta	$L =$	1489	m
durata di fase	$T =$	3,10	s
durata della manovra	$T_c =$	240	s
tipo di manovra		lenta	
sovrappressione	$\Delta H =$	1,6	m

modulo di comprimibilità dell'acqua	$\epsilon =$	2.03E+09	N/m ²
densità acqua	$\rho =$	998	kg/m ³
modulo di elasticità del materiale (acciaio)	$E =$	2,1E+11	N/m ²
Diametro condotta	$D =$	2,0	m
Portata	$Q =$	6,1	m ³ /s
Velocità iniziale	$U_0 =$	1,94	m/s
spessore condotta	$s =$	0,02	m
celerità di propagazione onde	$a =$	1016,99	m/s
Lunghezza tratta	$L =$	4925	m
durata di fase	$T =$	9,69	s
durata della manovra	$T_c =$	240	s
tipo di manovra		lenta	
sovrappressione	$\Delta H =$	8,1	m

Tabella 4 Verifica di moto vario elastico delle valvole

Anche in questo caso, per pressioni idrostatiche comprese tra 0 e 6 atm, la sovrappressione massima è di 3 atm (equivalenti a circa 30 m), superiore a quella sopra determinata. Non è quindi necessario prevedere degli organi di attenuazione del colpo d'ariete.

5.7 Definizione delle portate di vuotatura

Lungo l'adduttrice in progetto sono presenti diversi punti di scarico per la vuotatura delle condotte.

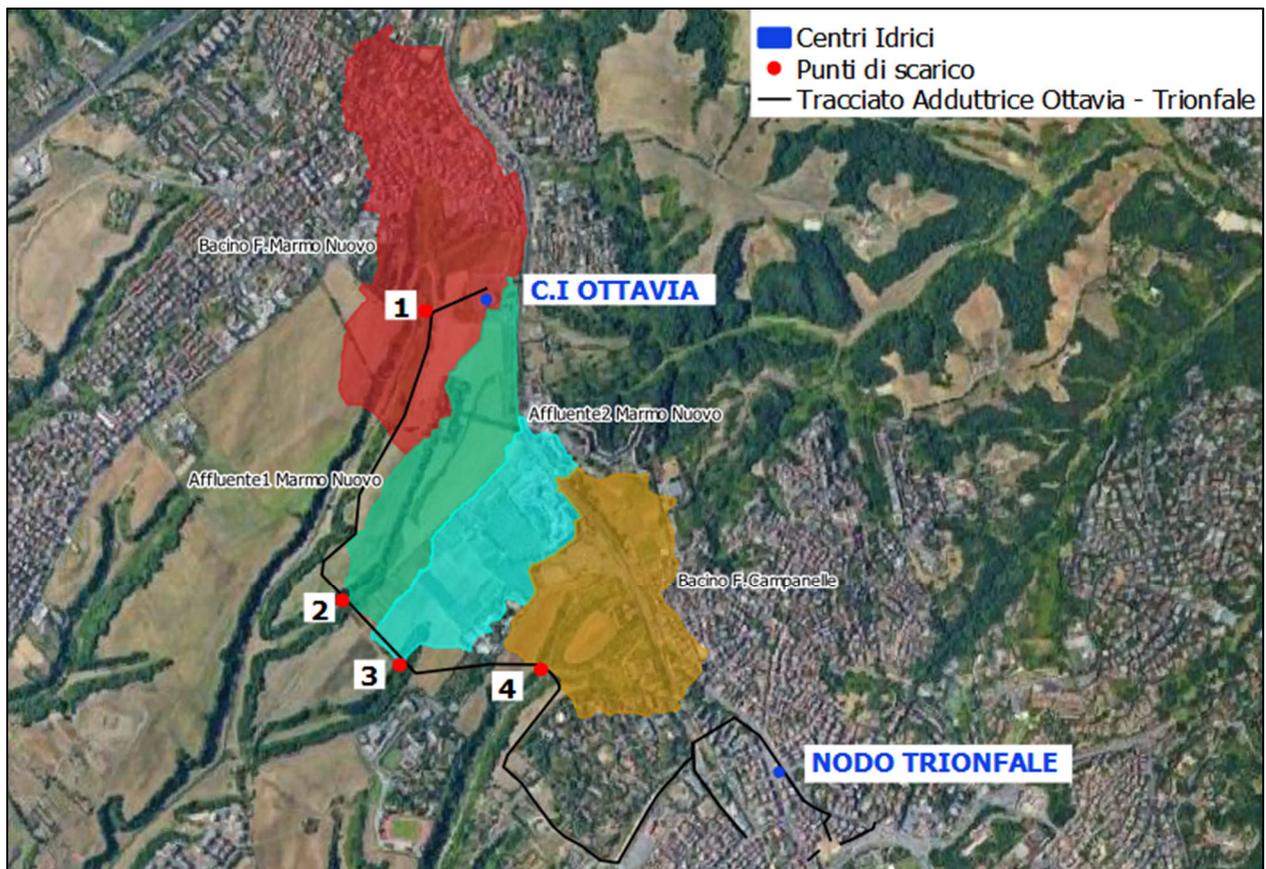


Figura 18 – Planimetria di inquadramento degli scarichi nei corpi idrici recettori

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

$$Q_{scarico} = \mu A \sqrt{2gh}$$

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

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

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

Per la determinazione del carico è stata ipotizzata la manovra di apertura nella condizione di massimo carico possibile sul sistema ossia 130.5 m s.l.m..

Gli scarichi avvengono mediante una condotta DN200 in pressione sulla quale sono installate due valvole a saracinesca DN200. Tale condotta in pressione sversa in un pozzetto separato di dimensioni in pianta pari a 1,2 x 1,2 m, dal quale riparte un collettore di scarico in PVC De500, con una quota di scorrimento determinata in funzione della quota idrica del recettore finale.

Il pozzetto da cui riparte la condotta in PVC De500 presenta un approfondimento di circa 1 m rispetto alla quota di uscita del DN200, che costituisce una vasca di calma per le acque di scarico prima che queste imbocchino il collettore che recapita al recettore finale. Tale vasca permette di limitare la velocità del flusso a valori compatibili con la sistemazione finale del fosso.

Nel punto di restituzione infatti, per prevenire fenomeni di erosione della sponda, è prevista una sistemazione con materassi tipo reno.

Nella definizione delle portate di scarico, a favore di sicurezza, non è stato considerato l'effetto di riduzione del carico prodotto dalle valvole a saracinesca. Al di sotto della quota di scorrimento del collettore di scarico in PVC De500 viene realizzato un approfondimento di circa 1m del pozzetto come ulteriore elemento di calma nel sistema.

5.7.1 Punto di scarico 1

Il primo punto di scarico dell'adduttrice è localizzato nella tratta T1 da Ottavia e Casal del Marmo, e permette la vuotatura della prima parte della condotta recapitando le acque all'interno del Fosso di Marmo Nuovo.

Nel nodo di scarico è posta una valvola DN200 chiusa con opportuni organi di sezionamento. La massima portata in uscita dallo scarico è determinata tramite la

formula dell'efflusso sotto battente, in una condizione in cui il carico sul punto di uscita è pari al massimo possibile sul sistema, ossia 130.5 m s.l.m.. La quota di scorrimento della condotta nel nodo è circa 107 m s.l.m., per un carico di circa 23 m sullo scarico.

In tali condizioni la portata massima in uscita è pari a circa 416 l/s, assumendo come coefficiente di efflusso un valore di 0.61.

La condotta di scarico è costituita da una tubazione in PVC De500 lunga circa 40 m.

Di seguito il dimensionamento della condotta, per la quale è stato assunto un coefficiente di scabrezza di 0,25 mm, consigliato nel caso di condotte in materiali plastici destinate allo scarico di acqua chiare.

Portata [l/s]	Diametro [m]	Scabrezza [mm]	Cadente [m/m]	ΔH [m]
416	0,5	0,25 mm	0,00786	0,31

Tabella 5 Dimensionamento Scarico 1

5.7.2 Punti di scarico 2, 3 e 4

Sul tratto T2, da Casal del Marmo al partitore Monte Mario vengono superate tre valli incise con altrettanti fossi. In ciascuno di essi sono poste delle valvole DN200 chiuse con opportuni organi di sezionamento.

Anche per il dimensionamento di tali organi si assume un carico massimo di 130.5 m s.l.m., mentre i tre punti di minimo hanno una quota di scorrimento rispettivamente di 84 m s.l.m., 88 m s.l.m. e 86 m s.l.m..

In tali condizioni la portata massima in uscita è pari a circa 579 l/s, 557 l/s e 567 l/s, assumendo come coefficiente di efflusso un valore di 0.61.

Le condotte sono anche per questi punti in PVC De500, lunghe rispettivamente 11m, 30m e 12m.

Portata [l/s]	Diametro [m]	Scabrezza [mm]	Cadente [m/m]	ΔH [m]
579	0,5	0,25	0,01511	0,17
557	0,5	0,25	0,01400	0,56
567	0,5	0,25	0,01450	0,17

Tabella 6 Dimensionamento Scarichi 2, 3 e 4

5.7.3 Ulteriori punti di scarico

Sul tratto T2 è presente un ulteriore nodo di scarico, che recapita in una limitrofa condotta fognaria DN1000 in cemento.

Anche per il dimensionamento di tale scarico, che anche in questo caso è costituito da un DN200, si assume un carico massimo di 130.5 m s.l.m., mentre la quota di scorrimento minima della condotta è circa 95 m s.l.m.. In tali condizioni la portata massima in uscita è pari a circa 509 l/s, assumendo come coefficiente di efflusso un valore di 0.61.

La condotta di scarico è costituita da una tubazione in PVC De500 lunga circa 23 m.

Portata [l/s]	Diametro [m]	Scabrezza [mm]	Cadente [m/m]	ΔH [m]
509	0,5	0,25 mm	0,0117	0,27

Tabella 7 Dimensionamento Scarico in fognatura

Piccoli organi di scarico, sono presenti all'interno anche del Manufatto Casal del Marmo, che confluiscono in un pozzetto esterno al manufatto stesso, che a sua volta potrà essere vuotato con aggettamenti portatili da cantiere.

Nel partitore Monte Mario è presente una condotta di scarico destinata a recapitare in fognatura esclusivamente eventuali acque che dovessero confluire nel manufatto a seguito di perdite idriche nella tratta posata con tecnologia del Microtunnelling, collettate tramite il tubo fodera nella quale la condotta è inserita.

Il C.I. di Pineta Sacchetti invece potrà essere vuotato all'interno dell'esistente Acquedotto Paolo, condotta che attualmente è destinata all'alimentazione delle fontane monumentali e della rete di innaffiamento. Ciascuna vasca è dotata di uno scarico di fondo DN200, a una quota pari a quella del fondo dell'invaso, ossia di 120,60 m s.l.m.. In queste condizioni, assumendo un carico massimo di 130.5 m s.l.m., la portata di scarico è pari a circa 270 l/s, valore compatibile con la capacità dell'Acquedotto Paolo.

5.8 Organi di sezionamento

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

È previsto che a valle di alcuni di questi sezionamenti sia possibile effettuare delle ispezioni all'interno delle condotte, anche nel caso in cui a immediatamente monte del sezionamento continui a fluire acqua sotto pressione. In queste situazioni l'organo deve garantire la sicurezza di eventuali operatori presenti nella condotta.

Per tali organi, oltre alla tenuta idraulica durante l'esercizio, saranno definiti degli accorgimenti tecnici, quali ad esempio la dotazione di dispositivi o organi di sicurezza, per scongiurare aperture accidentali delle apparecchiature sotto carico durante eventuali ispezioni delle condotte.

5.9 Verifica Idraulica Controtubo

Come descritto in precedenza, nel progetto è prevista la posa, con la tecnologia del Microtunnelling, di una tratta di condotte in pressione DN 2000 in acciaio collocate all'interno del tubo di protezione in c.a. DN 2500 su dei collari distanziatori di materiale plastico non deteriorabile.

Nel presente paragrafo è descritto il funzionamento idraulico del controtubo DN2500 nel caso si avesse una perdita nel tronco in pressione DN2000 che attraversa la ferrovia.

5.9.1 Verifica dell'area libera dell'intercapedine tra collettore e tubo fodera

Nel presente paragrafo è riportata la verifica dell'ingombro dei distanziatori nella sezione trasversale dell'intercapedine, che non deve superare la quarta parte dell'area dell'intercapedine stessa "per consentire il libero deflusso delle acque" in caso di perdite della condotta.

Nel caso in questione si è svolta la verifica per collari **distanziatori di altezza massima h=6 cm** formati da elementi a risalto discontinui ma pensati, a vantaggio di sicurezza e semplicità di calcolo continui, a formare una corona circolare uniforme intorno alla tubazione:

- area della sezione interna del tubo fodera DN 2500 in c.a.:

$$A_{\text{tubo-fodera}} = \pi r^2 = \pi 2,5^2 = 4,91 \text{ m}^2$$

- area della sezione esterna della condotta DN 2000:

$$A_{\text{condotta}} = \pi r^2 = \pi 2,03^2 = 3,24 \text{ m}^2$$

- area dell'intercapedine tra le due tubazioni:

$$A_{\text{intercapedine}} = A_{\text{tubo-fodera}} - A_{\text{condotta}} = 4,91 - 3,24 = 1,67 \text{ m}^2$$

- area occupata dai collari distanziatori (spessore 6 cm):

$$A_{\text{collari}} = = \frac{\pi((2,03+0,06*2)^2-2,03^2)}{4} = 0,39\text{m}^2$$

Pertanto **la verifica è soddisfatta** risultando:

$$A_{\text{collari}} = 0.39 \text{ m}^2 < 0.42 \text{ m}^2 = \frac{A_{\text{intercapedine}}}{4}$$

5.9.2 Verifica smaltimento portata in caso di rottura della condotta DN2000 in pressione

È stata poi condotta la verifica in merito all' idoneità delle opere previste per l'attraversamento ferroviario a smaltire eventuali perdite d'acqua causate, ad esempio, dalla foratura della condotta in pressione DN2000.

La disposizione delle tubazioni in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario è tale per cui in caso di rottura del tubo in pressione, l'acqua fuoriuscita defluisce verso il Partitore di Monte Mario, nodo di monte dell'attraversamento, per poi procedere verso lo scarico finale nel limitrofo collettore fognario.

Pertanto, ipotizzata la rottura della condotta lungo una saldatura e assimilata la zona di fuoriuscita dell'acqua ad un foro di diametro pari a 15 cm, si ha che sotto il carico massimo di 23,5 m (carico massimo di 130,5 m s.l.m. meno lo scorrimento della condotta, posta nel punto più basso a circa 107 m s.l.m.), la portata di rottura è pari a 230 l/s. Per la determinazione della portata di scarico è stata applicata la formula dell'efflusso da una bocca a battente.

La capacità di deflusso dell'intercapedine tra la condotta in pressione DN 2000 ed il tubo di protezione DN 2500 è stata verificata applicando la formula di Chezy del moto uniforme nei canali a superficie libera.

$$Q = \Omega \chi \sqrt{R i}$$

con: $Q [m^3/s]$: portata

Ω [m²]: area bagnata pari all'area dell'intercapedine

χ [m^{1/2}/s]: parametro di Chézy (coefficiente di conduttanza)

R [m]: raggio idraulico

i : pendenza del fondo

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

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

dove il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler k_s [m^{1/3}/s] è determinato in funzione della tipologia di materiale.

Di seguito i risultati del calcolo, dai quali si evince come il controtubo possieda una capacità a sezione piena maggiore della portata di rottura, che fluiranno pertanto senza mandare in carico il controtubo.

Pendenza	0.00335	[m/m]
Dest condotta	2.032	[m]
D condotta+distanziatori	2.152	[m]
D controtubo	2.50	[m]
A condotta+distanziatori	3.64	[m ²]
A controtubo	4.91	[m ²]
C	14.61	[m]
R	0.09	[m]
K	75	[m ^{1/3} /s]
V	0.85	[m/s]
Q	1.08	[m ³ /s]