



## COMMISSARIO DELEGATO

per i Primi Interventi Urgenti di Protezione Civile in Conseguenza della Contaminazione da sostanze perfluoro-alchiliche (PFAS)

DCM del 21.03.2018/OCDP n. 519 del 28.05.2018

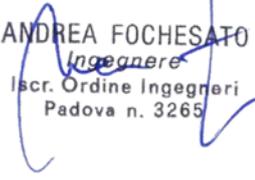


### MODELLO STRUTTURALE DEGLI ACQUEDOTTI DEL VENETO (MO.S.A.V.)

INTERVENTI FINALIZZATI ALLA SOSTITUZIONE DELLE FONTI IDROPOTABILI CONTAMINATE DA SOSTANZE PERFLUORO-ALCHILICHE (PFAS)

## ESTENSIONE DELLO SCHEMA NELL'AREA MONSELICENSE - ESTENSE - MONTAGNANESE

### PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTISTI	Progettista responsabile integrazioni prestazioni specialistiche Ing. Luca Fresia	Geologia Dott. geol. Fabrizio Grosso
CAPOGRUPPO MANDATARIA:  INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE  MANDANTI:   Striolo, Fochesato & Partners  Arch. Iunior Doris Castello	 Dott. Ing. LUCA FRESIA n. 10125 W	 FABRIZIO GROSSO GEOLOGO A.P. SEZ. 4 N. 358  <i>Fabrizio Grosso</i>
	Coordinatore sicurezza in fase di progettazione Ing. Andrea Fochesato   ANDREA FOCHESATO Ingegnere Iscr. Ordine Ingegneri Padova n. 3265	Progettista responsabile elaborato Ing. Federico Marco Costantini   Dott. Ing. FEDERICO MARCO COSTANTINI n. 13287  <i>Federico Marco Costantini</i>

## 1 - DIMENSIONAMENTI IDRAULICI 1.01 - RELAZIONE IDRAULICA DEGLI SCENARI ATTUALE E DI PROGETTO

00	AGO. 19	F.COSTANTINI	S.CHIAPPINO	L.FRESIA	
REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE



## INDICE

1. PREMESSA	1
2. DATI DISPONIBILI	1
3. ANALISI DEI CONSUMI IDROPOTABILI	1
3.1 Analisi dati di monitoraggio disponibili	2
3.2 Metodologia di costruzione dei consumi medi e massimi	4
3.3 Curve sintetiche settimanali dei consumi	7
3.4 Elaborazione Finale	9
4. MODELLAZIONE NUMERICA A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA	10
4.1 Modello numerico	10
4.1.1 Geometria e caratterizzazione della rete	11
4.2 Calibrazione del modello	13
4.3 Funzionamento della rete	18
4.4 Simulazione nella configurazione di "Stato Attuale" dello scenario di consumi medi – SIM1	20
4.5 Simulazione nella configurazione di "Stato Attuale" dello scenario di consumi massimi – SIM2	23
4.6 Configurazione di "Progetto"	24
4.7 Simulazione nella configurazione di "Progetto" dello scenario di consumi medi – SIM3	27
4.7.1 Integrazione delle portate immesse nel sistema da Piacenza d'Adige	30
4.8 Simulazione nella configurazione di "Progetto" dello scenario di consumi massimi– SIM4	34
5. CONCLUSIONI	38
5.1 Aspetti progettuali emersi dalle modellazioni idrauliche	38

ALLEGATO 1 - Il codice di calcolo MIKE Urban



## 1. PREMESSA

Il presente documento riporta i calcoli idraulici finalizzati alla ricostruzione dei fabbisogni idropotabili attuali e futuri sulla base dei dati di monitoraggio del 2018 (messi a disposizione dai gestori) e la modellazione numerica dell'adduttrice acquedottistica con alimentazione da Carmignano e Piacenza d'Adige propedeutici al dimensionamento e all'ipotesi delle regole di funzionamento del modello strutturale acquedotti del Veneto con specifico riferimento al progetto di estensione dello schema nell'area Monselicense – Estense – Montagnanese nell'ambito del piano di infrastrutturazione per la risoluzione dell'emergenza p.f.a.s.

## 2. DATI DISPONIBILI

Di seguito sono elencati i dati resi disponibili dai gestori (ETRA, Acquevenete) come base informativa di partenza per le analisi dei consumi idropotabili attuali e di progetto e per l'allestimento del modello numerico:

- serie temporali di monitoraggio delle portate derivate dalla rete di adduzione principale di ETRA e di Acquevenete del 2018;
- serie temporali di monitoraggio delle portate in rete alla condotta di mandata dell'impianto di Carmignano di ETRA del 2018;
- serie temporali di monitoraggio delle portate in rete al punto di consegna di Battaglia Terme di Acquevenete del 2018;
- serie temporali di monitoraggio dei livelli dei serbatoi di Taggì di ETRA e di Solana di Acquevenete del 2018;
- serie temporali di monitoraggio delle portate derivate dalla rete di adduzione principale di ETRA della settimana 19/07/2017-26/07/2017;
- serie temporali di monitoraggio delle portate derivate dalla rete di adduzione principale di ETRA e di Acquevenete del 2017;
- geometria della rete esistente di competenza di Acquevenete in formato GIS (shapefile);
- dati di targa delle 5 pompe dell'impianto di rilancio di Taggì e delle 3 pompe (di 4 totali) della stazione di sollevamento di Carmignano;
- serie temporali di monitoraggio di ETRA dei periodi 15/07/2018-01/08/2018 e 20/04/2018-30/04/2018 del funzionamento delle stazioni di pompaggio di Carmignano e Taggì in termini di accensione/spegnimento delle pompe e apertura/chiusure delle valvole di controllo dei serbatoi di Taggì;
- documento "MODELLO\_MOSAV\_PER\_RELAZIONE.docx" che contiene i risultati delle analisi pregresse effettuate da Acquevenete, anche utilizzate per l'impostazione dello Studio di fattibilità degli interventi di infrastrutturazione;
- modello numerico MIKE URBAN (versione originale fornita da ETRA e versione di progetto elaborata in fase di studio di fattibilità da Acquevenete);
- dati contenuti nel modello MIKE URBAN (versione originale fornita da ETRA e versione di progetto) relativi al 2013.

## 3. ANALISI DEI CONSUMI IDROPOTABILI

Al fine della definizione delle portate di progetto in termini di consumi idropotabili da applicare ai punti di consegna della rete di adduzione oggetto dello studio è stata effettuata un'analisi a partire dalle registrazioni del monitoraggio effettuato da parte di ETRA e Acquevenete mettendo a confronto i diversi anni disponibili (2013, 2017) con quello di riferimento 2018.

### 3.1 Analisi dati di monitoraggio disponibili

I dati di monitoraggio constano di serie temporali registrate in punti strategici della rete di adduzione nei quali sono installate delle stazioni di misura che tracciano l'andamento delle portate, pressioni e livelli idrici a seconda della tipologia del punto della rete osservato.

Le stazioni di misura prese in considerazione nel presente studio, di cui le registrazioni sono state rese disponibili, sono riportate di seguito in elenco e Figura 1 :

- Fonte di Camazzole (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni nella condotta di mandata della stazione di sollevamento di Carmignano);
- ETRA 1 - Piazzola, Via Corsica (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni in derivazione alla condotta di adduzione principale);
- Rilancio di Taggi (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni nella condotta di mandata della stazione di sollevamento di Taggi, dei livelli dei serbatoi di compenso);
- ETRA 2 - Limena (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni in derivazione alla condotta di adduzione principale);
- ETRA 3 - Via Bindelle (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni in derivazione alla condotta di adduzione principale);
- ETRA 4 - Via Palù (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni in derivazione alla condotta di adduzione principale);
- ETRA 5 - Via Scapacchiò (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni in derivazione alla condotta di adduzione principale);
- CVS 1 - Albignasego, Via Tasso (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni in derivazione alla condotta di adduzione principale);
- ETRA 6 - Circ. Monterosso (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni in derivazione alla condotta di adduzione principale);
- ETRA 7 - San Daniele (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni in derivazione alla condotta di adduzione principale);
- ETRA 8 - Catajo (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni in derivazione alla condotta di adduzione principale);
- ETRA 9 - Battaglia Terme (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni in derivazione alla condotta di adduzione principale);
- punto di consegna ETRA - Acquevenete, Battaglia Terme (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni della condotta di adduzione principale);
- serbatoi di Solana – Monselice (di cui sono disponibili le registrazioni dei livelli dei serbatoi di compenso);
- CVS 3 - Monselice, Via pascoli (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni in derivazione alla condotta di adduzione principale);
- CVS 4 - Laghetti Este (di cui sono disponibili le registrazioni di portata e pressioni in derivazione alla condotta di adduzione principale);

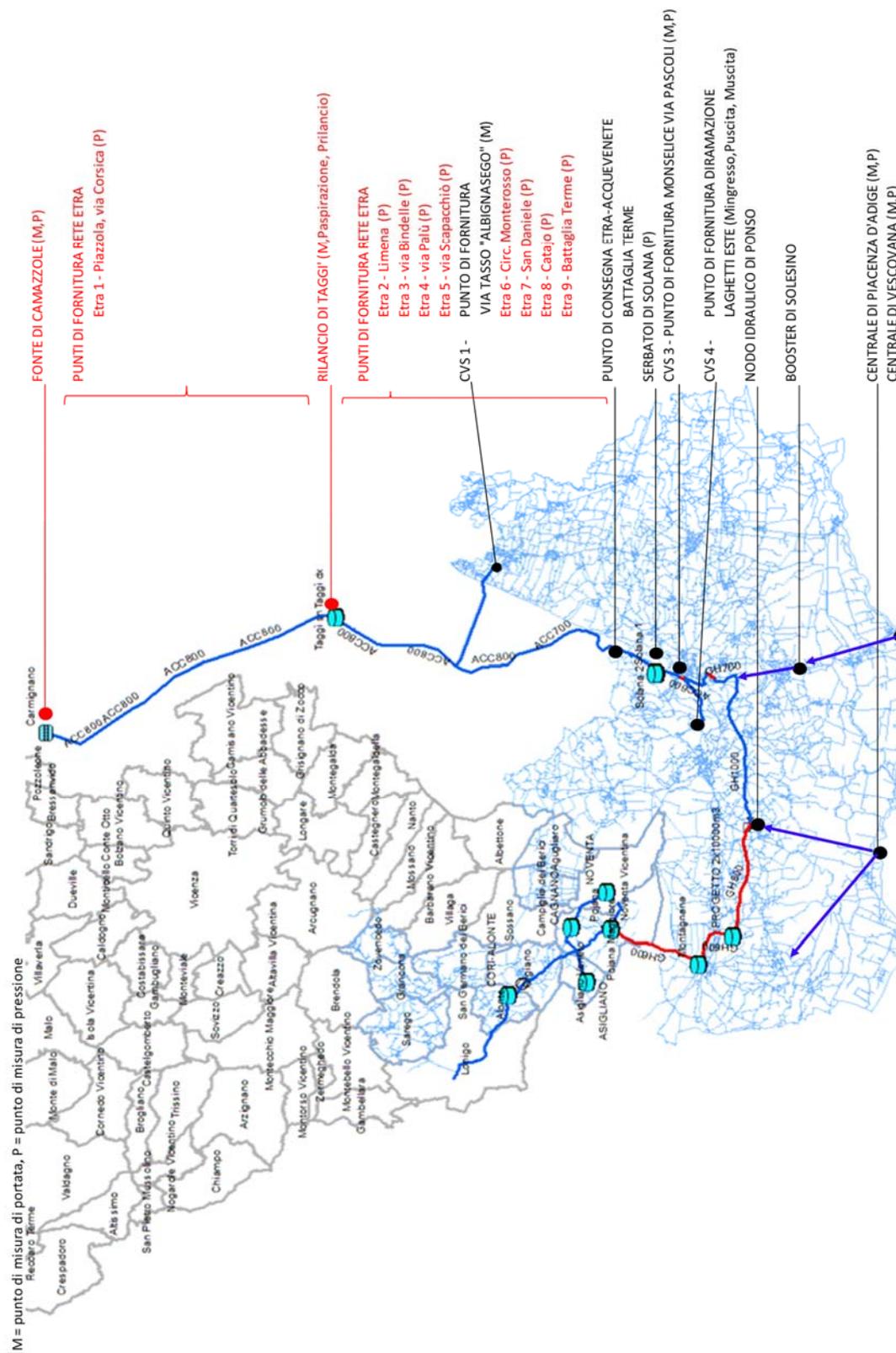


Figura 1 - Sinottico del sistema di adduzione ETRA-Acquevenete con indicazione dei punti di misura.

Relativamente a tali dati, e quindi ai risultati delle analisi che seguono, è opportuno precisare che:

- il tempo di acquisizione delle registrazioni è variabile tra i 10 e 15 minuti;
- i dati del 2017 non sono completi sulla durata dell'anno e non sono sufficienti a trarre conclusioni circa i consumi complessivi; su alcuni punti di erogazione sono comunque stati utilizzati come confronto di quelli del 2018;
- la serie di dati del 2018 si può ritenere circa completa almeno fino al mese di aprile, poi anche in questo caso per alcuni punti di consegna mancano i dati di consumo;
- le registrazioni della stazione di misura del Catajo dell'anno 2018 risultano composte da dati nulli per l'intero anno;
- per l'anno 2013 sono stati forniti i dati già elaborati delle portate relative allo scenario di massimo consumo per ogni derivazione della rete adduttrice.

### 3.2 Metodologia di costruzione dei consumi medi e massimi

Con l'obiettivo della costruzione degli scenari rappresentativi delle possibili condizioni di funzionamento del sistema acquedottistico in regime di idroesigenza media (caratteristica di un funzionamento ordinario) e di consumi massimi (caratteristici di un funzionamento limite), si è scelta come unità temporale di riferimento quella settimanale, in quanto ritenuta sufficientemente rappresentativa di un intero ciclo di riempimento e svuotamento dei serbatoi di rete (in previsione delle simulazioni di progetto).

Ad ogni derivazione dall'adduzione principale è stato assegnato un valore di portata per i due scenari di funzionamento che, moltiplicato per i coefficienti di variazione oraria e giornaliera (settimanale), consente di comporre la modulazione settimanale a passo orario relativa dell'idroesigenza del singolo punto di utenza.

I punti di prelievo a cui sono associati i consumi idropotabili della rete di adduzione in esame, distinti in esistenti e futuri (derivati dall'estensione della rete in progetto) sono elencati nella Tabella 1 che segue.

N° punto	Descrizione	Stato	Competenza
Etra 1	Piazzola	Esistente	ETRA
Etra 2	Limena	Esistente	ETRA
Etra 3	Bindelle	Esistente	ETRA
Etra 4	Palù	Esistente	ETRA
Etra 5	Scapacchiò	Esistente	ETRA
Etra 6	Circuito Monterosso	Esistente	ETRA
Etra 7	San Daniele	Esistente	ETRA
Etra 8	Catajo	Esistente	ETRA
Etra 9	Battaglia Terme	Esistente	ETRA
CVS 1	Via Tasso	Esistente	Acquevenete
CVS 2	Via Rivella	Esistente	Acquevenete
CVS 4	Laghetti Este	Esistente	Acquevenete
Montagnana	Montagnana Serbatoio	Progetto	Acquevenete
Pojana	Pojana Serbatoio 1	Progetto	Acquevenete
Noventa V. 1	Noventa V. Derivazione rete	Progetto	Acquevenete
Noventa V. 2	Noventa V. Serbatoio	Progetto	Acquevenete
Cagnano	Pojana Serbatoio 2	Progetto	Acquevenete
Asigliano	Asigliano Serbatoio	Progetto	Acquevenete
Fornetto	Orgiano Derivazione rete	Progetto	Acquevenete

N° punto	Descrizione	Stato	Competenza
Cori Alonte	Alonte Serbatoio	Progetto	Acquevenete

Tabella 1 - Punti di prelievo associati ai consumi idropotabili della rete di adduzione.

Per lo scenario dei consumi medi, la portata assegnata ad ogni punto di derivazione esistente, rappresentante il consumo medio giornaliero, è pari alla portata media giornaliera rispetto all'intera registrazione dell'anno di riferimento.

Nella Tabella 2 sono riportati i consumi medi giornalieri elaborati, come appena descritto, dai dati registrati dell'anno 2018.

N° punto	Descrizione	Qg,max 2018 (l/s)
Etra 1	Piazzola	31,20
Etra 2	Limena	32,28
Etra 3	Bindelle	67,02
Etra 4	Palù	4,97
Etra 5	Scapacchiò	0,39
Etra 6	Circuito Monterosso	101,29
Etra 7	San Daniele	50,44
Etra 8	Catajo	0,00
Etra 9	Battaglia Terme	12,58
<b>Totale ETRA</b>		<b>300,17</b>
CVS 1	Via Tasso	47,89
CVS 2	Via Rivella	189,08
CVS 4	Laghetti Este	116,77
<b>Totale ex-CVS</b>		<b>353,74</b>
<b>Totale generale</b>		<b>653,91</b>

Tabella 2 - Consumi medi giornalieri della rete esistente nello scenario di consumo medio elaborato per l'anno 2018.

Al fine di determinare il valore di portata associato al giorno di massimo consumo è stata preliminarmente ricercata, sulla base dei dati di monitoraggio dell'intero anno, la settimana di massimo consumo per ogni serie di misura e successivamente è stato scelto il giorno della settimana (lunedì, martedì, ecc....) per il quale la somma dei valori medi giornalieri dei vari punti di derivazione è massima.

Adottando questa metodologia, la settimana di riferimento non è stata costruita considerando i giorni di massimo consumo assoluti di ogni serie (approccio che avrebbero portato a generare una sovrastima dei consumi). Allo stesso tempo il valore costruito totale di consumo massimo utilizzato per le simulazioni risulta quindi sensibilmente spostato verso l'asintoto superiore dei consumi, seppur mediato da considerare i valori settimanali complessivi e non giornalieri, presume la coincidenza nello stesso periodo dell'anno delle settimane di massimo consumo per tutti i punti di utenza (occasione che non si verifica nel 2018).

Per capire la robustezza rappresentativa delle serie di progetto individuate con le analisi descritte, sono state elaborate le serie dei dati di portata immesse in rete a Carmignano con le stesse modalità sopra descritte e confrontate con il dato di consumo calcolato sulla base dei dati 2018. Così è stata valutata una portata media del giorno di massima immissione introdotta a monte della rete di 757,96 l/s per il 2018, valore questo congruente

con il "Totale generale" del consumo medio del giorno massimo di 787,53 l/s calcolato con le modalità di elaborazione prescelte (Tabella 3).

Di seguito in Tabella 3 sono riepilogati a confronto i consumi idropotabili dello scenario di massimo consumo per i differenti anni disponibili elaborati.

N° punto	Descrizione	Qg,max 2013 (l/s)	Qg,max 2017 (l/s)	Qg,max 2018 (l/s)
Etra 1	Piazzola	33,04	Non disp.	39,43
Etra 2	Limena	16,31	41,80	32,08
Etra 3	Bindelle	24,21	96,86	93,46
Etra 4	Palù	117,27	0,00	37,97
Etra 5	Scapacchiò	28,06	0,07	4,72
Etra 6	Circuito Monterosso	78,43	96,46	110,90
Etra 7	San Daniele	65,13	66,88	57,26
Etra 8	Catajo	6,80	0,00	0,00
Etra 9	Battaglia Terme	0,15	15,24	16,24
<b>Totale ETRA</b>		<b>369,40</b>	<b>317,31</b>	<b>392,06</b>
CVS 1	Via Tasso	55,70	Non disp.	67,24
CVS 2	Via Rivella	165,79	Non disp.	195,62
CVS 4	Lagheti Este	123,94	Non disp.	132,61
<b>Totale ex-CVS</b>		<b>345,43</b>	<b>297,27</b>	<b>395,47</b>
<b>Totale generale</b>		<b>714,83</b>		<b>787,53</b>

Tabella 3 - Consumi medi giornalieri della rete esistente per lo scenario di massimo consumo.

Esaminando i dati riportati in tabella si può inoltre affermare che:

- il totale ETRA di Qg,max 2018 conferma sostanzialmente il valore del totale Qg,max 2013 (differenza di circa 22 l/s) anche se la distribuzione delle portate sui punti di erogazione è alquanto differente;
- il totale ex-CVS 2018 è maggiore del totale ex-CVS 2013 di circa 50 l/s;
- il totale generale del 2018, pari a circa 787 l/s, risulta quindi superiore di circa 73 l/s di quanto elaborato con i dati delle registrazioni del 2013.

Si ritengono maggiormente rappresentativi del contesto attuale i consumi ricostruiti dalle registrazioni dell'anno 2018 che sono considerati come di riferimento delle analisi successive con modellazione numerica, in quanto tale anno è già influenzato secondo i gestori dal cambio di gestione in relazione all'emergenza p.f.a.s..

Per i punti di prelievo in progetto derivanti dall'estensione della rete, si è fatto riferimento ai valori di consumi per gli scenari di consumo medio e massimo, ricostruiti nella relazione tecnica generale del "Progetto di fattibilità tecnico economico" del marzo 2018 al capitolo 3 "Fabbisogni e disponibilità idriche dell'area di intervento".

In Tabella 4 sono riportati i valori per ogni punto di derivazione della rete adduttrice in progetto.

N° punto	Descrizione	Qg,med (l/s)	Qg,max (l/s)
Montagnana	Montagnana Serbatoio	44,00	62,50
Pojana	Pojana Serbatoio 1	11,64	16,50
Noventa V. 1	Noventa V. Derivazione rete	33,75	47,25
Noventa V. 2	Noventa V. Serbatoio	3,75	5,25
Cagnano	Pojana Serbatoio 2	7,06	10,00

N° punto	Descrizione	Qg,med (l/s)	Qg,max (l/s)
Asigliano	Asigliano Serbatoio	4,60	6,50
Fornetto	Orgiano Derivazione rete	12,00	17,00
Cori Alonte	Alonte Serbatoio	4,25	6,50
	<i>Tot. zona ovest</i>	<b>121,05</b>	<b>171,50</b>
Consumi esistenti		<b>714,83</b>	<b>787,53</b>
	<i>Tot. consumi</i>	<b>835,88</b>	<b>959,03</b>

Tabella 4 - Consumi medi giornalieri di progetto della zona ovest.

Considerando di approvvigionare la rete idrica con la sola fonte di Carmignano (850 l/s disponibili) e che il contributo medio giornaliero di 115 l/s circa fornibile dal serbatoio di Montagnana (fonte virtuale) in progetto (capacità di accumulo di 10'000 m<sup>3</sup>) per le utenze della zona Ovest, con i valori di consumo massimo relativi alla rete esistente elaborati dai dati dell'anno 2018, il bilancio idrico in condizioni di progetto, già prima di eseguire simulazioni, senza apporti esterni alla rete considerata appare molto al limite. L'ipotesi di poter usufruire della totalità del volume di compenso del serbatoio in progetto di Montagnana nella settimana di massimo consumo sottostà alla necessità di verificare se tale serbatoio possa essere effettivamente riempito nelle ore di calo dell'idroesigenza possibilità indagata in seguito con l'utilizzo del modello idraulico.

Questa considerazione avvalora la scelta di basare le analisi dei consumi e quindi le simulazioni di stato attuale e di progetto su base settimanale anziché giornaliera.

### 3.3 Curve sintetiche settimanali dei consumi

Per la costruzione delle curve di modulazione oraria settimanale da applicare ad ogni punto di derivazione della rete di adduzione sono stati calcolati i coefficienti moltiplicativi di variazione oraria del consumo giornaliero e di variazione giornaliera del consumo settimanale.

I coefficienti di punta orari del consumo giornaliero sono stati valutati a partire dai valori medi orari relativi alle registrazioni dell'intero anno 2018 per ogni serie di misura. Quest'ultimi sono stati adimensionalizzati dividendoli per il valore medio annuo della serie, ottenendo così una sequenza di valori a passo orario e media 1. Infine, per definire i coefficienti da considerare per tutte le derivazioni della rete di adduzione è stata effettuata un'ulteriore operazione di media pesata sulla portata media giornaliera della singola derivazione. In Tabella 5 si riporta la serie di coefficienti di variazione oraria sviluppata come descritto sopra.

ORA	K-ora	ORA	K-ora
1	0,756	13	1,174
2	0,638	14	1,158
3	0,576	15	1,145
4	0,553	16	1,073
5	0,565	17	1,043
6	0,609	18	1,075
7	0,763	19	1,131
8	1,103	20	1,226
9	1,243	21	1,259
10	1,286	22	1,183
11	1,262	23	1,045

ORA	K-ora	ORA	K-ora
12	1,230	24	0,904

Tabella 5 - Coefficienti moltiplicativi di variazione oraria dei consumi giornalieri.

Analogamente ai precedenti coefficienti, quelli di punta giornalieri settimanali (riportati in Tabella 6) sono il risultato dell'operazione di adimensionalizzazione dei valori medi giornalieri della settimana di massimo consumo (individuati come descritto nel paragrafo 3.2) rispetto al valore medio annuo e di media pesata sulla portata media giornaliera per ogni punto di misura.

giorno	K-giorno
lunedì	1,007
martedì	1,019
mercoledì	0,989
giovedì	0,980
venerdì	1,001
sabato	1,030
domenica	0,974

Tabella 6 - Coefficienti moltiplicativi di variazione giornaliera dei consumi settimanali.

La scelta di elaborare i valori medi giornalieri della settimana di massimo consumo rispetto quelli della settimana media annua è sostenuta dalla maggior rappresentatività dell'andamento usuale dei consumi settimanali dei valori della prima rispetto a quelli della seconda. La settimana media annua infatti risulta presentare valori pressoché costanti durante l'intero periodo considerato.

Combinando l'utilizzo dei coefficienti di variazione oraria giornaliera e giornaliera settimanale (sopra citati) è stato possibile generare i coefficienti di variazione oraria settimanale per riprodurre la modulazione oraria settimanale rappresentata in Figura 2 applicata ai punti di prelievo della rete di adduzione moltiplicando i coefficienti per la portata media giornaliera dello scenario indagato.

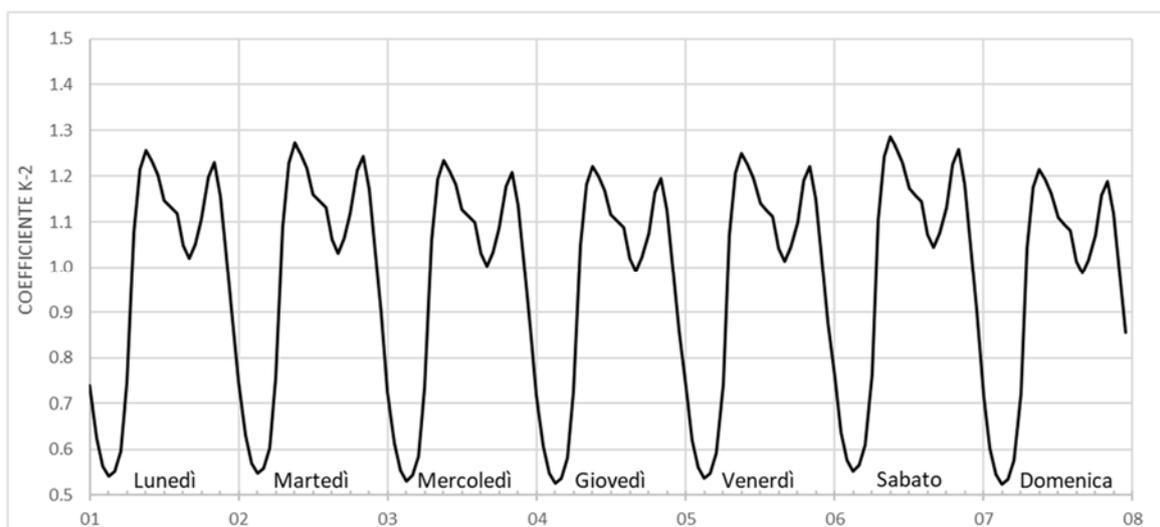


Figura 2 - Andamento settimanale del coefficiente moltiplicativo di variazione oraria della portata media giornaliera.

### 3.4 Elaborazione Finale

A seguito della condivisione dei risultati dell'analisi dei consumi con i gestori della rete acquedottistica oggetto di studio (Acquevenete ed ETRA), l'elaborazione è stata integrata con i valori di portata media giornaliera annui (del 2018) registrati dal monitoraggio ETRA per i punti di derivazioni di competenza.

Ritenendoli basati su una base informativa maggiormente estesa e consistente rispetto a quella messa a disposizione (quest'ultima presentava dei periodi di interruzione del monitoraggio) si è scelto di sostituire i valori dei punti di prelievo ETRA elaborati con quelli indicati dal gestore ottenuti direttamente dalle misurazioni.

Per coerenza tra gli scenari di consumi medi e massimi, i valori massimi elaborati sono stati allineati ai valori dei consumi medi nel caso in cui il valore elaborato (talvolta basato su serie temporali non complete) risultasse inferiore al valore dei consumi medi indicati dal gestore.

Di seguito in Tabella 7 sono riportati i valori dei consumi medi giornalieri per gli scenari di consumo medio e consumo massimo si seguito utilizzati per le simulazioni idrauliche. Questi, assieme ai coefficienti di punta oraria settimanale, saranno utilizzati per caratterizzare nel periodo di simulazione, l'andamento dei consumi per ogni punto di prelievo.

N° punto	Descrizione	Qg,max 2018 (l/s)	Qg,med 2018 (l/s)	N° punto	Descrizione	Qg,max 2018 (l/s)	Qg,med 2018 (l/s)
Etra 1	Piazzola	39.43	32.94	Montagnana	Montagnana Serbatoio	62.50	44.00
Etra 2	Limena	37.05	37.05	Pojana	Pojana Serbatoio 1	16.50	11.64
Etra 3	Bindelle	93.46	74.11	Noventa V. 1	Noventa V. Derivazione rete	47.25	33.75
Etra 4	Palù	37.97	5.15	Noventa V. 2	Noventa V. Serbatoio	5.25	3.75
Etra 5	Scapacchiò	4.72	0.51	Cagnano	Pojana Serbatoio 2	10.00	7.06
Etra 6	Circuito Montero	114.25	114.25	Asigliano	Asigliano Serbatoio	6.50	4.60
Etra 7	San Daniele	63.82	63.82	Fornetto	Orgiano Derivazione rete	17.00	12.00
Etra 8	Catajo	10.29	10.29	Cori Alonte	Alonte Serbatoio	6.50	4.25
Etra 9	Battaglia Teme	16.24	13.38		<b>Tot. zona ovest</b>	<b>171.50</b>	<b>121.05</b>
	<b>Totale ETRA</b>	<b>417.23</b>	<b>351.50</b>		Consumi esistenti	812.70	705.24
CVS 1	Via Tasso	67.24	47.89		<b>Tot. consumi</b>	<b>984.20</b>	<b>826.29</b>
CVS 2	Via Rivella	195.62	189.08				
CVS 4	Laghetti Este	132.61	116.77				
	<b>Totale ex-CVS</b>	<b>395.47</b>	<b>353.74</b>				
	<b>Totale generale</b>	<b>812.70</b>	<b>705.24</b>				

Tabella 7 - Consumi medi annui e massimi consumi giornalieri.

Nel seguito dell'analisi con il modello numerico i consumi di Via Rivella a Monselice saranno considerati suddivisi equamente in due punti di prelievo localizzati all'interno dello stesso comune e denominati Monselice Nord e Monselice Sud.

## 4. MODELLO NUMERICO A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Per la verifica della rete acquedottistica di adduzione esistente e dell'estensione della stessa in progetto, sono state svolte in base ai dati e agli studi pregressi disponibili, le simulazioni idrauliche mediante l'applicazione di un modello numerico implementato sulla base del codice di calcolo MIKE Urban del DHI.

Il modello numerico è stato messo a punto nell'ambito del precedente studio di fattibilità ed è stato aggiornato e integrato nella presente fase progettuale al fine di supportare il dimensionamento delle principali opere.

I dati di consumo idropotabile imposti nel modello numerico come condizioni al contorno sono stati determinati come descritto nel capitolo precedente con stretto riferimento ai due scenari alla base delle ipotesi di funzionamento ordinario e massimo del sistema acquedottistico studiato.

Con il modello idraulico messo a punto sono state condotte le seguenti attività:

- calibrazione e taratura del modello con riferimento ai dati del monitoraggio del 2018;
- simulazione nella configurazione di "Stato Attuale" dello scenario di consumi medi (funzionamento ordinario) - SIM1;
- simulazione nella configurazione di "Stato Attuale" dello scenario di consumi massimi (funzionamento limite) - SIM2;
- simulazione nella configurazione di "Progetto" (estensione della rete) dello scenario di consumi medi (funzionamento ordinario) - SIM3;
- simulazione nella configurazione di "Progetto" (estensione della rete) dello scenario di consumi massimi (funzionamento limite) - SIM4.

Le simulazioni sono state eseguite, come già precisato, su un periodo di tempo esteso di durata settimanale in quanto ritenuto rappresentativo di un intero ciclo di riempimento e svuotamento dei serbatoi di rete.

### 4.1 Modello numerico

Per la verifica del funzionamento idraulico del sistema acquedottistico, nella sua configurazione esistente e di progetto, è stato messo a punto un modello numerico di simulazione per reti in pressione, in funzione delle caratteristiche note del sistema (quote dei nodi e dei serbatoi, lunghezze, diametri e scabrezze dei collettori, consumi, regole di gestione, valvole di regolazione ecc.), che consente di valutare le pressioni e le portate di funzionamento in rete.

L'analisi idraulica è stata effettuata utilizzando il modello matematico calibrato dell'adduttrice Consortile ETRA-Acquevenete fornito dal gestore ETRA SpA (che ne cura anche la manutenzione ordinaria e straordinaria fino all'ingresso in Monselice) e successivamente integrato nella configurazione di progetto da parte di Acquevenete.

Per la descrizione del codice di calcolo MIKE Urban si rimanda all'ALLEGATO 1.

#### 4.1.1 Geometria e caratterizzazione della rete

La geometria della rete di partenza è stata costruita in fase di studio di fattibilità, in modo semi-automatico previa importazione del modello numerico fornito da ETRA.

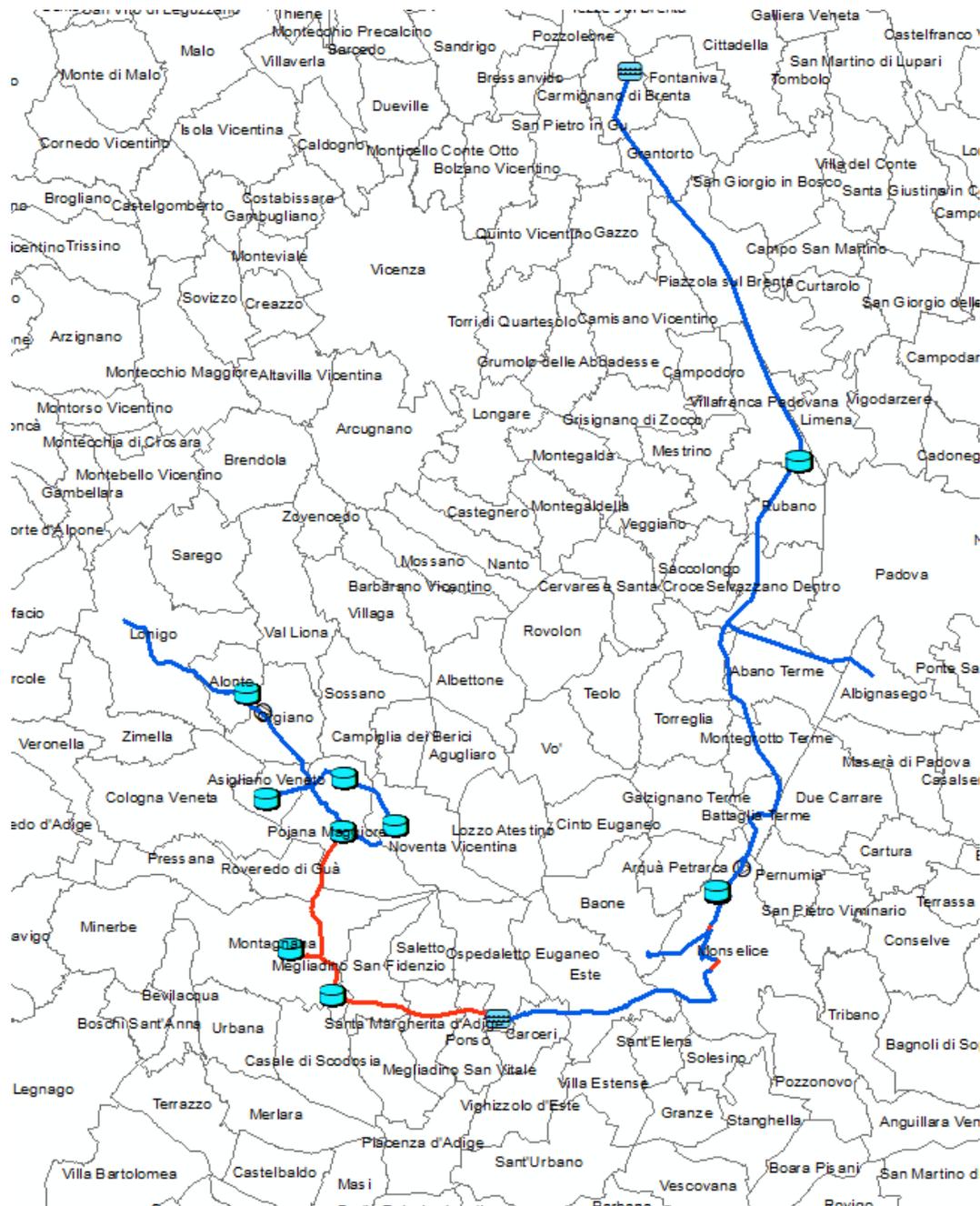


Figura 3 - Schema idraulico dello scenario di progetto: in blu il sistema di adduzione esistente ed in rosso le opere di progetto.

La configurazione di progetto definitiva, in questa fase progettuale, è stata raggiunta tramite la verifica del corretto funzionamento e la calibrazione del modello idraulico nella configurazione di "Stato Attuale" sulla base dei dati relativi all'esercizio di Acquevenete e ETRA riferito al periodo 2018. Il modello è stato dunque implementato utilizzando le informazioni disponibili nel sistema informativo dei gestori: posizione geografica delle condotte e dei relativi vertici, diametri e materiale delle tubazioni.

In relazione al diametro, alla natura del collettamento ed alle effettive intersezioni, è stato realizzato uno schema di calcolo del tipo arco-nodo ai fini dell'analisi idraulica della rete. La caratterizzazione altimetrica della rete è stata ricostruita su base CTR integrandone i valori con apposite verifiche in sito.

La dorsale esistente è costituita da tubazioni in ghisa sferoidale ed in acciaio. La resistenza al moto varia da 0,2 a 2 mm in relazione alle tratte, al materiale utilizzato, all'età di posa ed alle risultanze della calibrazione matematica del modello idraulico sulle misure di portata e pressione lungo la linea.

Per quanto riguarda invece la rete di nuova realizzazione nell'ambito del presente progetto, trattandosi di tubazioni in ghisa sferoidale, si è scelto di utilizzare, a favore di sicurezza, il valore di 0,2 mm per tenere in giusta considerazione l'invecchiamento delle tubazioni.

L'equazione utilizzata per la descrizione delle perdite di carico distribuite è quella di Darcy-Weisbach.

In riferimento alle perdite di carico concentrate ricorre, nel caso in questione, l'ipotesi di lunghe condotte. Il valore assunto da quest'ultime viene, pertanto, ritenuto trascurabile.

All'interno del modello sono stati rappresentati i serbatoi esistenti e in progetto elencati in Tabella 8 di cui si riportano anche le caratteristiche principali.

Serbatoi "Stato Attuale"			Serbatoi "Progetto"		
N° punto	DESCRIZIONE	Valore	N° punto	DESCRIZIONE	Valore
Taggi n. 1+2	Quota terreno (m slmm)	17,94	Montagnana PROGETTO	Quota terreno (m slmm)	10
	Volume (m <sup>3</sup> )	9.000		Volume (m <sup>3</sup> )	10.000
	Quota sfioro (m slmm)	27,94		Quota sfioro (m slmm)	15
Solana n. 1+2	Quota terreno (m slmm)	42,11	Montagnana ESISTENTE	Quota terreno (m slmm)	35
	Volume (m <sup>3</sup> )	9.500		Volume (m <sup>3</sup> )	150
	Quota sfioro (m slmm)	47,41		Quota sfioro (m slmm)	40
			Pojana	Quota terreno (m slmm)	35
				Volume (m <sup>3</sup> )	150
				Quota sfioro (m slmm)	40
			Noventa V.	Quota terreno (m slmm)	38
				Volume (m <sup>3</sup> )	450
				Quota sfioro (m slmm)	43
			Cagnano	Quota terreno (m slmm)	41
				Volume (m <sup>3</sup> )	150
				Quota sfioro (m slmm)	46
			Asigliano	Quota terreno (m slmm)	40
				Volume (m <sup>3</sup> )	150
				Quota sfioro (m slmm)	45
			Cori-Alonte	Quota terreno (m slmm)	61
				Volume (m <sup>3</sup> )	150
				Quota sfioro (m slmm)	66

Tabella 8 - Caratteristiche dei serbatoi rappresentati nel modello numerico.

La rete acquedottistica oggetto di studio è alimentata dall'impianto di pompaggio di Carmignano costituito da 4 elettropompe a velocità variabile, di cui una di riserva, i cui valori di targa, indicati in Tabella 9, coincidono per 3 di queste (CP1, CP2, CP3).

A Taggì, a valle dei due serbatoi a terra di compenso, è presente un ulteriore impianto di pompaggio con la funzione di rilanciare le portate immesse dalla centrale di Carmignano e costituito da 5 pompe (TP1, TP2, TP3, TP4, TP5), di cui una di riserva, tutte uguali tra loro e con i seguenti dati di targa.

Impianto	Dati Targa	Unità	Valore
Carmignano (CP1, CP2, CP3)	portata	l/s	285
	prevalenza	m	36
Carmignano (CP4)	portata	l/s	293
	prevalenza	m	46
Taggì (TP1, TP2, TP3, TP4, TP5)	portata	l/s	200
	prevalenza	m	60

Tabella 9 - Dati di targa delle pompe degli impianti di Carmignano e Taggì.

## 4.2 Calibrazione del modello

Al fine di verificare il corretto funzionamento e la taratura del modello numerico messo a punto nell'ambito dello studio di fattibilità, sono stati posti a confronto i risultati prodotti dal modello numerico con i dati disponibili del monitoraggio della rete del 2018 forniti dai gestori.

La calibrazione del modello è stata effettuata sulla base di una settimana media dell'anno 2018 (unico anno a disposizione in termini di completezza dei dati), scelta tra quelle dove fosse disponibile il maggior numero di stazioni di misura operative. Il periodo individuato è quello dal 23/04/2018 al 29/04/2018.

Le condizioni al contorno applicate al modello estrapolate dalle registrazioni del sistema di monitoraggio della rete sono le seguenti:

- consumi della rete ovvero l'andamento settimanale delle portate derivate dai punti di prelievo della rete di adduzione principale;
- l'andamento settimanale del funzionamento (attacco/stacco) delle pompe della stazione di Carmignano;
- l'andamento settimanale del funzionamento (attacco/stacco) delle pompe della stazione di Taggì;
- l'andamento settimanale del funzionamento (apertura/chiusura) delle valvole di controllo dei serbatoi di Taggì.

Dalle registrazioni estratte dal sistema di telecontrollo delle stazioni di sollevamento si osserva che le pompe dell'impianto di Carmignano funzionano costantemente nella settimana scelta per la taratura mentre quelle dell'impianto di Taggì hanno una regolazione oraria di accensione e spegnimento non replicata in maniera omogenea nell'arco della settimana.

Rispetto al modello numerico costruito durante lo studio di fattibilità, durante l'attività di calibrazione sono state effettuate delle modifiche alle geometrie per migliorarne la rappresentatività intervenendo principalmente all'interno della schematizzazione dei due impianti di pompaggio. A Carmignano sono stati eliminati alcuni elementi di connessione tra le pompe mentre a Taggì sono stati modificati i collegamenti al serbatoio di sinistra (sx) ed è stata aggiunta al bypass dell'impianto una valvola per il controllo dell'apertura dello stesso (l'apertura del bypass è subordinata allo spegnimento di tutte le pompe dell'impianto).

Le operazioni di calibrazione del modello si sono concentrate principalmente della taratura delle curve caratteristiche delle pompe delle stazioni di pompaggio di Carmignano e Taggì. Queste curve sono state modificate in modo tale che l'andamento temporale di alcuni parametri della rete derivante dal modello sia il più possibile aderente all'andamento temporale dei medesimi parametri monitorati dal telecontrollo del sistema acquedottistico.

I parametri di confronto utilizzati per la calibrazione del modello sono:

- le portate e le pressioni misurate in rete nella condotta di mandata dell'impianto di Carmignano registrate da ETRA (portate misurate dal sensore ISOIL);
- le portate misurate in rete nella condotta di adduzione principale al punto di consegna del comprensorio di ETRA a Battaglia Terme;
- i livelli idrici dei serbatoi di Taggì registrati da ETRA;
- i livelli idrici dei serbatoi di Solana registrati da Acquevenete.

Di seguito in Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8, Figura 9 e Figura 10 sono rappresentati i parametri sopra elencati e messi a confronto tra quelli originati dal modello numerico (simulati) e quelli reali registrati dal telecontrollo.

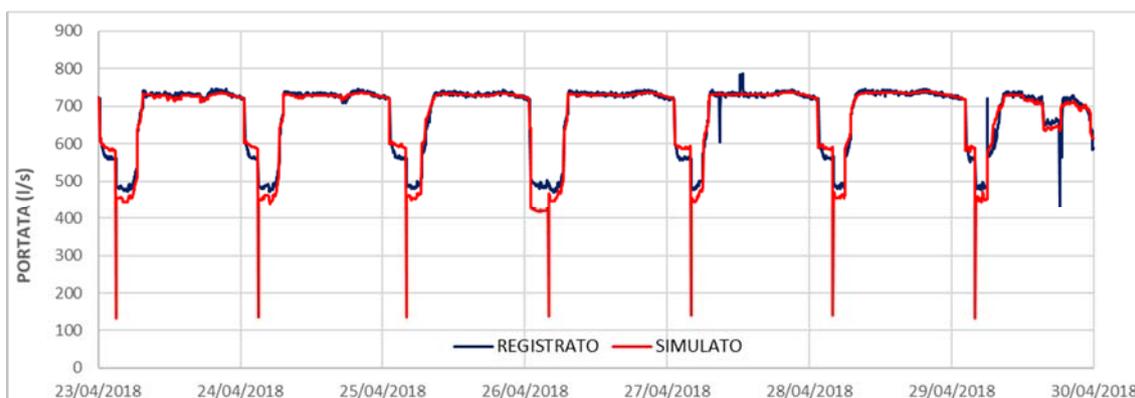


Figura 4 - Andamento delle portate nella condotta di mandata di Carmignano a confronto tra quello simulato dal modello (in rosso) e registrato dal telecontrollo (in blu).

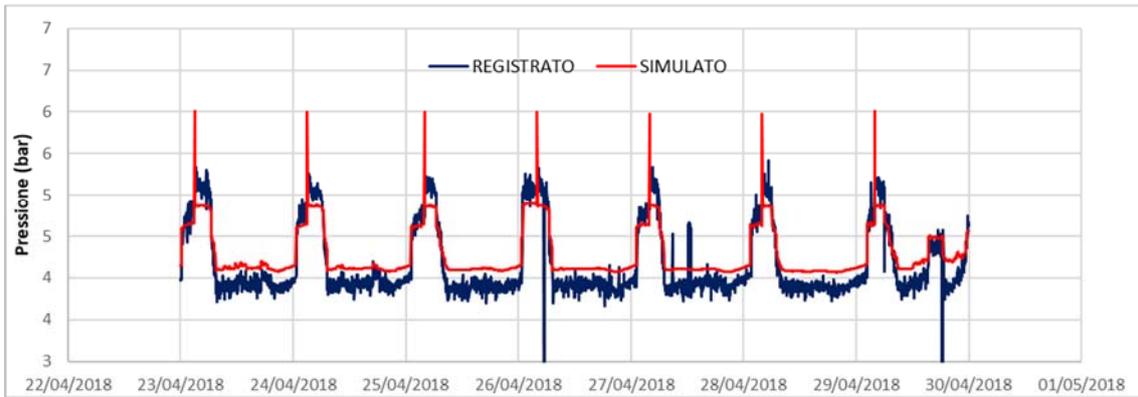


Figura 5 - Andamento delle pressioni nella condotta di mandata di Carmignano a confronto tra quello simulato dal modello (in rosso) e registrato dal telecontrollo (in blu).



Figura 6 - Andamento delle portate nella condotta di adduzione principale al punto di consegna del compressorio di ETRA a Battaglia Terme a confronto tra quello simulato dal modello (in rosso) e registrato dal telecontrollo (in blu).



Figura 7 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio dx di Taggi a confronto tra quello simulato dal modello (in rosso) e registrato dal telecontrollo (in blu); in verde l'andamento nel tempo della valvola che presidia gli ingressi al serbatoio (1 aperta e 0 chiusa).

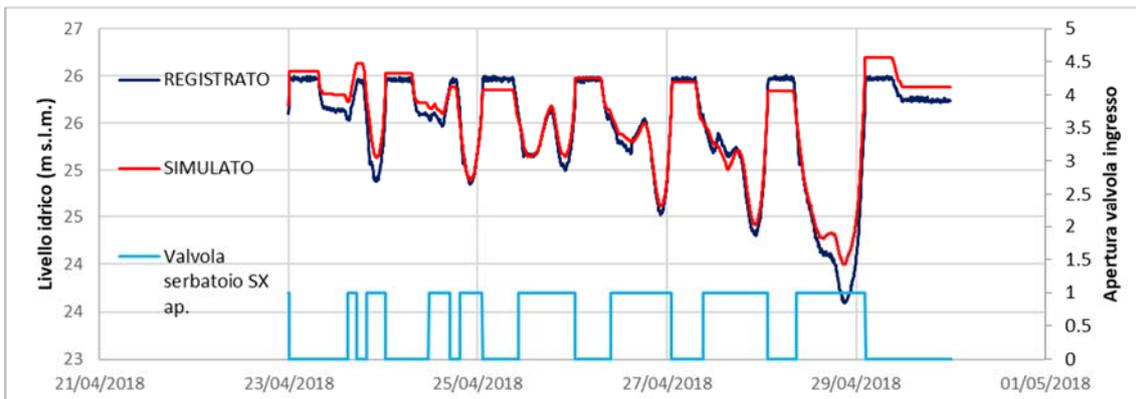


Figura 8 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio sx di Tagli a confronto tra quello simulato dal modello (in rosso) e registrato dal telecontrollo (in blu); in azzurro l'andamento nel tempo della valvola che presidia gli ingressi al serbatoio (1 aperta e 0 chiusa).

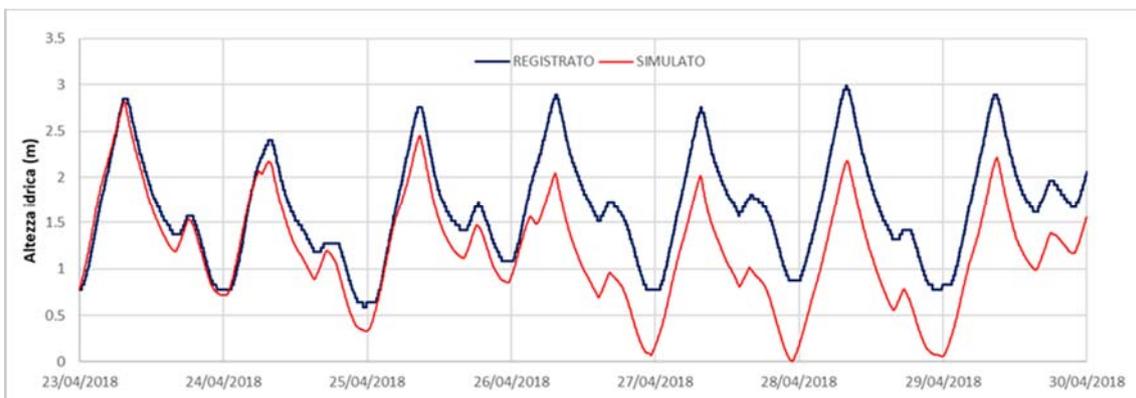


Figura 9 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio 1 di Solana a confronto tra quello simulato dal modello (in rosso) e registrato dal telecontrollo (in blu).



Figura 10 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio 2 di Solana a confronto tra quello simulato dal modello (in rosso) e registrato dal telecontrollo (in blu).

Gli andamenti sopra riportati estratti dai risultati del modello sono stati ottenuti considerando uguali tra loro sia le 3 pompe attive dell'impianto di Carmignano (CP1, CP2, CP3) sia le 4 attive di Tagli (TP1, TP2, TP3, TP4)

distinte per impianto. Le curve caratteristiche così tarate delle pompe degli impianti di Carmignano e Taggi sono riportate in Tabella 10.

Pompe impianto di Carmignano		Pompe impianto di Taggi	
Q	H	Q	H
l/s	m	l/s	m
0.00	55.00	0.00	64.00
18.65	54.99	19.00	63.98
37.30	54.98	38.00	63.89
55.95	54.93	57.00	63.65
74.60	54.81	76.00	63.24
93.25	54.59	95.00	62.59
111.90	54.21	114.00	61.67
130.55	53.64	133.00	60.44
149.20	52.83	152.00	58.86
167.85	51.71	171.00	56.89
186.50	50.23	190.00	54.49
205.15	48.32	209.00	51.64
223.80	45.93	228.00	48.30
242.45	42.97	247.00	44.44
261.10	39.37	266.00	40.01
279.75	35.06	285.00	35.00
298.40	29.97	304.00	29.36
317.05	24.00	323.00	23.07
335.70	17.07	342.00	16.10
354.35	9.10	361.00	8.42
373.00	0.00	380.00	0.00

Tabella 10 - Valori delle curve caratteristiche degli impianti di Carmignano e Taggi tarate.

Ulteriore verifica della rappresentatività della curva caratteristica tarata delle pompe in funzione nell'impianto di Carmignano è stata ottenuta confrontando direttamente la curva stessa con le registrazioni di portata (divisa per il numero di pompe in funzione essendo le pompe collegate in parallelo) e pressioni del telecontrollo misurate nella condotta di mandata del medesimo impianto. Dal grafico in Figura 11 si osserva un'ottima corrispondenza tra i dati registrati e la curva tarata.

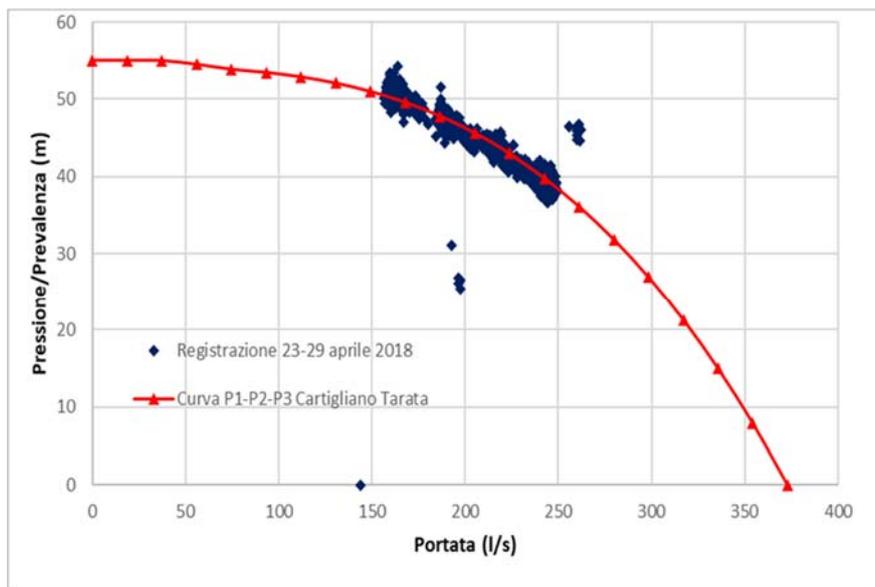


Figura 11 - Confronto tra la curva caratteristica delle pompe di Carmignano (CP1, CP2, CP3) tarata durante la fase di calibrazione del modello (in rosso) e le registrazioni del telecontrollo (in blu).

Il modello numerico e gli elementi dello stesso così calibrati sono stati utilizzati per le successive simulazioni nella configurazione di "Stato Attuale" e come base di partenza per quelle nella configurazione di "Progetto" applicando gli scenari di consumo riportati nel paragrafo 3.4.

### 4.3 Funzionamento della rete

A partire dalle registrazioni del sistema di telecontrollo della rete acquedottistica e dalle indicazioni fornite dai tecnici di ETRA e Acquevenete sono state riconosciute e delineate delle regole e logiche di funzionamento degli elementi elettromeccanici (quali pompe e valvole) per poter replicare il funzionamento della rete acquedottistica nella configurazione geometrica attuale in condizioni di consumi medi (ordinari) e massimi.

Per lo scenario di consumi medi sono state applicate le seguenti regole di funzionamento:

- nell'impianto di pompaggio di Carmignano sono attive, per tutta la durata del periodo di simulazione, 3 pompe senza alcuna regolazione (CP1, CP2, CP3);
- il bypass dell'impianto di Taggi, controllato inoltre da una valvola di non ritorno, risulta attivo solo quando tutte le pompe della stazione di rilancio sono spente;
- i serbatoi di Taggi sono controllati, relativamente alle portate in ingresso, da valvole settate per permettere il flusso con tiranti idrici dei serbatoi minori di 7,55 m per quello di sinistra e 7,60 m per quello di destra e interrompere il flusso al raggiungimento di tiranti idrici rispettivamente di 7,85 m per il serbatoio di sinistra e 8,00 m per il serbatoio di destra;
- l'impianto di pompaggio di Taggi presenta delle leggi orarie differenti per l'attacco e stacco delle 4 pompe attive dell'impianto (TP1, TP2, TP3 e TP4). TP1 e TP2 sono funzionanti dalle 00:00 am alle 2:00 am e dalle 3:30 am alle 12:59 pm; TP3 è funzionante dalle 8:00 am alle 11:00 pm; TP4 è funzionante dalle 2:00 pm alle 11:00 pm;

- il bypass dei serbatoi di Solana risulta costantemente aperto permettendo il deflusso diretto da monte a valle dei serbatoi.

Per lo scenario di consumi massimi sono state applicate le seguenti regole di funzionamento:

- nell'impianto di pompaggio di Carmignano sono attive, per tutta la durata del periodo di simulazione, 4 pompe senza alcuna regolazione (CP1, CP2, CP3, CP4);
- il bypass dell'impianto di Taggì, controllato inoltre da una valvola di non ritorno, risulta attivo solo quando tutte le pompe della stazione di rilancio risultano spente (condizione che non si verifica per questo scenario);
- i serbatoi di Taggì sono controllati, relativamente alle portate in ingresso, da delle valvole settate per permettere il flusso con tiranti idrici dei serbatoi minori di 7,55 m per quello di sinistra e 7,60 m per quello di destra e interrompere il flusso al raggiungimento di tiranti idrici rispettivamente di 7,85 m per il serbatoio di sinistra e 8,00 m per il serbatoio di destra;
- l'impianto di pompaggio di Taggì presenta attive, per tutta la durata del periodo di simulazione, 4 pompe senza alcuna regolazione (TP1, TP2, TP3 e TP4);
- il bypass dei serbatoi di Solana risulta costantemente aperto permettendo il deflusso diretto da monte a valle dei serbatoi.

Si evidenzia inoltre che, relativamente allo scenario di consumi massimi, oltre ad aumentare il numero di pompe in funzione dell'impianto di pompaggio di Carmignano (da 3 a 4) sono modificate anche le curve caratteristiche che ne riproducono le condizioni di funzionamento. Quest'ultima variazione è dettata dall'aumento della velocità di rivoluzione della girante delle pompe grazie all'ausilio di un inverter a cui sono collegate.

Per ricostruire la curva caratteristica delle pompe sotto inverter è stata modificata quella derivante dalle operazioni di calibrazione del modello mantenendo invariati i punti estremi della curva e variando il punto intermedio di "design". Così facendo è stata determinata la curva i cui valori sono riportati in Tabella 11.

Pompe impianto di Carmignano		Pompe impianto di Carmignano	
Q	H	Q	H
L/s	m	L/s	m
0.00	55.00	205.15	49.81
18.65	55.00	223.80	47.69
37.30	54.99	242.45	44.97
55.95	54.97	261.10	41.56
74.60	54.90	279.75	37.35
93.25	54.77	298.40	32.22
111.90	54.53	317.05	26.06
130.55	54.13	335.70	18.72
149.20	53.53	354.35	10.09
167.85	52.65	373.00	0.00
186.50	51.44		

Tabella 11 - Valori della curva caratteristica delle pompe sotto inverter degli impianti di Carmignano.

Per verificare la rappresentatività della curva caratteristica ottenuta quest'ultima, è stata confrontata direttamente con le registrazioni di portata (divisa per il numero di pompe in funzione) e pressioni nella condotta di mandata del medesimo impianto del telecontrollo misurate nel periodo 15-30 luglio 2018 (riconosciuto come

rappresentativo dello scenario di massimi consumi). Dal grafico in Figura 12 si osserva una buona correlazione tra i dati registrati e la curva ricostruita.

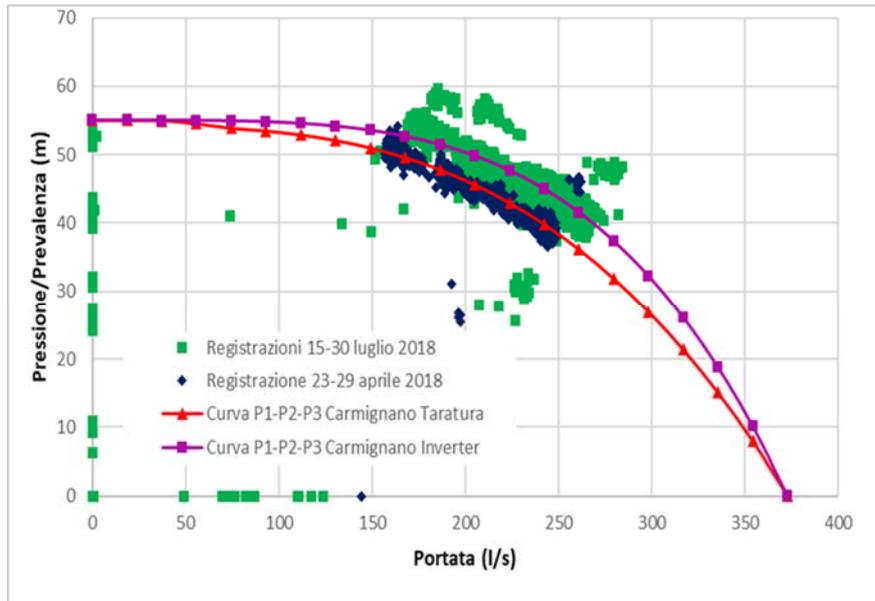


Figura 12 - Confronto tra le curve caratteristiche delle pompe di Carmignano (CP1, CP2, CP3) utilizzate per gli scenari di consumi medi (in rosso) e massimi (in viola) e le registrazioni del telecontrollo dei periodi di riferimento per gli scenari.

#### 4.4 Simulazione nella configurazione di “Stato Attuale” dello scenario di consumi medi – SIM1

La presente simulazione (SIM1) considera la configurazione geometrica della rete esistente allo stato attuale con i consumi di progetto dello scenario di consumi medi (elaborati nel capitolo 3.4), considerando la sola adduzione di Carmignano e non ulteriori interconnessioni con altri sistemi di adduzione.

Rappresentato in Figura 13 lo schema geometrico del modello numerico nella configurazione di Stato attuale utilizzato per la simulazione.

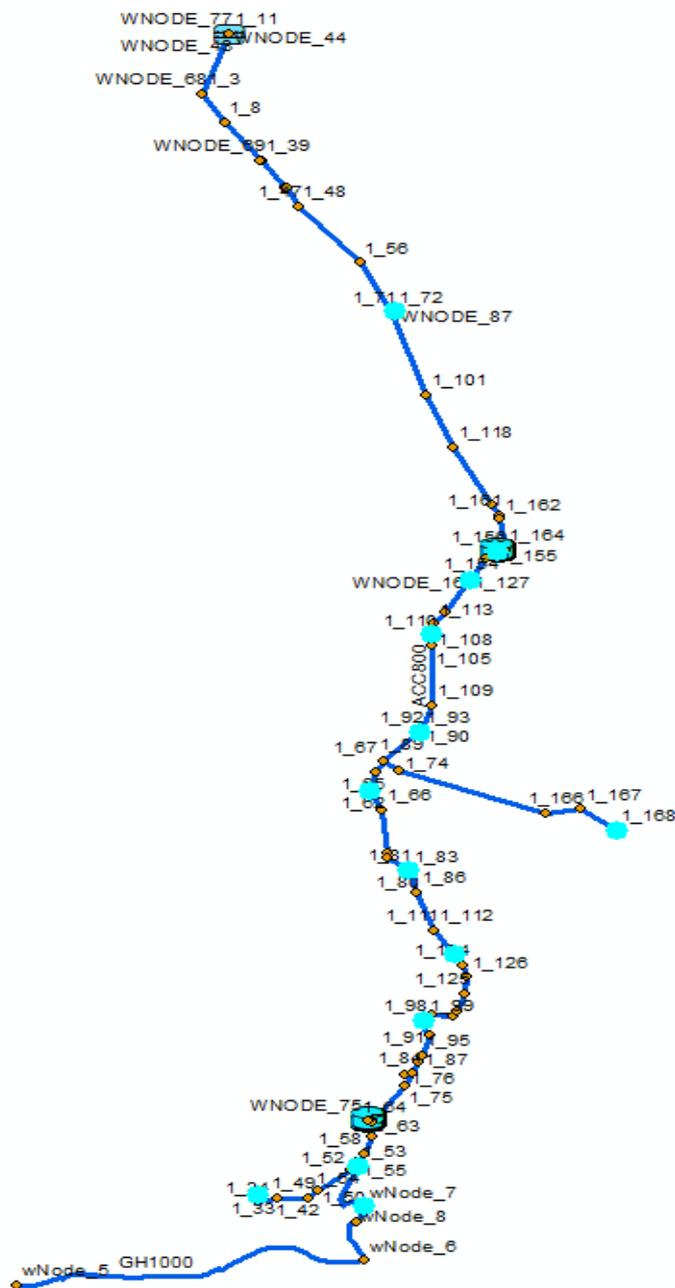


Figura 13 - Schema geometrico rappresentativo della rete di adduzione nella configurazione di "Stato Attuale" con evidenziati (in azzurro) i punti di prelievo dove sono applicati i consumi di progetto elaborati.

Applicando le logiche di controllo di sistema definite nel paragrafo 4.3 per lo scenario di consumi medi, risulta che l'attuale schema idraulico è adeguato alle esigenze della settimana media lavorando in condizioni molto prossime a quelle di massima performance.

L'andamento delle portate e delle pressioni specifico della condotta di mandata di Carmignano simulato col modello (rappresentato in Figura 14 e Figura 15) risulta conforme alle registrazioni del sistema di telecontrollo del periodo usualmente identificato come settimana di consumi medi e di conseguenza concorde col

funzionamento reale. La portata massima transitata durante la simulazione è pari a circa 730 l/s e la pressione massima (al netto di picchi dovuti ai limiti computazionali della simulazione in moto quasi-stazionario) è pari a circa 4,8 bar.

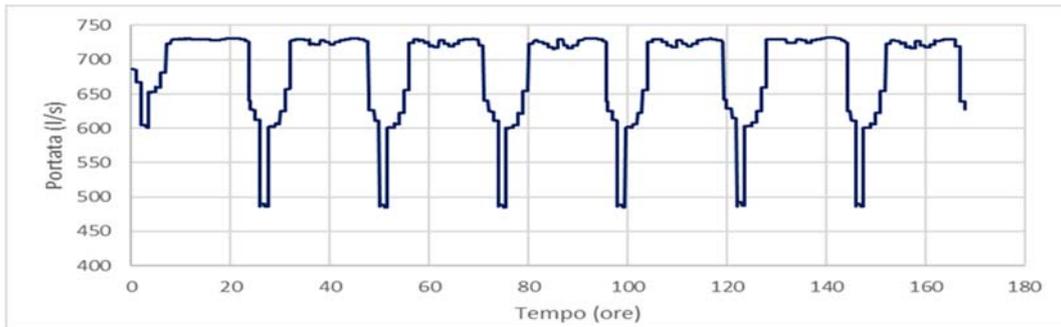


Figura 14 - Andamento delle portate nella condotta di mandata di Carmignano.

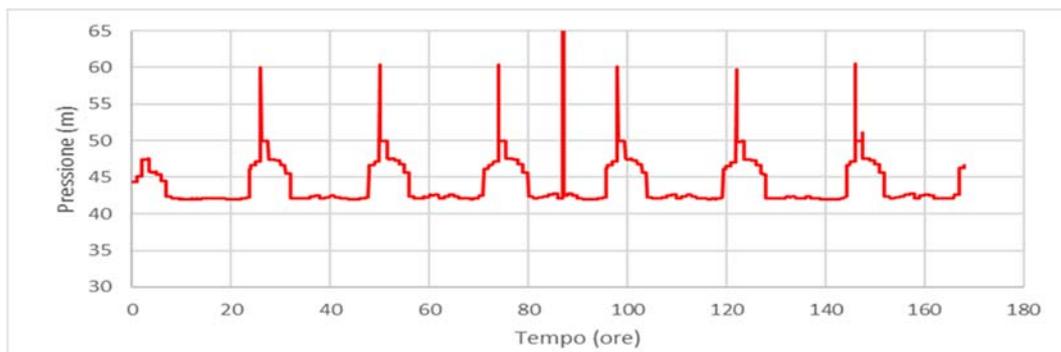


Figura 15 Andamento delle pressioni nella condotta di mandata di Carmignano.

I serbatoi di Taggì sono caratterizzati per gran parte dalla presenza del massimo livello di riempimento nel periodo di simulazione, in oscillazione massima di circa 1m. Il loro riempimento/svuotamento è comandato prevalentemente dal funzionamento delle pompe dell'impianto di Taggì a cui sono collegati direttamente (in caso di spegnimento delle pompe i serbatoi risultano isolati dal resto della rete) e da quello dell'impianto di Carmignano che li alimenta. In condizioni di consumo medio il regime dei consumi e le regole di funzionamento della rete ne determinano il ridotto sfruttamento.

Per quanto riguarda l'andamento dei serbatoi di Solana (pressoché equivalente per i due serbatoi), il cui livello idrico è fortemente condizionato dalle pressioni in rete (essendo realizzati ad una quota sopraelevata rispetto a quella di posta della rete e sprovvisti di stazioni di rilancio), è caratterizzato da un'oscillazione del livello su base giornaliera di circa 3 m e appare in equilibrio su base settimanale. Quest'ultimi vengono quindi sfruttati maggiormente rispetto a quelli di Taggì . In Figura 16 è rappresentato a titolo di esempio l'andamento del primo serbatoio.

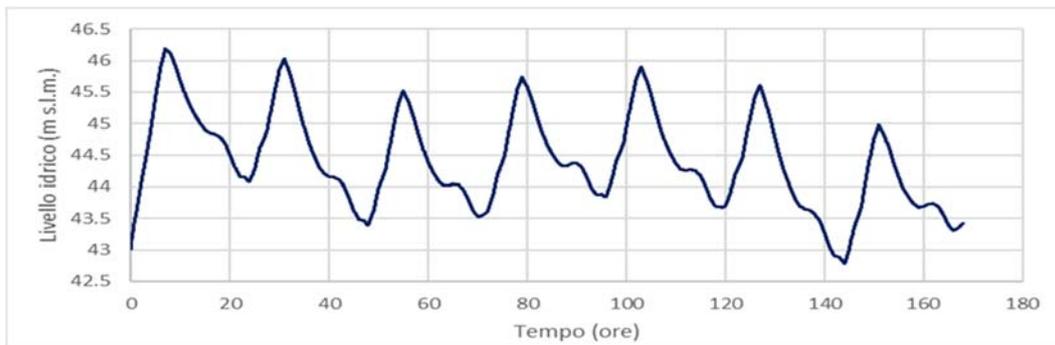


Figura 16 Andamento dei livelli idrici del serbatoio 1 di Solana.

#### 4.5 Simulazione nella configurazione di "Stato Attuale" dello scenario di consumi massimi – SIM2

La simulazione SIM 2, la quale riporta la configurazione geometrica della rete esistente allo stato attuale imponendo i consumi massimi (elaborati nel capitolo 3.4), considera, come la precedente, la sola adduzione di Carmignano e non ulteriori interconnessioni con altri sistemi di adduzione.

Al modello numerico sono state applicate le logiche di gestione definite nel paragrafo 4.3 per lo scenario di consumi massimi e le curve caratteristiche delle pompe sotto inverter individuate nello stesso paragrafo dell'impianto di Carmignano.

In questo scenario di consumi massimi, nonostante aver impostato le pompe di Carmignano al regime massimo di funzionamento, i serbatoi di Taggi e Solana presentano un andamento dei livelli idrici in calo, svuotandosi completamente prima della fine della simulazione. Gli andamenti dei livelli idrici dei serbatoi suddivisi per impianto risultano pressoché coincidenti a meno di piccole differenze e di seguito vengono riportati quelli rappresentativi di un serbatoio per impianto (Figura 17 e Figura 18).

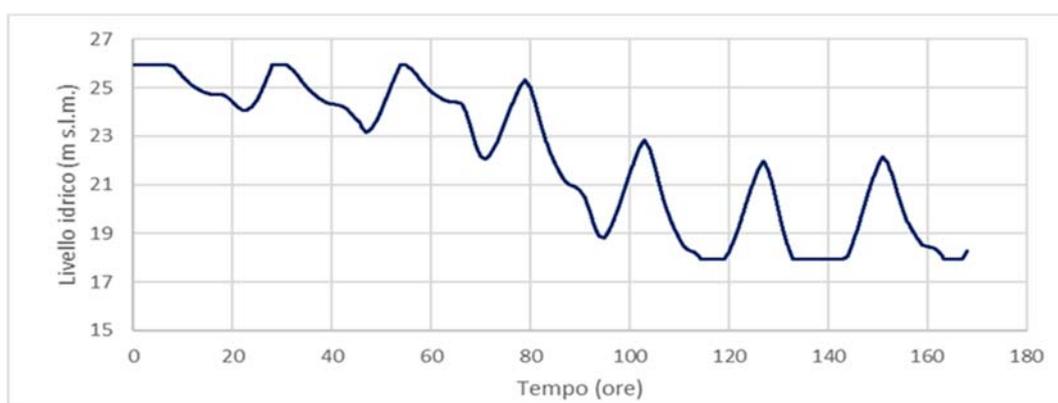


Figura 17 Andamento dei livelli idrici del serbatoio dx (quasi coincidente con il serbatoio sx) di Taggi.

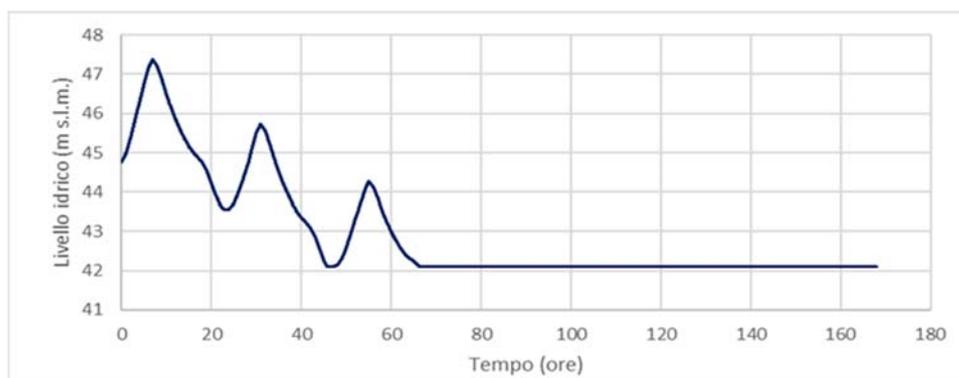


Figura 18 Andamento dei livelli idrici del serbatoio 1 (quasi coincidente con il serbatoio 2) di Solana.

Il sistema esistente risulta quindi, senza l'utilizzo di apporti esterni all'adduttrice di Carmignano, sottodimensionato per circa il 5% del fabbisogno complessivo riferito ai consumi di progetto individuati nel paragrafo 3.4 per lo scenario dei consumi massimi (in Tabella 12 si riportano a confronto i valori dei consumi dello scenario di consumi massimi e ridotti del 5%). Ad oggi tale deficit è bilanciato da contributi esterni all'adduzione oggetto di studio, essendo il sistema acquedottistico interconnesso in vari punti con altre reti.

N° punto	Descrizione	Qg,max 2018 (l/s)	Qg,max-RID5% 2018 (l/s)
Etra 1	Piazzola	39,43	37,46
Etra 2	Limena	37,05	35,20
Etra 3	Bindelle	93,46	88,79
Etra 4	Palù	37,97	36,07
Etra 5	Scapacchiò	4,72	4,48
Etra 6	Circuito Monero	114,25	108,54
Etra 7	San Daniele	63,82	60,63
Etra 8	Catajo	10,29	9,78
Etra 9	Battaglia Teme	16,24	15,43
CVS 1	Via Tasso	67,24	63,88
	Monselice Nord	97,81	92,92
	Monselice Sud	97,81	92,92
CVS 4	Laghetti Este	132,61	125,98
<b>Totale generale</b>		<b>812,70</b>	<b>705,24</b>

Tabella 12 – Consumi massimi e consumi sostenibili dal sistema acquedottistico nella config. di Stato Attuale.

#### 4.6 Configurazione di "Progetto"

Le simulazioni di seguito riportate rappresentano il risultato dell'attività modellistica finalizzata alla verifica della configurazione geometrica e funzionale di "Progetto" della rete da considerare come punto di partenza e di supporto per la progettazione delle nuove opere.

Le molteplici configurazioni simulate per entrambi gli scenari di consumi nel corso delle fasi di studio (prima di giungere a quelle scelte come definitive e riportate nel presente documento) hanno permesso di valutare e comprendere il comportamento idraulico del sistema acquedottistico modellato, il quale presenta una notevole

complessità in quanto fortemente vincolato al funzionamento degli impianti di pompaggio che influenzano significativamente le portate (immesse a Carmignano e rilanciate a Taggi) e le pressioni presenti in rete.

Dalle simulazioni dello "Stato Attuale" è apparso evidente che l'impianto di sollevamento di Carmignano risulta essere un elemento di elevata variabilità nell'ambito del funzionamento del modello numerico, lavorando in condizioni massime di funzionamento sulla base dei dati in possesso (per esempio si generano dei fenomeni di oscillazione delle portate massime a causa delle oscillazioni delle pressioni in rete).

Per attenuare l'incertezza e la variabilità di funzionamento dell'intera rete dovuta alla condizione limite di operatività dell'impianto di pompaggio di Carmignano, si è quindi deciso di modificarne la rappresentazione nel modello numerico utilizzato per le simulazioni con la configurazione di "Progetto", sostituendo le pompe dello stesso con 4, di cui una di riserva, di uguali peculiarità. Queste sono state caratterizzate con la curva caratteristica ricostruita a 3 punti (di cui i valori di targa/progetto sono  $Q=275$  l/s e  $H=75,30$ ) e controllate sia con un limitatore di portata a 850 l/s sia relativamente alla velocità di rivoluzione della girante (ipotizzandole sotto inverter) imponendo un setpoint di pressione massime nella condotta di mandata a 7 bar.

La configurazione di "Progetto", risultato di una serie di affinamenti successivi, prevede l'estensione della rete esistente per poter servire i comuni del territorio Montagnanese ed Estense. La connessione della nuova porzione della rete all'esistente deve integrare un elemento per il sostegno delle pressioni a monte (nel modello numerico costituito dalla valvola PSV- Pressure Sustaining Valve) per le seguenti ragioni:

- nella condotta a monte del nodo di interconnessione Esistente-Progetto di Ponso sono presenti degli stacchi diretti (non presidiati) a delle utenze che necessitano di una pressione al nodo di derivazione non inferiore a quella presente nel sistema attuale (di circa 2,7 bar);
- la PSV garantisce il caricamento dei serbatoi di Solana (fortemente condizionati nel loro grado di riempimento dalla pressione in rete) innalzando la piezometrica a monte di Ponso; la mancata installazione della PSV porterebbe ad un assestamento della linea piezometrica sul livello del serbatoio di progetto di Montagnana non consentendo l'invaso a Solana.

La rete è dotata di una stazione di pompaggio in corrispondenza del serbatoio in progetto a Montagnana che rilancerà i volumi stoccati nel serbatoio stesso; inoltre, per assicurare il caricamento del serbatoio di Cori-Alonte, si è potenziato l'impianto booster di Fornetto con l'installazione di una linea dedicata all'alimentazione del serbatoio. La nuova unità di sollevamento di Montagnana deve assicurare il sollevamento di circa 150 l/s con prevalenza di 60 m mentre il potenziamento del Booster di Fornetto deve rilanciare la portata pari a circa 5 l/s e con una prevalenza pari a 15m.

Inoltre, è stata prevista per assicurare una corretta distribuzione dei volumi idrici evitando maggiori apporti verso i serbatoi più vicini alla stazione di rilancio e/o con quote di regolazione inferiori, l'installazione di valvole di controllo della portata (nel modello numerico FCV - Flow Control Valve) in corrispondenza delle diramazioni dell'adduttrice verso i serbatoi esistenti nei comuni a valle del serbatoio in progetto. Le FVC sono installate in ingresso ai serbatoi esistenti ed il loro valore di settaggio è differente per i due scenari di consumi simulati. I set point delle FCV correlati alla domanda idrica del centro abitato servito dal serbatoio sono indicati in Tabella 13.

Serbatoio	Scenari	
	Consumi medi	Consumi massimi
	Q-FCV (l/s)	Q-FCV (l/s)
Montagnana	51,0	75,0
Pojana	12,0	17,5
Noventa V. 2	4,0	6,5
Cagnano	7,0	10,5
Asigliano	5,0	7,5

Tabella 13 - Settaggi delle valvole FCV a valle del serbatoio di Montagnana in progetto.

Rispetto alla configurazione esistente la geometria di progetto è stata così ulteriormente implementata:

- posa di una tubazione DN800 in ghisa dal nodo idraulico di Ponso al serbatoio di Progetto di Montagnana per circa 9 km;
- costruzione di due serbatoi a terra di capacità complessiva di 10.000 m<sup>3</sup> al nodo di progetto di Montagnana;
- collegamento della stazione di sollevamento di progetto al serbatoio esistente di Montagnana ed al nodo idraulico di Pojana mediante la posa di circa 11.7 km di tubazione in ghisa sferoidale DN600;

Per garantire il funzionamento dello schema idraulico in condizioni di progetto è stato necessario operare alcuni ulteriori perfezionamenti della rete esistente; in merito sono state esaminate due possibili diverse opzioni quali:

- potenziamento del rilancio esistente di Taggi: questa opzione ha il vantaggio di modificare solo le componenti elettromeccaniche dell'impianto esistente; lo svantaggio è un aumento delle pressioni di esercizio della rete esistente lungo il primo tratto di condotta a valle del sollevamento e del consumo energetico;
- inserimento di un sollevamento in linea aggiuntivo (booster) a monte del serbatoio di Solana: tale soluzione è preferibile da un punto di vista delle pressioni in rete e del consumo energetico; per contro richiede di individuare un sito adeguato al nuovo sollevamento in termini catastali, di connessione elettrica, ecc.;

Come alternativa di riferimento, considerata per le simulazioni di seguito riportate, si è scelto quella che prevede l'inserimento di un booster a monte dei serbatoi di Solana. Il criterio di selezione che ha indotto la preferenza fa riferimento ai minori consumi energetici legati all'inferiore portata da rilanciare rispetto a quella in transito alla stazione di Taggi.

In fine, tra le indicazioni per la progettazione emerse in questa fase iterativa di affinamento del modello, è importante evidenziate che per consentire il corretto funzionamento della rete, è necessario intervenire in alcuni tratti della tubazione esistente:

- la tubazione DN 400 a valle dell'attraversamento FFSS a Monselice deve essere sostituita aumentando il diametro nominale a 700 mm per una lunghezza di circa 300 m, al fine di ridurre le perdite di carico;
- la tubazione esistente DN 100 a valle dell'ultimo stacco a Monselice denominato Monselice Sud deve essere cambiata aumentando il diametro nominale a 700 mm per una lunghezza di circa 750 m, al fine di ridurre le perdite di carico.

#### 4.7 Simulazione nella configurazione di "Progetto" dello scenario di consumi medi – SIM3

Facendo riferimento alla configurazione di "Progetto" descritta nel precedente paragrafo 4.6 si riportano di seguito i risultati della simulazione dello scenario di consumi medi di progetto (paragrafo 3.4) considerando la sola adduzione di Carmignano e non ulteriori integrazioni.

Come già premesso, la configurazione prevede l'implementazione della rete esistente con un impianto di pompaggio in linea a monte dei serbatoi di compenso di Solana dimensionato per poter assicurare portate di circa 350 l/s e prevalenza pari a circa 20 m.

Per la presente simulazione non sono state imposte regole di accensione/spegnimento alle pompe degli impianti di Carmignano e Taggi che risultano quindi funzionanti in continuo.

In uscita dalla condotta di mandata dell'impianto di Carmignano si osservano delle portate massime che raggiungono il limite di concessione di 850 l/s. I serbatoi di Taggi risultano pressoché colmi durante l'intera durata della simulazione mentre quelli di Solana oscillano di circa 2,5 m mantenendo alla fine della simulazione in una condizione generale di stabilità.

Risulta stabile anche l'andamento del livello idrico interno del serbatoio di Montagnana in progetto che nonostante oscilli di circa 2 m al termine del periodo di simulazione si attesta circa in condizioni pari a quelle iniziali.

L'ipotesi funzionale progettuale di poter usufruire del volume di compenso del serbatoio in progetto di Montagnana nella settimana simulata è stata verificata osservando, dall'andamento dei livelli idrici interni, che il serbatoio viene caricato nelle ore di calo dell'idroesigenza. Tuttavia, si segnala che per il suo corretto funzionamento il sistema deve assicurare in ingresso una portata minima costante di circa 60 l/s con dei picchi notturni di circa 200 l/s.

In Figura 19, Figura 20, Figura 21 e Figura 22 sono riportati gli andamenti nel tempo delle portate misurate nella condotta di mandata di Carmignano, del livello idrico del serbatoio di sinistra di Taggi, del livello idrico del serbatoio 1 di Solana, del livello idrico del serbatoio di Montagnana in Progetto.

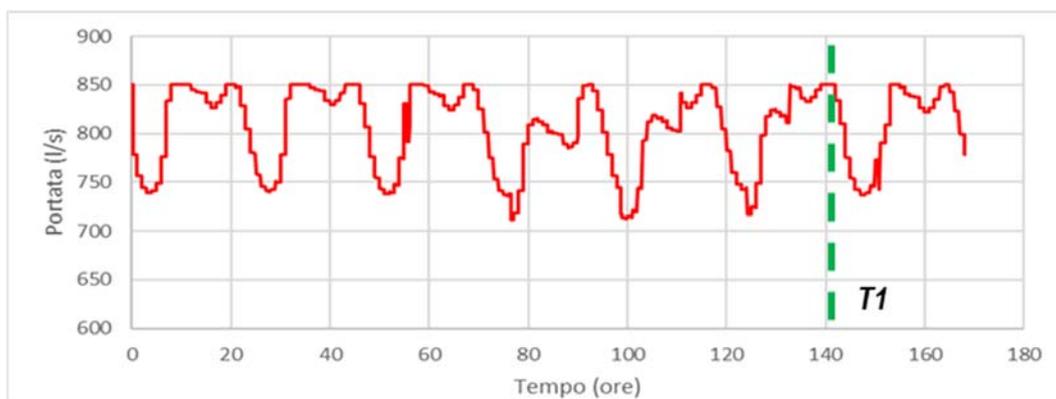


Figura 19 - Andamento delle portate nella condotta di mandata di Carmignano con indicato in verde l'istante temporale rappresentato nel profilo longitudinale di seguito.

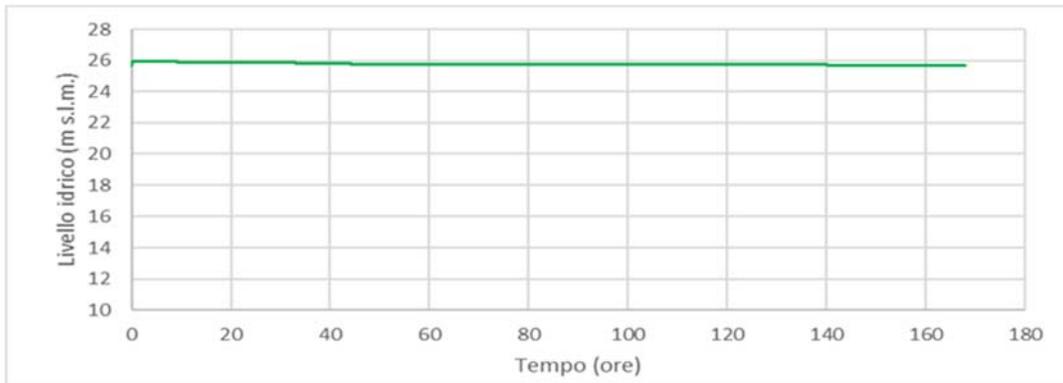


Figura 20 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio dx (quasi coincidente con il serbatoio sx) di Taggi.

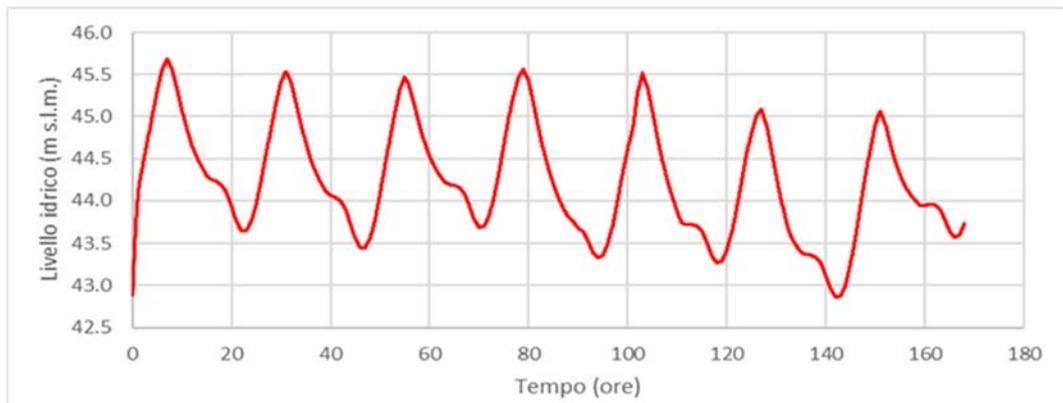


Figura 21 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio 1 (quasi coincidente con il serbatoio 2) di Solana.

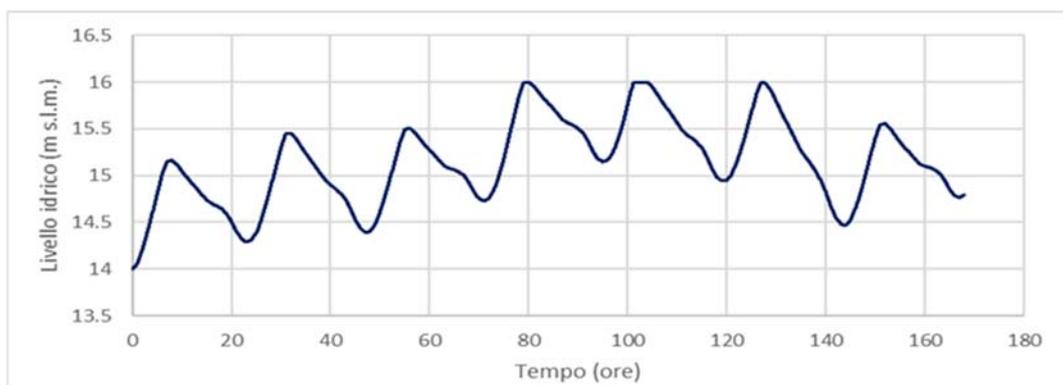


Figura 22 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio di Montagnana in Progetto.

Inoltre, in Figura 23 è rappresentato l'andamento lungo il profilo longitudinale della rete (dalla stazione di pompaggio di Carmignano al serbatoio di Cori-Alonte) del profilo piezometrico e delle portate in rete nell'istante T1 di immissione della portata massima da Carmignano.

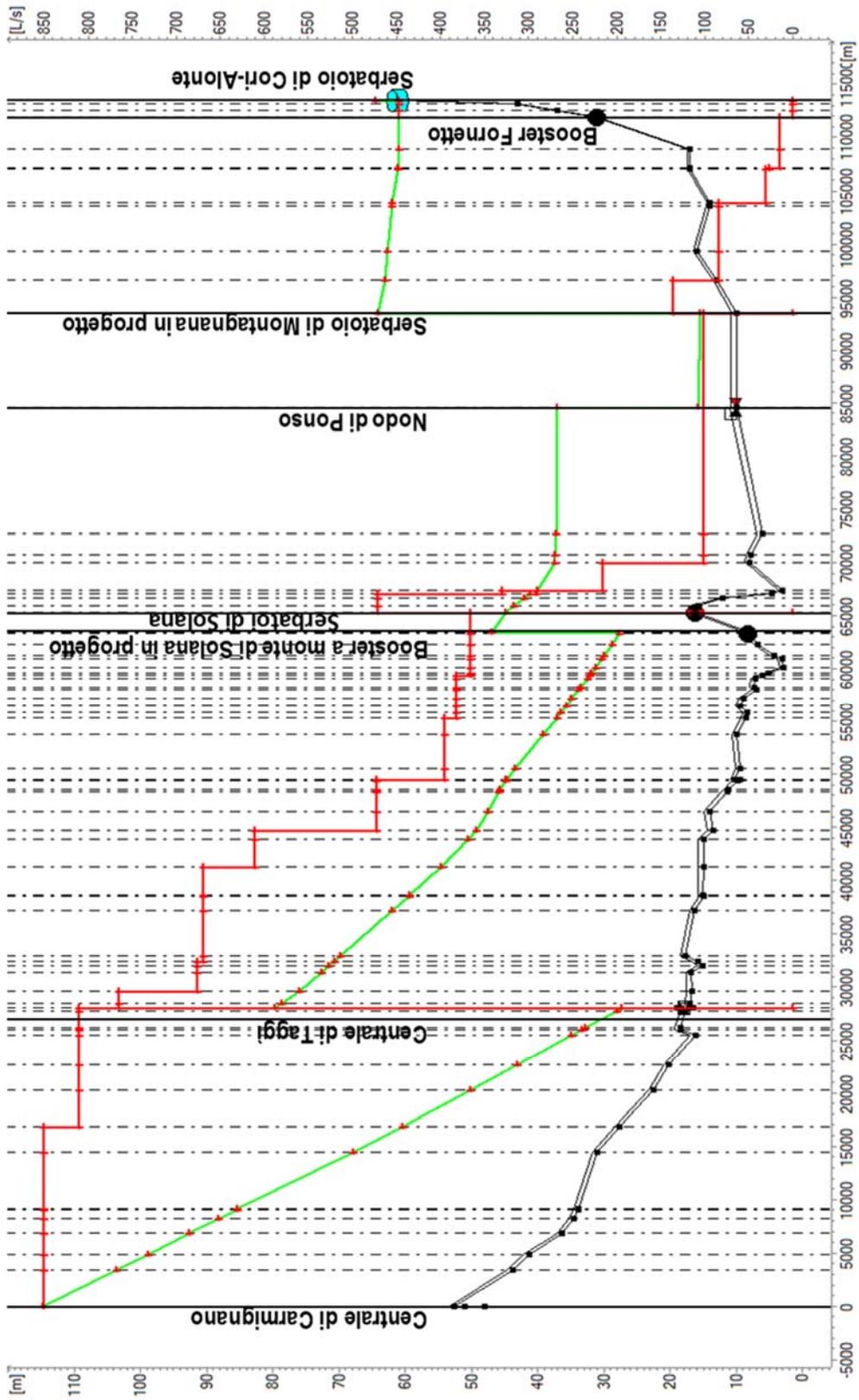


Figura 23 - Profilo piezometrico (in verde) e delle portate transitanti in rete (in rosso) all'istante T1.

#### 4.7.1 Integrazione delle portate immesse nel sistema da Piacenza d'Adige

A completare l'analisi dello stesso scenario dei consumi medi, è stata esaminata la possibilità di integrare parte delle portate richieste per coprire il fabbisogno idrico dalla centrale di Piacenza d'Adige.

La configurazione geometrica e le logiche di funzionamento applicate al modello numerico risultano le stesse della simulazione precedente (con riferimento al paragrafo 4.6) a meno della massima portata impostata per l'impianto di Carmignano che, potendo contare sull'apporto da Piacenza d'Adige, verrà ridotta con l'obiettivo di ottimizzare lo sfruttamento del serbatoio di compenso di Taggì (che nella simulazione precedente risultava non funzionale alla rete).

Le portate integrative di Piacenza d'Adige sono immesse in rete nel nodo idraulico di Ponso a valle del manufatto per il sostegno delle pressioni del sistema a monte con i seguenti parametri caratteristici:

- 200 l/s portata massima nominale e 180 l/s di portata massima disponibile di integrazione;
- distribuzione oraria giornaliera: 23:00 – 07:00 => 130 l/s (apporto notturno) e 7:00 – 23:00 => 80 l/s (apporto diurno).

Grazie all'apporto di portate da Piacenza d'Adige è possibile garantire l'idroesigenza richieste e la corretta operatività della rete riducendo le portate massime (settaggio del limitatore di portata) immesse nel sistema dall'impianto di pompaggio di Carmignano a circa 770 l/s.

Dai risultati della simulazione si osserva che:

- la portata in transito nella condotta di mandata dell'impianto di Carmignano (costantemente operativo) risulta stabile nel periodo di simulazione e pari al limite imposto di 770 l/s;
- il range delle pressioni nella condotta di mandata dell'impianto di Carmignano è compreso tra i 5 bar massimi e i 4,5 bar minimi;
- l'andamento del pelo libero dei Serbatoi di Taggì risulta stabile nella settimana e presenta delle oscillazioni di circa 3 m;
- l'andamento del pelo libero dei Serbatoi di Solana risulta stabile, anch'esso con livelli idrici equivalenti all'inizio e alla fine del periodo di simulazione, con oscillazioni giornaliere di circa 2,5 m;
- l'andamento del pelo libero del serbatoio in progetto di Montagnana risulta stabile come gli altri presentando delle oscillazioni giornaliere di circa 2 m.

In Figura 24, Figura 25, Figura 26 e Figura 27 sono riportati gli andamenti nel tempo delle pressioni misurate nella condotta di mandata di Carmignano, del livello idrico del serbatoio di sinistra di Taggì, del livello idrico del serbatoio 1 di Solana, del livello idrico del serbatoio di Montagnana in Progetto.

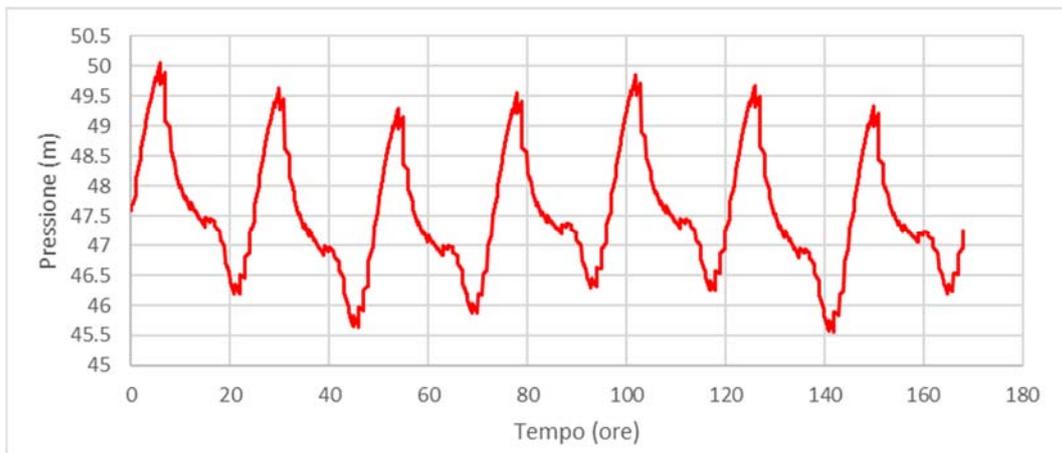


Figura 24 - Andamento delle pressioni nella condotta di mandata di Carmignano.

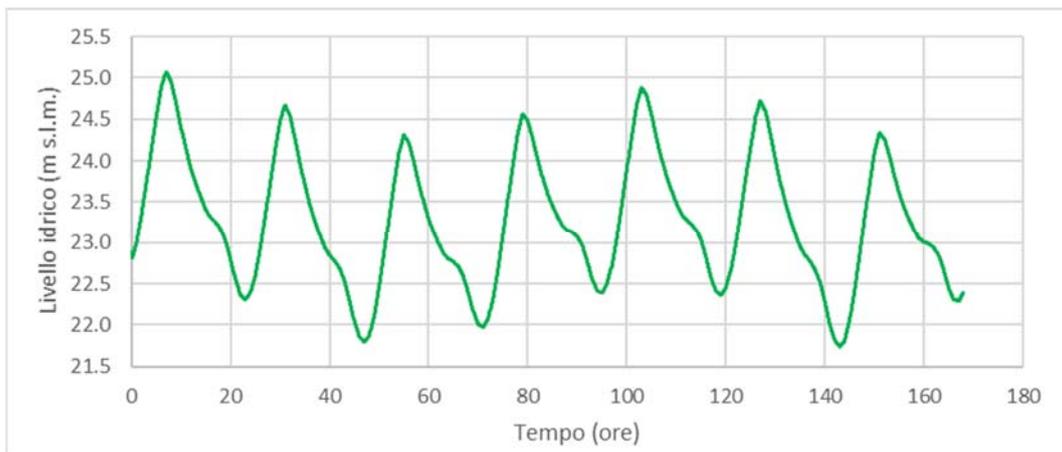


Figura 25 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio dx (quasi coincidente con il serbatoio sx) di Taggi.

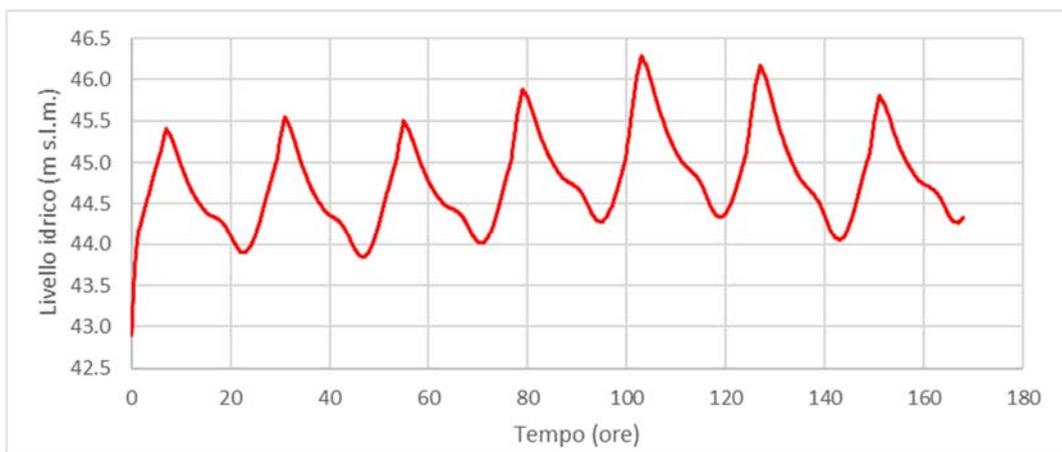


Figura 26 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio 1 (quasi coincidente con il serbatoio 2) di Solana.

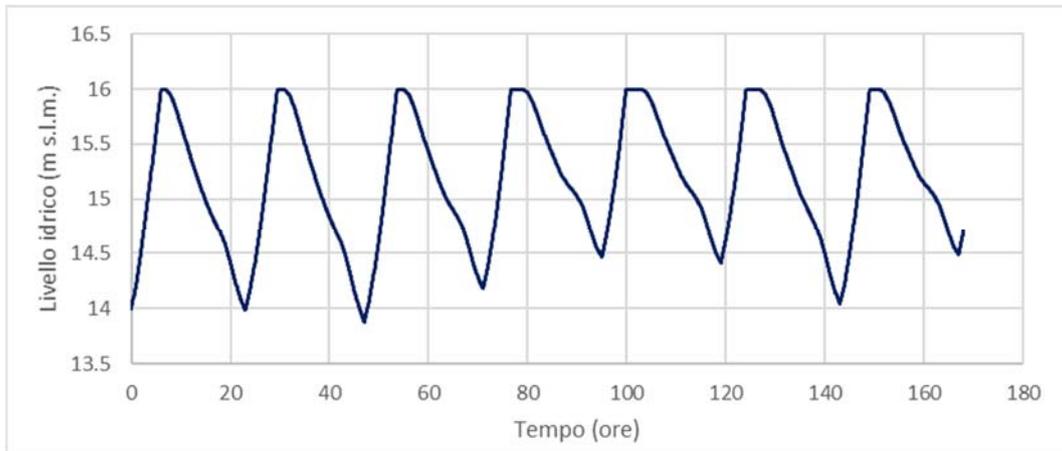


Figura 27 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio di Montagnana in Progetto.

Si osserva che l'andamento delle pressioni e delle portate simulato nella condotta di mandata della stazione di pompaggio di Carmignano risulta simile quantitativamente ai valori registrati dal sistema di telecontrollo nel periodo dal 23/04/2018 al 29/04/2018 riconosciuto come associabile allo scenario dei consumi medi.

Inoltre, in Figura 28 è rappresentato l'andamento lungo il profilo longitudinale della rete (dalla stazione di pompaggio di Carmignano al serbatoio di Cori-Alonte) del profilo piezometrico e delle portate in rete nell'istante iniziale di immissione della portata massima da Carmignano.

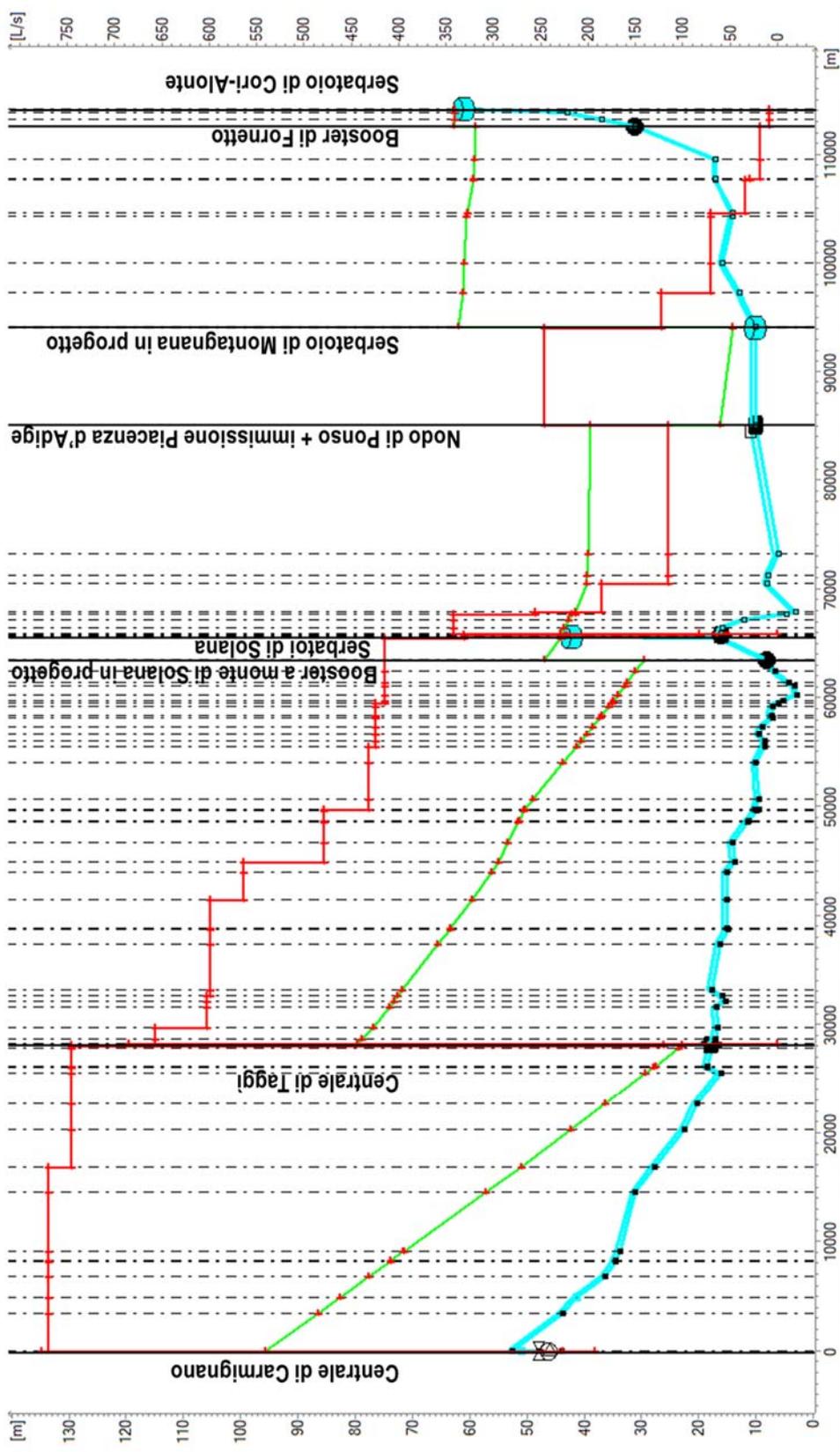


Figura 28 - Profilo piezometrico (in verde) e delle portate transitanti in rete (in rosso) all'istante iniziale.

#### 4.8 Simulazione nella configurazione di "Progetto" dello scenario di consumi massimi- SIM4

Per lo scenario di consumi massimi, che rappresenta il requisito di idroesigenza più gravoso per il sistema acquedottistico, essendo già critico nella configurazione di "Stato Attuale" (paragrafo 4.5) la sola immissione di portata di Carmignano, nella configurazione di "Progetto" si prevede di integrare le fonti di portata asservite al sistema con la adduzione della Centrale di Piacenza d'Adige come già considerato anche nel paragrafo 4.7.1..

Le portate supplementari di Piacenza d'Adige sono immesse in rete nel nodo idraulico di Ponso a valle del manufatto per il sostegno delle pressioni del sistema a monte con i seguenti parametri caratteristici:

- 200 l/s portata massima nominale e 180 l/s di portata massima disponibile di integrazione;
- distribuzione oraria giornaliera: 23:00 – 07:00 => 130 l/s (apporto notturno) e 7:00 – 23:00 => 80 l/s (apporto diurno).

Dai risultati di una prima simulazione, utilizzando le geometrie e i settaggi della SIM3 emerge che il sistema presenta un deficit delle portate immesse, il quale comporta un mancato compenso dei consumi e stabilizzazione dell'andamento del riempimento/svuotamento dei serbatoi lungo la rete.

Tramite l'esecuzione di simulazioni successive si è determinato che aggiungendo all'apporto di Piacenza d'Adige precedentemente definito la portata costante di 12 l/s è possibile ottenere il corretto funzionamento dello schema idraulico in progetto. Tale contributo si ritiene debba essere individuato tra le possibili interconnessioni della rete esistente, come già evidenziato per la condizione di stato attuale.

Di seguito in Figura 29, Figura 30, Figura 31, Figura 32 e Figura 33 sono riportati, estratti dalla simulazione che all'integrazione di Piacenza d'Adige combina una portata costante di 12 l/s, gli andamenti nel tempo delle portate e pressioni misurate nella condotta di mandata di Carmignano, del livello idrico del serbatoio di sinistra di Taggi, del livello idrico del serbatoio 1 di Solana, del livello idrico del serbatoio di Montagnana in Progetto.

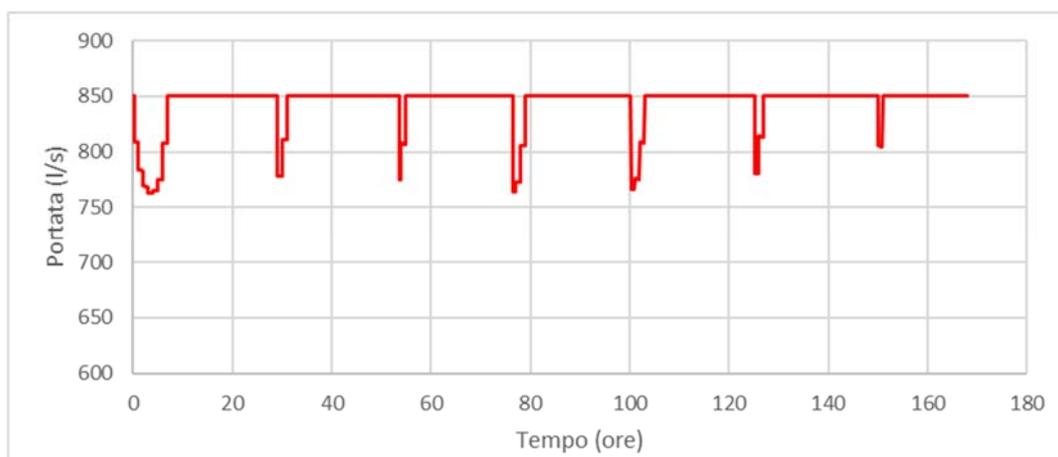


Figura 29 - Andamento delle portate nella condotta di mandata di Carmignano.

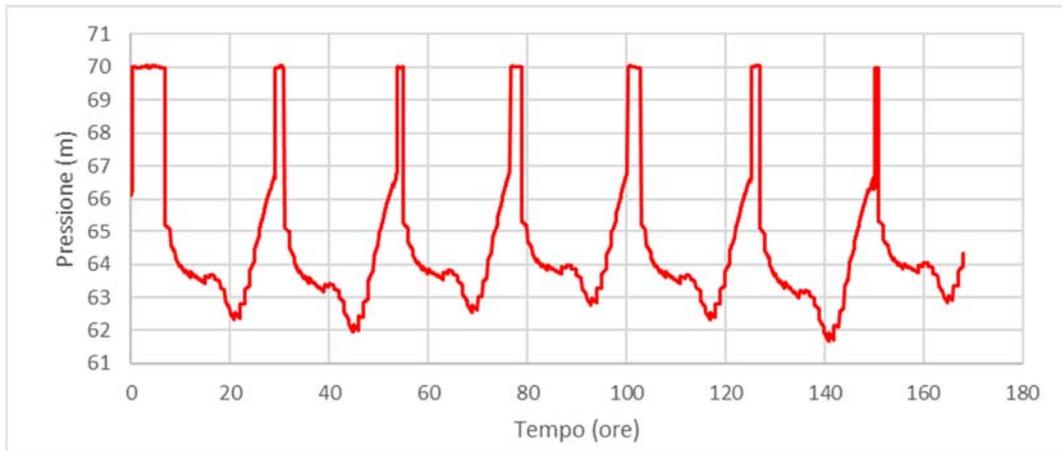


Figura 30 - Andamento delle pressioni nella condotta di mandata di Carmignano.

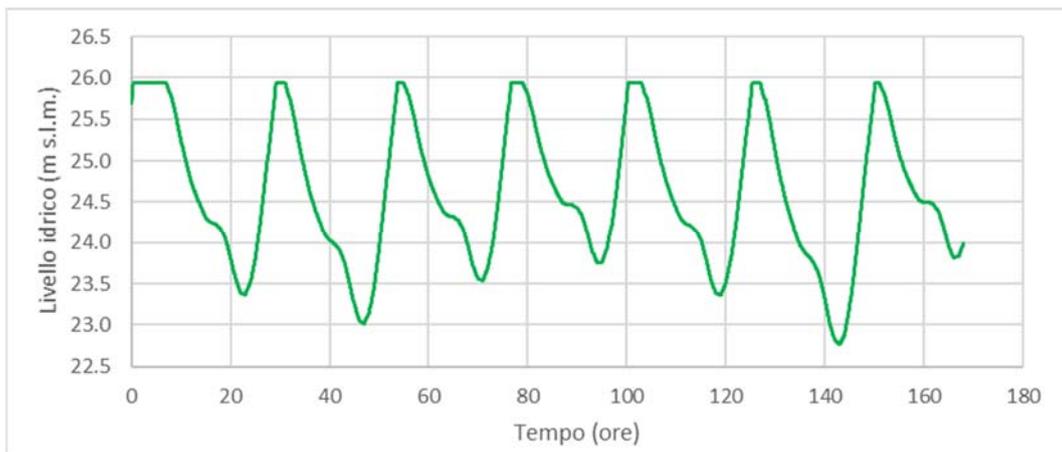


Figura 31 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio dx (quasi coincidente con il serbatoio sx) di Taggi.

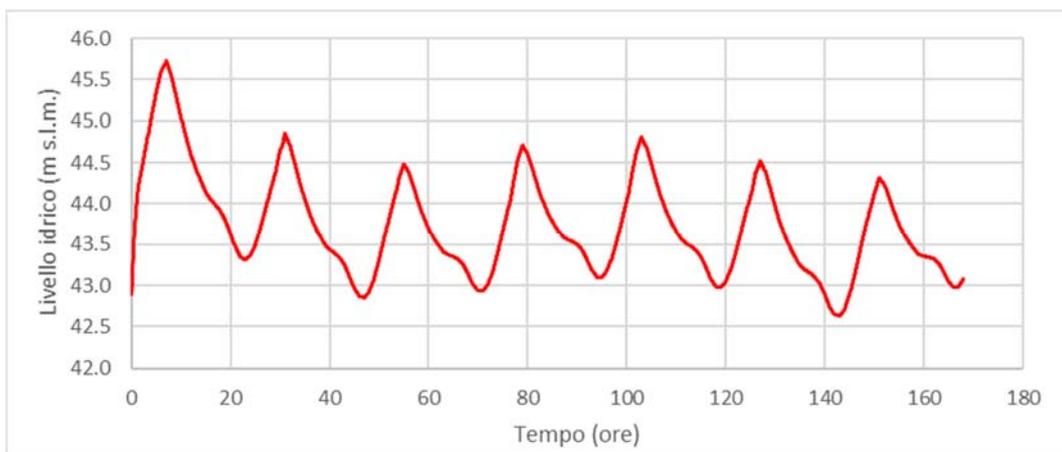


Figura 32 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio 1 (quasi coincidente con il serbatoio 2) di Solana.

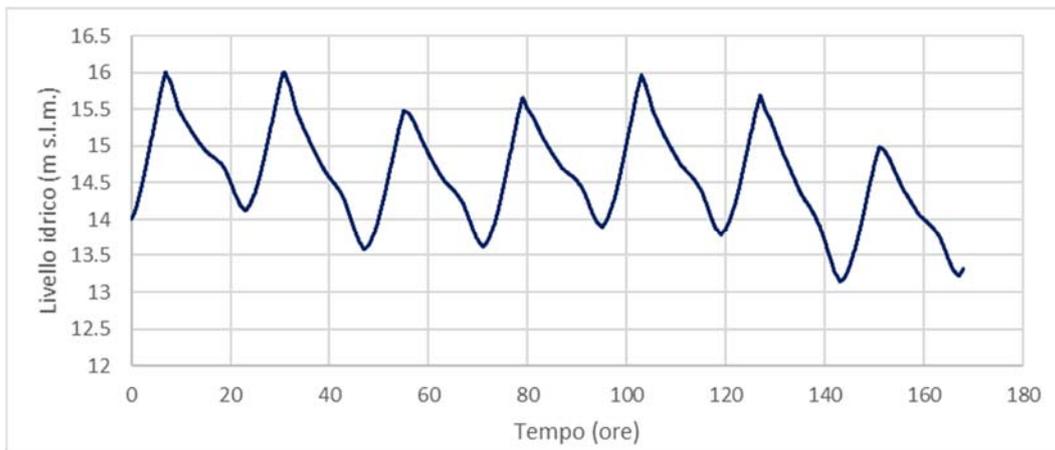


Figura 33 - Andamento dei livelli idrici del serbatoio di Montagnana in Progetto.

Per soddisfare l'idroesigenza dello scenario di consumi massimi, la centrale di Carmignano deve riuscire a sollevare quasi costantemente la portata limite di concessione di 850 l/s mantenendo in rete una pressione media di 6,5 bar.

I serbatoi di Taggi e Solana forniscono al sistema i volumi di compenso che la rete necessita per soddisfare i picchi di consumo facendo oscillare i loro livelli idrici che mantengono un andamento stabile nel tempo.

Anche il serbatoio di Montagnana in progetto presenta un andamento dei livelli del pelo libero stabile sulla settimana che al netto delle oscillazioni giornaliere torna a valori vicini a quelli iniziali.

In Figura 34 è rappresentato l'andamento lungo il profilo longitudinale della rete (dalla stazione di pompaggio di Carmignano al serbatoio di Cori-Alonte) del profilo piezometrico e delle portate in rete nell'istante iniziale di immissione della portata massima da Carmignano.

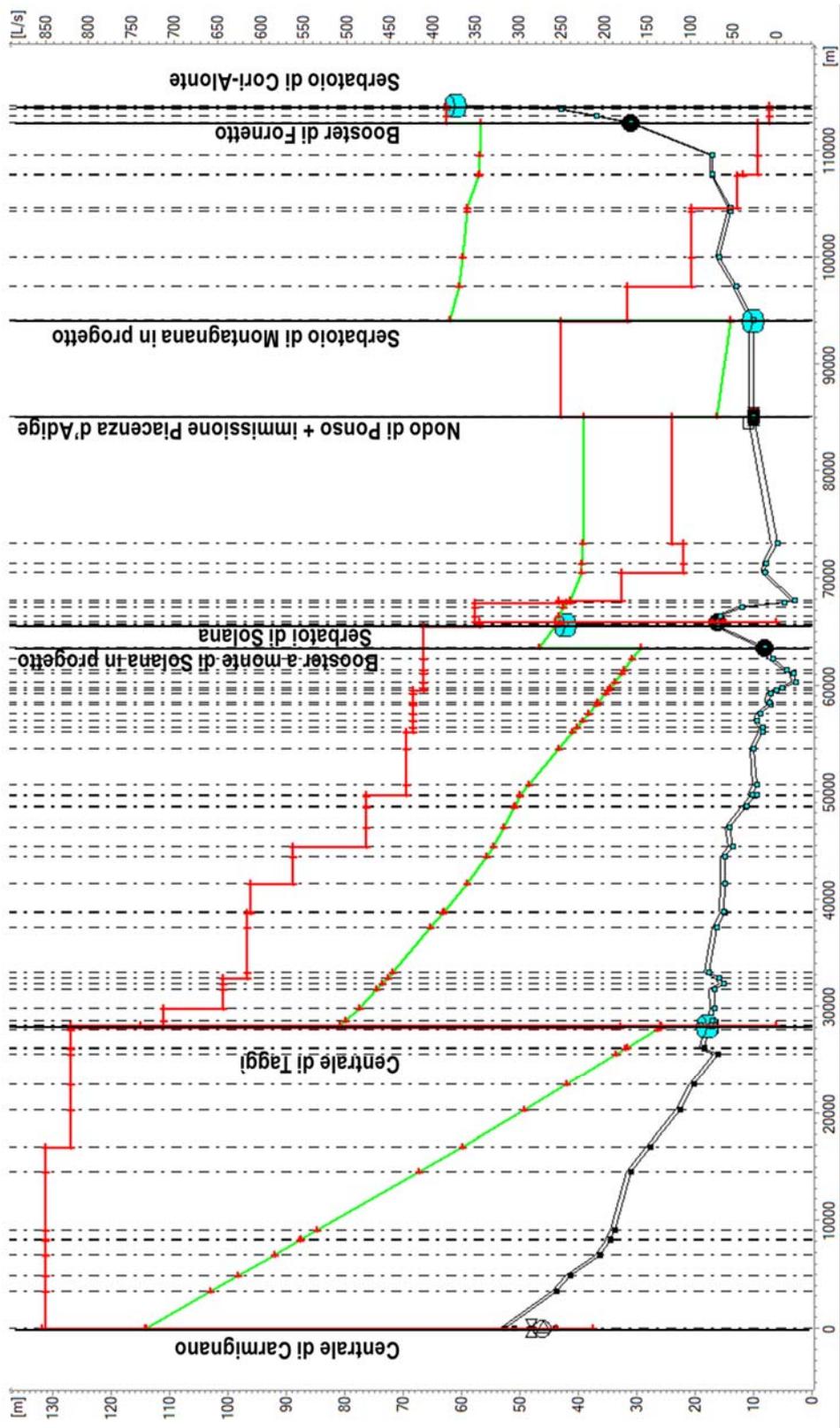


Figura 34 - Profilo piezometrico (in verde) e delle portate transitanti in rete (in rosso) all'istante iniziale.

## 5. CONCLUSIONI

### 5.1 Aspetti progettuali emersi dalle modellazioni idrauliche

Dalle modellazioni idrauliche da un lato si confermano nella sostanza i dimensionamenti delle opere condotti in fase di progettazione preliminare, dall'altro emerge la necessità di integrare tale progetto di infrastrutturazione tramite alcuni interventi atti a raggiungere la funzionalità idraulica ottimale sia lungo la rete gestita da ETRA, sia lungo la parte gestita da Acquevenete, essi sono:

- la tubazione esistente DN 400 mm a valle dell'attraversamento FFSS a Monselice deve essere cambiata aumentando il diametro nominale a 700 mm, al fine di ridurre le perdite di carico;
- per garantire il funzionamento dello schema idraulico in condizioni di progetto, ovvero una volta realizzate le opere previste, è necessario operare alcune ulteriori perfezionamenti della rete esistente; tra le possibili diverse opzioni si segnala quella di inserimento di un sollevamento in linea aggiuntivo (booster) a monte del serbatoio di Solana: tale soluzione è preferibile da un punto di vista delle pressioni in rete e del consumo energetico; per contro richiede di individuare un sito adeguato al nuovo sollevamento in termini catastali, di connessione elettrica, ecc..

Da un punto di vista gestionale, invece, per far fronte ai consumi massimi di progetto e ottimizzare il regime di funzionamento del serbatoio di Taggè è necessario prevedere l'integrazione delle portate immesse nel sistema da Piacenza D'Adige e da altra fonte sia in condizioni di progetto ordinarie, sia a maggior ragione in occasione dei picchi di massimo consumo.

Per quanto riguarda infine il nodo del sollevamento di Carmignano, quest'ultimo appare sottodimensionato, ovvero sembra lavorare (in relazione al grado di conoscenza delle pompe effettivamente installate raggiunto dagli scriventi) al di sopra del punto di design ottimale delle pompe.

Il modello idraulico predisposto evidenzia che tale funzionamento influenza negativamente il comportamento di tutta la rete, inficiando la continuità e la robustezza delle performance e quindi il grado di affidabilità complessivo.

Si consiglia quindi di approfondire le modalità effettive di funzionamento rispetto ai dati caratteristici delle pompe e valutare una sostituzione con apparecchiature maggiormente performanti.

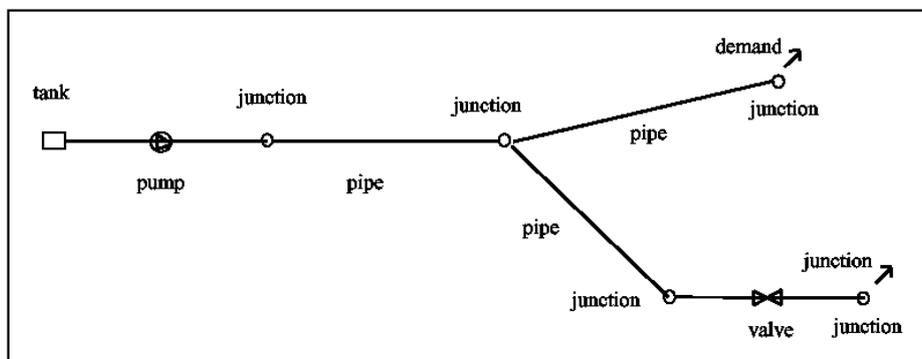
ALLEGATO 1 - Il codice di calcolo MIKE Urban



## 1. PREMESSA

Il motore di calcolo di MIKE Urban WD (Water Distribution) è un codice di calcolo evoluto per la simulazione della distribuzione delle pressioni e delle portate in condizioni stazionarie e per la simulazione su un periodo di tempo esteso (tipicamente 24 ore) del comportamento idraulico e dello stato della qualità dell'acqua in una rete acquedottistica. Il modello, attraverso simulazioni su periodo esteso, è in grado di determinare la portata in ogni collettore, la pressione in ogni nodo della rete, l'altezza d'acqua in ogni serbatoio e la concentrazione di soluti presente in rete. Risulta inoltre possibile valutare in ogni nodo il tempo di permanenza dell'acqua in rete e la provenienza nel caso di apporti da diverse fonti di adduzione.

La rete di distribuzione è rappresentata da una serie di elementi (links) connessi tra loro in corrispondenza dei loro punti estremi chiamati nodi (junctions). Nella figura seguente è riportato un esempio di rete schematizzata con il modello.



Gli elementi (links) che compongono il sistema sono i seguenti:

- collettori (pipes);
- sistemi di pompaggio (pumps);
- valvole di regolazione (valves).

I nodi (junctions), oltre a individuare i punti di connessione tra due o più collettori, rappresentano anche:

- punti di consumo o erogazione d'acqua (demand nodes);
- punti di alimentazione (source nodes);
- vasche o serbatoi (storage nodes: tanks, reservoirs).

Il calcolo delle perdite di carico può essere effettuato utilizzando una delle seguenti note formulazioni, a cui sono associati i corrispondenti coefficienti di scabrezza:

- formula di Hazen-Williams;
- formula di Darcy-Weisbach;
- formula di Chezy-Manning.

I collettori possono contenere valvole di controllo con le seguenti funzioni:

- consentire il flusso in una specifica direzione;
- chiusura o apertura a tempo predeterminato;
- chiusura o apertura quando il livello in un serbatoio supera o scende al di sotto di una certa soglia predefinita;
- chiusura o apertura quando la pressione in un nodo supera o scende al di sotto di un certo valore.

I sistemi di pompaggio sono in grado di determinare un aumento localizzato del carico idraulico totale attraverso l'introduzione della "curva caratteristica" della pompa.

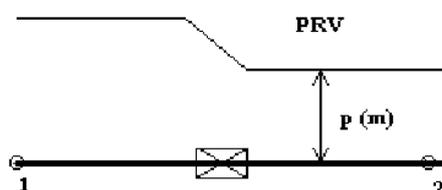
I sistemi di pompaggio, per i quali il flusso è sempre unidirezionale e nel campo di valori specificato dalla curva caratteristica, possono includere sistemi di controllo con le seguenti funzioni:

- chiusura o apertura a tempo predeterminato;
- chiusura o apertura quando il livello in un serbatoio supera o scende al di sotto di una certa soglia predefinita;
- chiusura o apertura quando la pressione in un nodo supera o scende al di sotto di un certo valore.

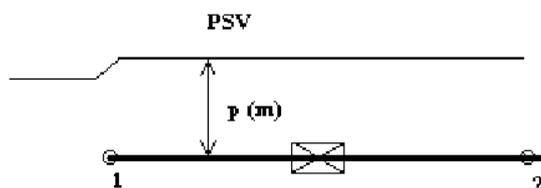
Possono infine essere considerate anche pompe a velocità di rotazione variabile, per le quali la curva caratteristica diventa funzione della velocità, che a sua volta può essere condizionata da un sistema di controllo analogo a quello sopra specificato.

Insieme alle valvole di controllo nei collettori (che però possono solo essere o aperte o chiuse), possono essere anche rappresentate valvole di regolazione della pressione o della portata in nodi specifici della rete. Queste valvole sono considerate come collegamenti di lunghezza trascurabile tra due specifici nodi, rispettivamente di monte e di valle. Possono essere simulati i seguenti tipi di valvole:

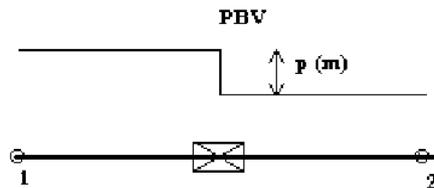
- Pressure Reducing Valve (PRV) – Valvola di riduzione della pressione: impone una pressione a valle predefinita quando a monte la pressione è superiore a tale valore; se la pressione a monte risulta inferiore al valore predefinito, la portata defluente nella valvola non viene modificata; se la pressione a valle supera quella a monte la valvola si chiude;



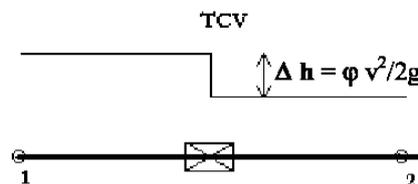
- Pressure Sustaining Valve (PSV) – Valvola di sostegno della pressione di monte: mantiene una pressione minima a monte quando la pressione a valle risulta inferiore a tale valore; se la pressione di valle supera tale valore, la portata defluente nella valvola non viene modificata; se la pressione a valle supera quella a monte la valvola si chiude;



- Pressure Breaker Valve (PBV) – Valvola con perdita di carico assegnata: induce una perdita di pressione costante predefinita; il flusso può avvenire in entrambe le direzioni;



- Flow Control Valve (FCV) – Valvola di controllo della portata: limita la portata defluente nella valvola ad un valore predefinito; il programma invia un messaggio di avvertimento se questo valore di portata non può essere mantenuto senza dover considerare un carico idraulico addizionale a monte della valvola stessa;
- Throttle Control Valve (TCV) – Valvola a regolazione manuale: simula una valvola parzialmente chiusa introducendo un coefficiente di perdita localizzata; la relazione tra il grado di chiusura della valvola e la perdita di carico risultante è generalmente disponibile nei cataloghi delle case costruttrici;



- General Purpose Valve (FCV) – Valvola a regolazione variabile: garantisce la simulazione di dispositivi e situazioni in cui risulta univoca la relazione tra portata e perdita di carico come ad esempio le valvole di smorzamento delle sovrappressioni, le turbine, l'effetto di abbassamento della piezometrica in corrispondenza di un pozzo di emungimento.

Perdite di carico localizzate causate dalla turbolenza indotta da curve, giunzioni, valvole, misuratori di portata ecc. possono essere associate ad ogni collettore e valvola, in funzione dell'importanza relativa di tali perdite di carico nell'ambito della rete in esame e del grado di accuratezza richiesto nelle simulazioni del comportamento della rete stessa.

Ai nodi della rete occorre assegnare la quota sul livello del mare (in modo che il modello possa determinare il contributo al carico idraulico fornito dalle differenze di quota altimetrica) e il consumo o erogazione di acqua per l'intero arco di tempo simulato.

I serbatoi (tanks e reservoirs) sono tipi speciali di nodo "a pelo libero" in corrispondenza dei quali il carico idraulico coincide con la quota assoluta del livello d'invaso.

Il codice di calcolo utilizza un modello idraulico di simulazione su periodo esteso che risolve il seguente sistema di equazioni in ogni nodo "s" della rete rappresentante un serbatoio (tank o reservoir):

$$\begin{cases} \partial y_s / \partial t = Q_s / A_s \\ Q_s = \sum_i Q_{is} - \sum_j Q_{sj} \\ h_s = E_s + y_s \end{cases}$$

insieme alle seguenti equazioni per ogni collegamento (tra i nodi "i" e "j") e ogni nodo "k":

$$h_i - h_j = f(Q_{ij})$$

$$\sum_i Q_{ik} - \sum_i Q_{kj} - Q_k = 0$$

Per risolvere questo sistema di equazioni lineari viene impiegato un metodo iterativo altamente efficiente e veloce noto come "metodo del gradiente".

MIKE URBAN WD è composto inoltre da 3 moduli add-on che possono essere caricati all'interno del menù del Model Manager:

- WD-Tools
- WD-Water Hammer
- WD-On line

## 2. MIKE URBAN WD – Tools

Il modulo WD-TOOLS comprende:

- Calibrazione automatica (Pipe Roughness Calibration);
- Simulazione delle norme anti-incendio (Fire Flow Analysis);
- Schemi di controllo basati su regole operative (Proportional Integrated Differential Control).

Il modulo Pipe Roughness Calibration modifica automaticamente i coefficienti di scabrezza delle tubazioni, in modo da riprodurre correttamente i dati di pressione misurati e/o creare la migliore configurazione necessaria nella rete. I coefficienti di scabrezza possono essere calcolati secondo le formulazioni di Hazen-Williams, Darcy-Weisbach (Colebrook-White), o Manning.

Il modulo Fire Flow Analysis permette il calcolo della disponibilità di portata per le richieste anti-incendio. Il modulo permette di calcolare la disponibilità di portata in funzione della pressione di progetto o di calcolare la pressione residua per la portata di progetto. Sono disponibili due metodologie principali di simulazione e verifica della portata anti-incendio:

- nota la portata anti-incendio di progetto, calcolare la pressione disponibile per tale portata;
- specificata la pressione di progetto per la portata anti-incendio, calcolare la portata disponibile a quella pressione.

Il modulo PID (Proportional-Integral-Differential) Control permette di realizzare avanzate simulazioni di controllo in tempo reale (RTC), permettendo la simulazione di diversi dispositivi di controllo regolati indipendentemente anche da complesse regole operative. Possono essere simulati i seguenti dispositivi di controllo:

- valvole (PRV-Pressure Reducing Valve, PSV-Pressure Sustaining Valve, PBV Pressure Breaker Valve, TCV-Throttle Control Valve, FCV-Flow Control Valve);
- pompe.

Con il modulo Variable Speed Drive è possibile inserire una pompa a velocità o a stato variabile durante la simulazione. In pratica, la pompa può variare la propria frequenza rotazionale o il suo stato di servizio (aperta o chiusa) al fine di mantenere in un determinato nodo della rete la pressione al valore prefissato.

### 3. MIKE URBAN WD – Water Hammer

Il modulo WH permette la simulazione dei transitori idraulici (fenomeno del colpo d'ariete) in una rete di distribuzione di qualsiasi forma e dimensione e la modellazione accurata di differenti elementi idraulici quali serbatoi di accumulo, valvole di chiusura e regolazione, casse d'aria, pompe ecc.

Il modulo WH permette, in particolare:

- l'analisi delle fasi di avviamento e stacco di sistemi di pompaggio;
- Il dimensionamento di casse d'aria e serbatoi di compenso delle sovrappressioni;
- la prevenzione dagli effetti di sovraccarico della rete mediante l'ottimizzazione delle manovre sulle pompe e sulle valvole;
- la verifica del rischio di cavitazione nel sistema di distribuzione;
- l'analisi del sistema in caso di black-out e progettazione delle misure di intervento.

WH utilizza uno schema implicito di ordine elevato per la risoluzione delle equazioni di continuità e di conservazione della quantità di moto basato su un metodo alle differenze finite. L'interfaccia grafica fornisce avanzate applicazioni per la definizione, il layout ed il controllo dei dati di ingresso e la presentazione dei risultati nel formato richiesto. WH risulta estremamente versatile ed applicabile per analisi idrauliche di qualsiasi dimensione e complessità.

### 4. MIKE URBAN WD – ON LINE

Il modulo on-line permette l'accoppiamento tra il modello numerico ed il sistema SCADA, garantendo all'operatore la possibilità di ottimizzare il funzionamento della rete dal punto di vista idraulico, della qualità dell'acqua e degli aspetti economici.

Il modulo riceve in tempo reale i dati dal sistema SCADA e lancia una simulazione in tempo reale per l'analisi del comportamento del sistema e/o la risposta della rete ad un determinato evento (rotture, cali di pressione ecc.). I risultati della simulazione possono essere ricaricati sul sistema SCADA e visualizzati sui monitor HMI.

Analogamente il modello può essere utilizzato in modalità off-line per la verifica di scenari alternativi e la scelta della migliore configurazione: in questo caso i dati SCADA possono essere utilizzati per la verifica del comportamento della rete e l'individuazione delle problematiche presenti.

### 5. MIKE URBAN WD – Campi di applicazione

MIKE URBAN WD consente di fornire soluzioni ad una vasta gamma di problematiche inerenti alla distribuzione idrica, quali:

- progettazione dettagliata, gestione e simulazione di sistemi di approvvigionamento e distribuzione idrica;
- analisi idraulica e della qualità dell'acqua per reti di acquedotto;
- dimensionamento di collettori, serbatoi, valvole ecc.;
- ottimizzazione delle zone di pressione;
- verifica dei transitori idraulici (colpo d'ariete);
- riduzione delle perdite;
- ottimizzazione del sistema e dei consumi energetici per il sollevamento;
- determinazione della concentrazione e decadimento del cloro;

- simulazione di traccianti e concentrazione di inquinanti;
- analisi on-line delle reti di approvvigionamento e di distribuzione idrica;
- sviluppo pianificato delle strutture e dei sistemi antincendio.