



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile
A.A. 2021/2022
Sessione di Laurea Marzo 2022

**Modellazione numerica della rete irrigua
del sub-comprensorio Nord Fortore del
Consorzio per la Bonifica della Capitanata
di Foggia**

Relatore:
Prof. Fulvio Boano

Correlatore:
Ing. Gianluca Bigoni

Candidato:
Bruno Di Nunzio

Abstract

The thesis developed within Schneider Electric, a company I had the opportunity to work with, and it proposes the modeling of a water network, specifically the irrigation network system of the “Consorzio per la Bonifica della Capitanata di Foggia”, with the aim to support the optimization of the operation of the network and consequently to improve the service reducing the management cost.

The core of the thesis involved the construction and the calibration of the numerical model of the irrigation network. The goodness of the results was evaluated by a comparing between simulated data and field measurements, which are known from a remote-control system, in a day of high consumption.

In the first part of the thesis the design dimensioning criteria and the management of the network nowadays have been analyzed, in particular the attention has been focused on the modified irrigation needs and on the modalities of hydraulic functioning.

In the second part, the construction of the topological scheme of the network was carried out using the QGIS (QuantumGIS) software and subsequently the characterization of the hydraulic parameters and the calibration of the irrigation network using the AQUIS software (by Schneider Electric).

Finally, in the third part, with reference to different scenarios, the possible functionalities of the numerical model were assessed which allow to verify the operating conditions of the network (trend of the flow to be delivered upstream according to downstream requests, distribution of pressures in the network and delivery points), which ensure compliance with the service conditions to be guaranteed.

Sommario

Introduzione.....	3
CAPITOLO 1: Il Consorzio per la Bonifica della Capitanata e la rete irrigua	4
1.1 Ente gestore.....	4
1.2 La rete irrigua: criteri di dimensionamento progettuali	5
1.3 Caratteristiche della rete	8
1.4 Il comprensorio del distretto n.10	10
1.5 Il comprensorio del distretto n.9	11
1.6 Il comprensorio del distretto n.11	14
CAPITOLO 2: Problematiche di gestione della rete irrigua	16
2.1 Modifiche nei fabbisogni irrigui	16
2.2 La gestione della rete oggi	17
2.3 Il sistema di telecontrollo del Consorzio per la Bonifica della Capitanata di Foggia	19
CAPITOLO 3: Il modello numerico della rete irrigua	23
3.1 Software utilizzati	23
3.1.1 QGIS.....	23
3.1.2 AQUIS.....	24
3.2 Costruzione del modello della rete irrigua.....	35
3.2.1 Prima fase: Realizzazione dello schema topologico della rete	35
3.2.2 Seconda fase: Importazione schema topologico della rete su AQUIS e caratterizzazione idraulica.....	49
3.3 Calibrazione del modello della rete irrigua.....	60
3.3.1 Prima fase: Verifica congruenza del modello e calibrazione domanda all’utenza ..	62
3.3.2 Seconda fase: Modellazione valvola ACV (Altitude Control Valve).....	71
CAPITOLO 4: Funzionalità del modello numerico della rete irrigua.....	77
4.1 Valutazione andamento portata da disporre a monte (Ripartitore Finocchito).....	77
4.2 Verifica della pressione di esercizio sulle prese comiziali	80
4.2.1 Risultati	85
Conclusioni.....	86
APPENDICE 1	89
APPENDICE 2	117
APPENDICE 3	136
Bibliografia.....	146

Introduzione

È ormai consapevolezza condivisa che l'acqua è una risorsa limitata ed è necessario salvaguardarla. La sua disponibilità disuniforme nel tempo e nello spazio non coincide con le esigenze d'uso, pertanto, tramite le opere di accumulo, approvvigionamento, adduzione e distribuzione, tale risorsa è resa disponibile per i diversi usi, in funzione delle diverse esigenze. In virtù del costo delle opere e del valore della risorsa acqua, diventa fondamentale la capacità di assicurare l'ottimale distribuzione, condizione che risulta tanto meglio realizzabile quanto più i sistemi di approvvigionamento, adduzione e distribuzione risultano "flessibili" in fase di gestione e dunque di esercizio.

In particolare, l'uso irriguo si differenzia dagli altri utilizzi, quale quello potabile, innanzitutto per i volumi in gioco (l'uso irriguo impegna il 50% delle risorse idriche utilizzate) ed inoltre esso deve sopportare periodi di siccità e disponibilità differenziate nel tempo, a differenza del potabile il cui uso è prioritario nel senso che deve essere sempre soddisfatto con un grado di sicurezza elevato.

Pertanto risulta fondamentale un adattamento dell'efficienza degli impianti, anche in considerazione dell'età di realizzazione degli stessi su presupposti progettuali che si sono modificati nel tempo al variare delle esigenze d'uso. Adeguamento che si può ottenere asservendo le opere idrauliche ad un sistema di telecontrollo, teleregolazione ed autoregolazione, ove è da intendersi con telecontrollo la possibilità di avere delle informazioni complete sul funzionamento della rete in tempo reale, con teleregolazione la possibilità di effettuare regolazione a distanza ed infine con autoregolazione l'opportunità, al verificarsi di determinate condizioni, di autoregolare le modalità di esercizio della rete.

La tesi analizza la gestione di una rete irrigua esistente nel Nord della Regione Puglia, in Provincia di Foggia, nella parte settentrionale del Tavoliere, considerando l'ottimizzazione della distribuzione in riscontro alle esigenze degli utenti, assicurando nel contempo la riduzione degli sprechi d'acqua da sfioro o da perdita, con l'implementazione di un sistema di telecontrollo e di un modello numerico della rete idraulica.

L'analisi verrà approfondita in riferimento alla costruzione ed alla calibrazione del modello numerico della rete irrigua, verificandone la bontà con l'introduzione di scenari di funzionamento che riproducono modalità di funzionamento giornaliero in periodi di massimo consumo realmente rilevati in una stagione irrigua di riferimento.

CAPITOLO 1: Il Consorzio per la Bonifica della Capitanata e la rete irrigua

1.1 Ente gestore

Il Consorzio per la Bonifica della Capitanata di Foggia è un Ente di diritto pubblico ai sensi del R.D. n.251/1933, costituito con il D.P.R. del 10 maggio 1965.

È a base associativa in cui gli organi di amministrazione sono eletti dagli stessi consorziati ossia coloro che sono proprietari di immobili inclusi nel comprensorio e sono obbligati a pagare i contributi consortili. Quindi una forma di gestione in cui risulta concretamente applicato il principio di sussidiarietà, ovvero i soggetti che fruiscono del servizio sono gli stessi che ne hanno il governo.

Esso si sviluppa entro i limiti amministrativi della provincia di Foggia e si estende su 37 comuni, comprendendo gran parte del Tavoliere delle Puglie e parte dell'area collinare del sub-Appennino Dauno.

Più dell'80% della superficie del comprensorio è caratterizzata da un'utilizzazione del suolo di tipo "agricolo". Le colture più coltivate sono i cereali (grano duro) che interessano più del 50% della superficie agricola utilizzata (SAU), seguiti da colture arboree, vite, olivo e pesco, per circa il 15% e da pomodoro, asparago e carciofi per la restante percentuale [1, 2].

Ad oggi, dunque, uno dei principali scopi del Consorzio è quello di fornire, ai consorziati, i volumi d'acqua necessari per la coltivazione delle colture sopra citate.

A partire dalla sua istituzione, il Consorzio per la Bonifica della Capitanata, ha attraversato quattro importanti fasi:

- 1) Risanamento del territorio (bonifica)
- 2) Trasformazione fondiaria (colonizzazione)
- 3) Valorizzazione territoriale (irrigazione)
- 4) Difesa dell'ambiente

L'intero territorio di Capitanata si è presentato per secoli come un'estesa pianura povera di insediamenti umani, attraversato da torrenti secchi d'estate e quasi sempre in piena nei mesi invernali, causa delle frequenti inondazioni responsabili dei pantani che favorivano la diffusione della malaria e rendevano inospitali tali aree.

Nella prima fase, ossia nel periodo tra le due guerre, si sviluppò l'idea della bonifica di queste tipologie di territori, affidata ai Consorzi di Bonifica. Nel 1933 venne costituito il Consorzio Generale per la Bonifica e la Trasformazione Fondiaria della Capitanata, divenuto Consorzio per la Bonifica della Capitanata nel 1965.

I primi interventi effettuati furono perlopiù di carattere idraulico ed avevano lo scopo di recuperare le aree paludose mediante la sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e delle reti di scolo, attraverso il prosciugamento delle aree paludose e la regimazione idraulica delle acque meteoriche.

Nella seconda fase vennero realizzate opere infrastrutturali che portarono successivamente a processi di colonizzazione del territorio (borgate e appoderamenti). Tutto ciò portò ad un incremento demografico ed economico del territorio.

Negli anni sessanta fu avviato, per tramite della 'Cassa per il Mezzogiorno', l'ambizioso programma per l'irrigazione del Tavoliere mediante la realizzazione di invasi, vasche, impianti di sollevamento e della rete di distribuzione che si estende sull'intero territorio. Ad oggi, la superficie irrigabile si estende su 106.500 ettari nel comprensorio irriguo del Fortore e per 38.850 ettari nel comprensorio irriguo Sinistra Ofanto, alimentati rispettivamente dalla diga di Occhito sul Fortore, della capacità utile di 250 milioni di metri cubi e a Sud Ovest dalle acque dell'Ofanto, regolate a monte dal serbatoio S.Pietro sul Torrente Osento e, raccolte a valle, dal serbatoio Capacciotti, della capacità utile di 48,2 milioni di metri cubi. Infine è importante citare la presenza dell'invaso sul Torrente Celone, della capacità di 16,8 milioni di metri cubi, che, oltre ad incrementare la disponibilità di risorsa per il comprensorio del Fortore, assolve alla laminazione delle piene ed alla regolazione delle portate erogate al Sud Tavoliere [3].

1.2 La rete irrigua: criteri di dimensionamento progettuali

L'oggetto delle progettazioni che l'Ente Irrigazione condusse per commissione del Consorzio della Capitanata fu l'utilizzazione delle acque del fiume Fortore a scopo irriguo.

Il progetto di massima relativo al settore Nord del comprensorio, riguardante i distretti n.9, n.10 e n.11 (34800 ha) venne redatto agli inizi degli anni sessanta.

L'esame della distribuzione delle proprietà per classi di ampiezza mise in evidenza l'estrema polverizzazione delle proprietà stesse. Un così spinto frazionamento comportò diversi problemi legati alla distribuzione che si cercò di risolvere tenendo conto sia della necessità che ogni proprietario disponesse di una presa d'acqua, sia quella di contenere lo sviluppo delle tubazioni e quindi l'incidenza del costo/ha.

Le relazioni agronomiche redatte all'epoca mostrano gli orientamenti produttivi ed i consumi stagionali assunti a base del progetto.

Secondo le relazioni agronomiche dell'epoca, l'ordinamento colturale prevedibile per tutto il comprensorio del Fortore sull'ettaro tipo era il seguente:

Tipologia di coltura	Superficie (%)	Consumo idrico per ha/coltura (m ³)	Consumo relativo (m ³)
Medica ed altre foraggere	10	6.000	600
Colture ortive	10	7.000	700
Sarchiate da rinnovo	30	5.000	1.500
Fruttiferi necessariamente irrigui	10	4.000	400
Frutteti, uliveti e varie per soccorso	30	2.000	600
Seconde colture (erbai estivi, ecc.)	10	3.000	300
Totali	100		4.100

Tab.1.1 Consumo idrico per tipologia di coltura (di progetto) [6]

Le condizioni poste a base del progetto considerano 138.000 ha attrezzati (intero comprensorio del Fortore) con una disponibilità dell'invaso di Occhito di 250 Mm³ utili e una dotazione idrica pari a 2.050 m³/ha sull'intera superficie dominata.

Inoltre è definito un indice medio di consumo pari a 0,2174 l/s/ha ed un rapporto tra indice massimo di consumo e quello medio, nel periodo di maggior richiesta, pari a 1,8 fissando la stagione irrigua di 6 mesi.

Pertanto è stata assegnata a ciascun distretto del comprensorio una portata d'acqua prestabilita in funzione della superficie dominata e dell'indice medio di consumo, in particolare per i distretti in esame, risulta:

- Distretto 10: 15.000 ha · 0,2174 l/s · ha = 3.280 l/s
- Distretto 9: 6.600 ha · 0,2174 l/s · ha = 1.435 l/s
- Distretto 11: 13000 ha · 0,2174 l/s · ha = 2.826 l/s

Il territorio dei distretti è stato suddiviso in "comizi", ossia unità territoriali di superficie pressoché costante, pari mediamente a 92 ha topografici per i distretti n.9 e n.10 e 200 ha per il distretto n.11.

Su tutti e tre i distretti fu previsto un impianto irriguo "bivalente" per l'adozione della pratica irrigua sia "ad aspersione" che "a scorrimento", quest'ultima ben presto abbandonata.

Per l'irrigazione ad aspersione, si adottò il sistema "alla domanda" assegnando moduli variabili in relazione all'estensione delle superfici servite: da 2,5 l/s per superfici sino a 2,5 ha sino a 30 l/s per superfici di estensione superiore a 70 ha, dovendo assicurare alla presa una pressione minima di 25 m di colonna d'acqua (2,5 bar).

In ogni distretto vennero realizzate un certo numero di vasche di compenso giornaliero, la cui funzione, posizione e capacità vennero studiate per rispondere a determinati requisiti:

- a) Funzione: l'attuazione di un tempo di distribuzione diverso da quello di adduzione (rispettivamente 16/24 e 24/24 ore) richiedeva necessariamente la presenza di vasche di compenso tra le due reti.

Del resto, il periodo giornaliero di irrigazione non avrebbe potuto essere direttamente regolato dall'invaso di Occhito in quanto i tempi nei quali si sarebbe risentito l'effetto delle operazioni di apertura e chiusura degli organi di presa sarebbero risultati notevolmente sfalsati rispetto a quelli effettivi di esercizio, data la distanza tra i punti di consegna e quello di presa ed il gran numero di utenti con diverse necessità.

Per cui, anche se economicamente più oneroso per quanto concerne le reti di distribuzione, si realizzò la rete di adduzione per un esercizio continuo di 24 ore su 24. Si poterono utilizzare diametri minori per gli adduttori (essendo la portata continua $\frac{2}{3}$ di quella di esercizio), ma ciò richiese, a valle degli adduttori, l'inserimento delle vasche di compenso giornaliero che immagazzinassero nelle 8 ore di riposo la portata in arrivo, ridistribuendola quindi nelle 16 ore di esercizio in aggiunta a quella che defluiva continuamente attraverso gli adduttori.

- b) Posizione: il numero delle vasche era stato dettato dalla necessità di disporre di una certa capacità a servizio di un certo numero di comizi, non troppo grande, per evitare di avere dei veri e propri bacini artificiali e allo stesso tempo neanche un numero troppo piccolo per non accrescere il costo dell'opera. La loro ubicazione ad una determinata quota fu stabilita in modo tale da riuscire a garantire un carico idrostatico che non superasse le 6 atm sulla zona servita per un motivo strettamente economico.
- c) Capacità: la capacità utile doveva essere quella corrispondente ad $\frac{1}{3}$ del volume giornaliero di adacquamento necessario alla zona servita da ciascuna vasca (8 ore su 24). Nel calcolo fu incrementata ad $\frac{1}{2}$ per due motivi fondamentali. Il primo fu la necessità di disporre di un maggior volume d'acqua per far fronte ad eventuali maggiori consumi da parte degli utenti; il secondo la necessità di avere a disposizione una certa capacità morta nel caso vi fosse una diminuzione delle richieste. In quest'ultimo caso una limitata capacità della vasca avrebbe determinato che tutto il volume in arrivo sarebbe andato immediatamente perduto, mentre la maggiore capacità consentiva di accumulare, prima che sfiorasse, buona parte del volume in arrivo esuberante rispetto ai consumi.

Dalle vasche di compenso si ripartono le condotte di distribuzione che si distinguono in ripartitori e reti comiziali.

1.3 Caratteristiche della rete

Ad oggi, il sistema irriguo del Fortore preleva le acque del fiume Fortore, invasate nel lago artificiale costituito dalla diga di Occhito e addotte al compresorio a mezzo di una galleria lunga circa 16 km con una portata massima di 30 m³/s che termina nella vasca di ripartizione di Finocchito.

Da questa vasca si diparte tutta la rete di adduzione che serve il sistema irriguo del Fortore (Nord e Sud Tavoliere) gestito dal Consorzio di Bonifica e le esigenze potabili di gran parte della Capitanata, gestite dall'Acquedotto Pugliese.

L'intero compresorio irriguo del Fortore è suddiviso in distretti di aree variabili ed è costituito da circa 106.500 ha.

Dalla vasca di ripartizione di Finocchito si dipartono, da Nord a Sud, i seguenti adduttori:

- 1) Il sifone Fortore che serve prima il distretto n.1 di 3.300 ha ed attraversa quindi il fiume Fortore con un sifone in località Dragoncella, alimentando il distretto n.8 di 9.000 ha;
- 2) Il sifone dello Staina che attraversa la valle del Frassino e dopodiché alimenta: il Canale ed il Sifone di Apricena, che servono i distretti n.10 di 15.000 ha, n.9 di 6800 ha e il Sifone San Severo che serve il distretto n.11 di 13.000 ha;
- 3) L'adduttore per l'Acquedotto Pugliese che deriva attualmente 1,8 m³/s circa che vengono successivamente potabilizzati e quindi immessi nella rete acquedottistica;
- 4) Il Canale del Tavoliere che serve la rete del Sud Fortore, ossia i distretti n.2,3,4,5,6,7,12 e 13 di rete mista canale-tubazioni del tipo a maglie chiuse.

Il territorio del Nord Fortore è diviso in due parti, una lungo la valle del Fortore, distretti n.1 e 8, e l'altra nella zona settentrionale del Tavoliere, distretti n.9, 10 e 11.

Oggetto dell'elaborato di tesi è il sub-compresorio irriguo definito dai distretti n.9, n.10 e n.11. Quest'ultimo è del tipo misto canale-tubazioni, a rete aperta e ad oggi prevede la regolazione da valle "alla domanda" ed è costituito, seguendo il senso idraulico da monte verso valle, dalle seguenti opere:

- Condotte di adduzione primaria;
- Vasche di compenso;
- Condotte ripartitrici dalle vasche ai comizi/settori;
- Strutture di consegna comiziale;
- Rete di distribuzione comiziale.

La rete in esame è costituita da condotte di adduzione primaria per uno sviluppo di oltre 100 km in cemento armato precompresso, cemento armato ordinario e cemento amianto ed alcune piccole tratte in acciaio, con diametri dal *DN* 500 al *DN* 2600 e relativi pezzi speciali in acciaio, valvole motorizzate e non, saracinesche di scarico e di linea, sfiati, giunti di montaggio e dilatazione degli attraversamenti pensili. Le vasche, di volume variabile, svolgono la funzione di compenso giornaliero per far fronte alle richieste di punta da valle e di seguito sono dettagliate con indicazione della loro capacità (tabelle 1.2 – 1.3 – 1.4):

DISTRETTO 10		
Sub-distretto	Vasca	Capacità utile (mc)
10 A	A1	15.000
	A2	15.500
	A3	15.500
	A4	15.500
10 B	B1	19.500
	B2	9.000
	B3	16.550
10 C	C1	14.000
	C2	7.000
10 D	D	38.700

Tab. 1.2 Vasche distretto 10

DISTRETTO 9	
Vasca	Capacità utile (mc)
V1	16.740
V2	39.400
V3	25.000

Tab. 1.3 Vasche distretto 9

DISTRETTO 11	
Vasca	Capacità utile (mc)
1	28.000
2	95.000
3	95.000

Tab. 1.4 Vasche distretto 11

Progettualmente, i volumi di competenza delle vasche di compenso pervengono con portata continua e da queste ultime hanno origine i “ripartitori” con condotte tubate a portata variabile, comandati da valle dalle “prese comiziali” secondo le portate richieste dagli utenti.

Ciascuna vasca è dotata di un otturatore a disco che seziona gradualmente la tubazione in ingresso in funzione del livello della vasca, evitando lo sfioro della stessa.

Le condotte di ripartizione collegano le vasche ai comizi con uno sviluppo totale di oltre 200 km, con tubazioni in cemento armato e cemento amianto con diametro variabile dal *DN* 225 al *DN* 1000.

I ripartitori alimentano 252 gruppi di consegna comiziale dotati di valvole di sezionamento, di sfiato, di limitatore di portata e di contatore volumetrico.

Infine, la rete di distribuzione comiziale è costituita da circa 1167 km di tubazioni in cemento amianto, 138 km in PVC con diametro variabile dal *DN* 125 al *DN* 500.

L'alimentazione irrigua dei distretti n.9, 10 e 11 inizia dalla vasca di Finocchito, posta allo sbocco della galleria della diga di Occhito a quota 150 m s.l.m., con il sifone dello Staina che adduce al manufatto a pelo libero di Pagliara Vecchia, posto a quota 147.5 m, una portata continua massima di progetto pari a 9 m³/s.

Dal manufatto di Pagliara Vecchia, così definita perché antecedente in termini di realizzazione a quella cosiddetta "Nuova", viene alimentato il distretto n.11 per una superficie dominata di 13000 ha ed una portata massima di progetto di 3 m³/s e dalla cosiddetta vasca di Pagliara Nuova, ha origine il Canale di Apricena, con portata iniziale (continua di progetto massima) di 6 m³/s, a servizio dei distretti n.10 e 9 del comprensorio del Nord Fortore, per una superficie complessiva di circa 21600 ha dominati [4, 5].

Si rimanda alla tavola n.1 – Piano acque per la Capitanata.

1.4 Il comprensorio del distretto n.10

Il distretto n.10 ha una superficie dominata di 15000 ha ed è limitato: verso nord dal crinale delle colline che separano l'altro bacino del Candelaro dai terreni che degradano verso il Lago di Lesina; verso est, a qualche chilometro ad est di Apricena, da viabilità locali, verso sud dal torrente Radicosa ed infine verso ovest dal tracciato del canale e del sifone di Apricena, che alimentano il distretto in argomento ed il limitrofo distretto n.9.

L'abitato di Apricena ricade per intero all'interno del distretto, mentre l'abitato di Torremaggiore ne fissa il limite di sud-ovest.

Il territorio interessa i Comuni di Torremaggiore, S. Severo, Apricena, Poggio Imperiale e S. Paolo in Civitate.

Altimetricamente i lati ovest e nord del vasto rettangolo nel quale può sintetizzarsi la forma del distretto si sviluppano a quote "alte" – degradando da 140 m circa, nei pressi di Torremaggiore, a 100 m circa a nord di Apricena, con uno sviluppo di oltre 20/25 km.

Da questa cresta i terreni degradano fino alla quota minima di circa 30 m s.l.m. all'angolo di sud-est, alla confluenza del Candelaro con il Canale S. Martino, nei pressi di Masseria Radicosa.

Il Canale di Apricena, che alimenta il distretto n.10 e 9, termina al nodo idraulico di disconnessione di Contrada Mezzana da cui derivano l'adduzione al sub-distretto 10A, il sifone

di Apricena, da cui sono derivate le alimentazioni al sub-distretto 10/B; quest'ultimo termina nel nodo idraulico di disconnessione in località Pozzilli da cui partono gli adduttori C e D rispettivamente a servizio dei sub-distretti 10/C e 10/D, oltre agli adduttori a servizio del distretto n.9.

In maggior dettaglio, la rete di adduzione primaria del distretto n.10 è articolata su quattro adduttori, gli adduttori A, B, C e D:

- L'adduttore A parte da un'apposita presa disposta al termine del canale di Apricena ed alimenta quattro vasche di compenso (A1, A2, A3 e A4) che servono complessivamente 4993 ha.
- Gli adduttori B, in derivazione dal sifone di Apricena alimentano le tre vasche di compenso (B1, B2 e B3) che servono complessivamente 3588 ha.
- Gli adduttori C e D derivano entrambi dalla vasca di carico terminale del sifone di Apricena. L'adduttore C serve per sollevamento una zona alta di 1836 ha, con due vasche di compenso C1 e C2. L'adduttore D serve 4683 ha attraverso quattro disconnettori a superficie libera (D1, D2, D3 e D4).

A valle delle prese comiziali si sviluppa la rete terziaria "comiziale" dalla quale gli utenti prelevano, dai punti di consegna aziendali, l'acqua irrigua secondo moduli di 5 l/s o multipli per l'irrigazione per aspersione [6].

1.5 Il comprensorio del distretto n.9

Il distretto n.9 ha una superficie territoriale di 6800 ha ed è delimitato verso sud dal crinale delle colline che separano l'alto bacino del Candelaro dai terreni che degradano verso il lago di Lesina (lungo questo crinale corre il confine del limitrofo distretto n.10). Verso ovest il confine è costituito dal basso corso del Fortore, verso nord dalla costa dell'Adriatico e dal lago di Lesina ed infine verso est, da viabilità di carattere locale intorno all'abitato di Poggio Imperiale.

Nessun centro abitato importante ricade all'interno del comprensorio. Ai suoi confini verso est si trovano invece Lesina e Poggio Imperiale.

Altimetricamente i terreni del distretto si sviluppano intorno a quote di 90-100 m s. l. m. sul lato sud, al confine con il distretto n.10. Da qui degradano con continuità verso il Fortore e le zone costiere, praticamente a quota mare.

L'alimentazione irrigua del distretto inizia al "Manufatto terminale" del Sifone di Apricena. Da questo manufatto a pelo libero, con le acque a quota 135 m circa, hanno origine, a servizio del distretto n.9, due distinte condotte.

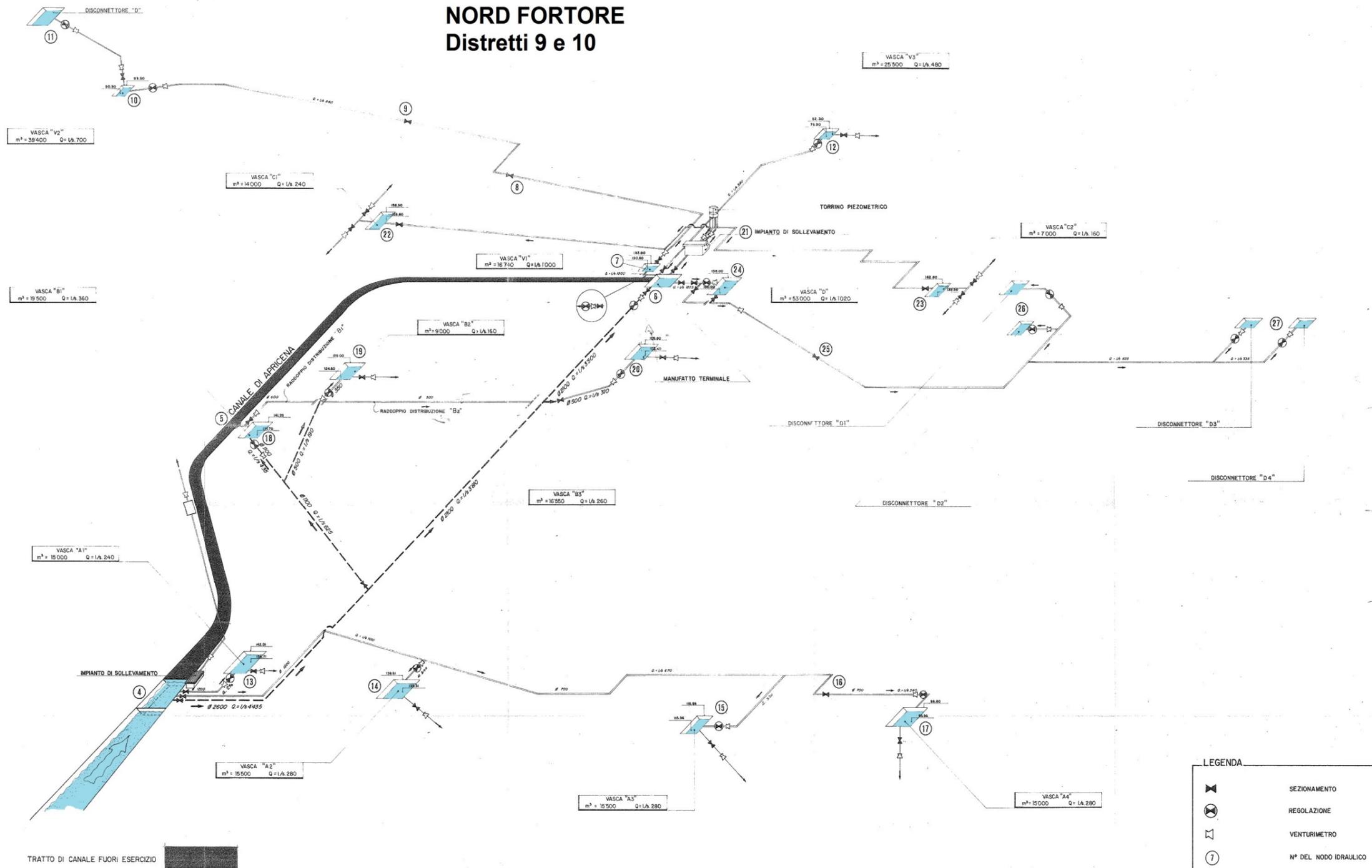
La prima, del *DN* 1000, raggiunge con percorso di circa 50 m la vasca V1, ubicata nello stesso complesso del manufatto terminale, nei pressi della Masseria dei Frati Minori. Dalla vasca V1 ha origine una condotta (ripartitore I) che, con un percorso di circa 6900 m e diametri variabili dall'iniziale *DN* 1000 al finale *DN* 800, raggiunge e si immette nella vasca V2. La stessa condotta di adduzione alla vasca V2, alimenta direttamente o con diramazioni in carico, i primi 15 comizi del distretto. Dalla vasca V2, che viene quindi a trovarsi in serie sull'adduzione, prosegue il ripartitore I che, con un percorso di circa 3 km e *DN* 1000 raggiunge ed alimenta, con portate di punta, il "disconnettore di Ripalta" (disconnettore D). Dal tratto del Ripartitore tra la vasca V2 ed il disconnettore di Ripalta, sono alimentati ancora 10 comizi. Dal disconnettore di Ripalta hanno origine i ripartitori II e III, a servizio rispettivamente di 10 e 19 comizi.

La seconda condotta con origine nel Manufatto terminale di Apricena, del *DN* 660 e sviluppo 2850 m circa, alimenta la vasca V3.

A valle delle prese comiziali si sviluppa la rete terziaria "comiziale" dalla quale gli utenti prelevano, dai punti di consegna aziendali, l'acqua irrigua secondo moduli di 5 l/s o multipli per l'irrigazione per aspersione [6].

Si riporta in allegato l'assonometria dei distretti n.9 e n.10.

NORD FORTORE Distretti 9 e 10



LEGENDA

	SEZIONAMENTO
	REGOLAZIONE
	VENTURIMETRO
	N° DEL NODO IDRALICO

1.6 Il comprensorio del distretto n.11

Il comprensorio del distretto n.11 ha una superficie topografica di 13000 ha circa, ed è costituito essenzialmente dal dosso Torremaggiore – San Severo; il distretto ha una forma triangolare, con il lato superiore in direzione est-ovest con il vertice inferiore verso sud, dimensioni medie di 23 km di base e 12 km circa in altezza e confina verso nord con la S.S. 16, con il torrente Radicosa e con il torrente Candelaro; verso est con la ferrovia Garganica, con la strada comunale Foggia-San Nicandro e con la ex strada di bonifica n.15; verso ovest con il canale Ferrante e con le pendici della collina di Torremaggiore.

Dal punto di vista altimetrico il distretto n.11 si può suddividere in tre zone: una più alta, della superficie topografica di 2600 ha, servita con un impianto di sollevamento denominato “Bellantuoni”, la seconda media fra quota 110 e quota 60 m s. l. m. m. di 6900 ha e l’altra più bassa fra quota 60 e 24 m s. l. m. m., della superficie di 3500 ha. Le due zone più basse sono servite a gravità.

Lo schema idraulico della rete dell’intero distretto n.11 risulta costituito da tre sistemi idraulici autonomi ed indipendenti, che hanno in comune solo la condotta di derivazione della vasca terminale del sifone dello Staina e tale condotta inizia a 145,10 m e convoglia alla quota terminale di 101 m la portata di competenza della zona più bassa, alimentando lungo il percorso le reti per la zona alta e la zona media.

La zona bassa e la zona media del distretto sono servite interamente a gravità mediante reti ramificate aperte, derivate da due vasche di compenso e di carico, la vasca 2 e la vasca 3.

La zona più alta è servita invece con una condotta principale derivata da una vasca di compenso e di carico, la vasca 1, sita a quota 195 m s. l. m. m., alimentata, tramite una breve condotta premente, dal predetto impianto di sollevamento ubicato in località Bellantuoni.

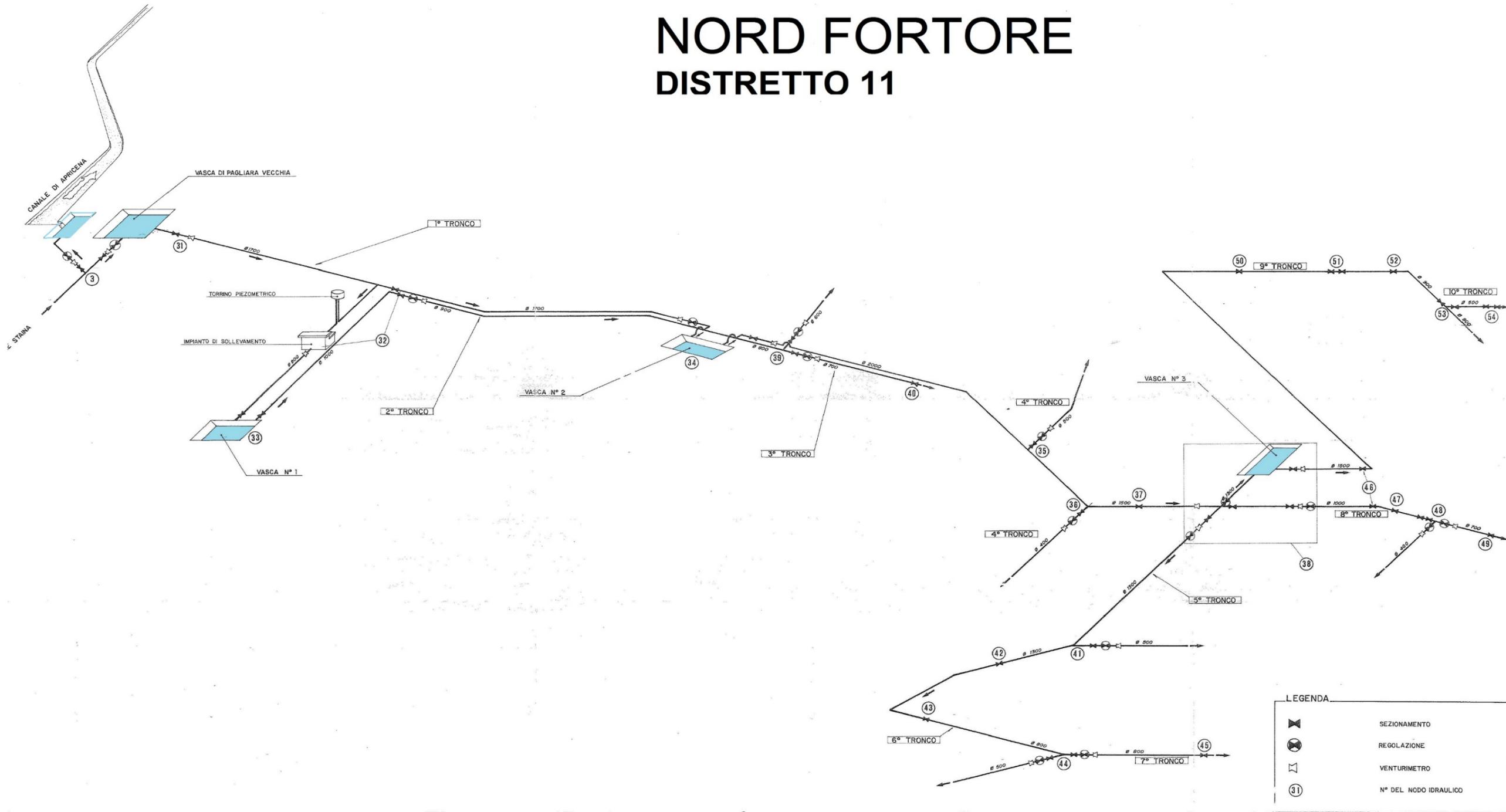
Il distretto n.11 è suddiviso in 61 settori, numerati progressivamente a partire da 1, con un’estensione media di circa 200 ha.

Si rimanda alla tavola n.2 - Corografia impianto irriguo – Distretti n.9, n.10 e n.11 [7].

Si riporta inoltre l’assonometria del distretto n.11.

AI DISTRETTI 9 e 10

NORD FORTORE DISTRETTO 11



LEGENDA

	SEZIONAMENTO
	REGOLAZIONE
	VENTURIMETRO
	N° DEL NODO IDRAULICO

CAPITOLO 2: Problematiche di gestione della rete irrigua

2.1 Modifiche nei fabbisogni irrigui

Nel tempo si sono avute delle variazioni negli investimenti colturali, distinguendo naturalmente quelle a carattere arboreo con tempi di permanenza più lunghi da quelle a carattere orticolo con una maggiore variabilità legata alle richieste del mercato, determinando una modifica dei consumi irrigui sia nella distribuzione sul territorio che nelle esigenze annuali. Si riporta come esempio l'indagine colturale condotta nel 2018 in merito alle superfici ed alle colture impiantate:

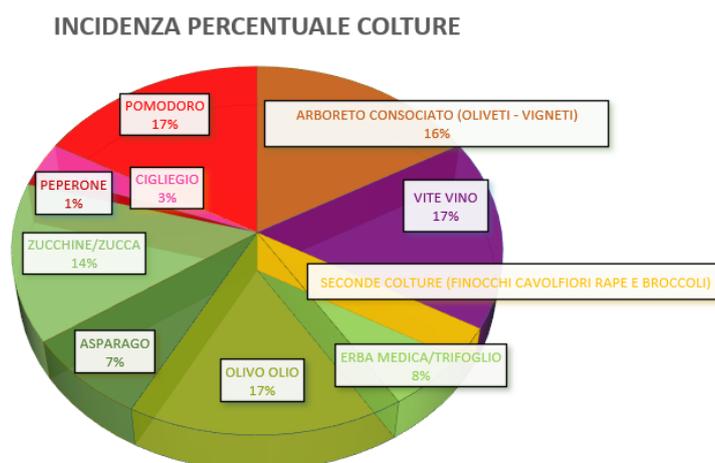


Fig. 2.1 Incidenza percentuale colture

Tipologia di coltura	Consumo idrico per Ha/coltura (m ³)
Arboreto consociato (Oliveti - Vigneti)	2500
Vite vino	2500
Seconde colture (Finocchi, cavolfiori, rape e broccoli)	2000
Erba medica/trifoglio	5000
Olivo olio	2000
Asparago	5000
Zucchine/Zucca	4000
Peperone	5000
Ciliegio	2000
Pomodoro	5000

Tab. 2.1 Consumo idrico per tipologia di coltura (ad oggi)

2.2 La gestione della rete oggi

Ad oggi, il Consorzio per la Bonifica della Capitanata, ha aggiornato i criteri della gestione degli impianti andando incontro alle modificate richieste degli utenti agricoli, provvedendo ad allungare la stagione irrigua: dai sei mesi (primo aprile - trenta settembre) a nove mesi (primo marzo - trenta novembre), dando spazio alle esigenze di semina primaverili ed alle “secondo colture” autunnali, mantenendo esclusivamente la modalità di erogazione “ad aspersione” eliminando le pratiche “a scorrimento” che comportavano spreco d’acqua; inoltre è venuto meno il funzionamento 16h/24h anche in ragione dell’introduzione dei gruppi di consegna automatici che consentono all’agricoltore di programmare le ore di irrigazione. L’utilizzo della dotazione idrica di 2050 m³/ha si è resa più flessibile, potendo essere fornita in funzione delle esigenze idriche delle specifiche colture con conseguente parzializzazione delle superfici irrigate del singolo proprietario, concedendo allo stesso anche la possibilità di disporre della dotazione idrica complessiva su superfici di comizi diversi; tanto naturalmente con un aggravio delle condizioni di funzionamento dell’impianto, seppure mirando a contenere i consumi con l’utilizzo della tariffa binomia (quota fissa + quota a consumo) con tariffe disincentivanti sulle eccedenze.

Il sistema di adduzione idrica è costituito da un canale a pelo libero (Canale di Apricena) ed in massima parte da tubazioni in pressione (Sifone Staina, Sifone Apricena e Sifone San Severo) mentre la rete di ripartizione e di distribuzione risulta essere totalmente tubata.

Per tale motivo il sistema idrico può definirsi di tipo misto, con esercizio “alla domanda”; in generale i sistemi “tubati” sono “regolati da valle” mentre quelli a pelo libero sono “regolati da monte”, per cui nel caso in esame pur dovendo garantire il funzionamento con regolazione da valle è necessario intervenire da monte.

In un sistema idrico del genere, una corretta gestione deve mirare ad evitare spreco di risorsa, che si determina a seguito dello sfasamento tra la variazione delle richieste (a valle) e l’adeguamento delle portate (a monte).

In ragione delle varie considerazioni esposte finora risulta necessario rendere più flessibile la gestione di una importante infrastruttura irrigua realizzata circa cinquanta anni fa, che deve continuare ad assicurare un efficiente distribuzione.

La possibilità di introdurre maggiore elasticità nell’esercizio della rete esistente e di adeguarlo alle modificate esigenze, consentendo un risparmio idrico e migliorandone l’efficienza è consentito dall’implementazione di un sistema di telecontrollo, teleregolazione ed automazione associato ad un modello numerico della rete; infatti la conoscenza delle condizioni di

funzionamento, in tempo reale, nel maggior numero di nodi possibile a valle, consente di adeguare l'erogazione a monte, tempestivamente rispetto alla variazione delle richieste.

Uno degli aspetti più delicati dell'esercizio irriguo è la corretta distribuzione idrica a cui può dare risposta un sistema di telecontrollo che consente di:

- regolare i prelievi dai gruppi di consegna impedendo che ogni gruppo di utenze (comizio) prelevi più di quello che gli spetta;
- controllare che il particolare posizionamento di alcuni comizi possa richiamare portate maggiori di certi rami riducendo la portata in altri, proprio nei periodi di maggiore richiesta;
- in condizioni di scarsa disponibilità ripartire le deficienze idriche nell'arco di tutta la stagione irrigua evitando che la risorsa si esaurisca prima della fine del periodo irriguo con conseguente danno della resa, consentendo eventualmente la distribuzione turnata.

L'implementazione di un sistema di telecontrollo richiede naturalmente un adeguamento dei sistemi di controllo e delle regolazioni idrauliche, nonché l'introduzione di nuove infrastrutture tecnologiche.

Pertanto si è provveduto a munire l'ingresso delle vasche, oltre del già citato otturatore a disco per le condizioni di massimo riempimento, di valvole di regolazione (valvole a fuso motorizzate), e l'uscita delle vasche di valvole di sezionamento (valvole a farfalla o saracinesche motorizzate). Sia in ingresso che in uscita vasca, di misuratori di portata (venturimetri, misuratori ad ultrasuoni), oltre che misuratori di pressione in alcuni nodi della rete [8 9 10].

Inoltre, è necessaria l'introduzione di sensori (misuratori di livelli, di pressione e di portata) per l'acquisizione delle informazioni, un sistema di acquisizione ed elaborazione dei dati (PLC, RTU), un sistema di trasmissione (cavo telefonico dedicato, sistemi radio tradizionali o tipo Sigfox o wireless tipo Lora), un centro di raccolta ed elaborazione dati (CRD).

Con sistema di telecontrollo, teleregolazione ed automazione è da intendersi la possibilità di:

- avere delle informazioni complete sul funzionamento della rete in tempo reale;
- effettuare regolazione a distanza;
- avere l'opportunità, al verificarsi di determinate condizioni, di autoregolare le modalità di esercizio della rete.

Tale sistema consente, conoscendo quello che accade alla periferia della rete, di prendere decisioni a monte anticipandole ed esercitare la gestione in:

- Fase di esercizio:
 - individuando il livello gerarchico decisionale più adeguato;
 - regolando le portate in transito nelle condotte ripartitrici per raggiungere il fine di una più equa distribuzione dell'acqua in modo che il comizio che si trova in una posizione più svantaggiata non subisca un peggioramento del servizio causato dalle eccessive richieste di chi è favorito altimetricamente;
 - assicurando il corretto funzionamento delle condotte evitando flussi a canaletta o svuotamento in caso di richiesta superiori alla disponibilità;
 - assicurando il regolare funzionamento dell'impianto controllando le pressioni nella rete ed i livelli nei serbatoi.
- Fase di bilancio:
 - migliorando la gestione tecnico-amministrativa dell'impianto;
 - controllando gli andamenti dei parametri stagionali più significativi per verificare eventuali disfunzioni;
 - programmando la tempistica delle manovre, storicizzando eventi ed attività.

In linea generale, invece, la modellazione idraulica consiste nella creazione di un modello che deve essere fisicamente basato sulla rete idraulica esistente al fine di poterne simulare il funzionamento e costituire uno strumento di ausilio in termini di supporto alle decisioni da parte del gestore. È inoltre importante sottolineare come sia proprio la possibilità di utilizzare dati in tempo reale, provenienti dal telecontrollo, combinata alla capacità di modellazione idraulica della rete a rendere il software di modellazione uno strumento operativo avanzato che consente al gestore di prendere decisioni in tempi più brevi e soprattutto con la consapevolezza degli effetti che si determineranno.

2.3 Il sistema di telecontrollo del Consorzio per la Bonifica della Capitanata di Foggia

Il sistema di telecontrollo del Consorzio per la Bonifica di Capitanata assolve la funzione sia conoscitiva che di comando.

Nel dettaglio sono garantite:

- Misure di portata in ingresso ed in uscita vasche e lungo gli adduttori in punti significativi della rete;
- Misure dei livelli idrici nelle vasche di compenso;
- Misure di pressione nei nodi significativi della rete;

- Misure delle portate e dei volumi erogati ai comizi.

La rete di telecontrollo del sistema idraulico oggetto di studio è costituita da:

- 29 Out Station (OS);
- 1 Centro Raccolta Dati (CRD);
- 1 centro di supervisione;

Le OS sono individuate presso i nodi principali di diramazione, le vasche di disconnessione e di compenso e gli impianti di sollevamento e sono dotate di:

- Apparecchiature idrauliche: valvole motorizzate di regolazione e/o di sezionamento con attuatori (a fuso, a farfalla e saracinesche), per effettuare manovre;
- Sensori: misuratori di livello tipo radar, misuratori di portata ad ultrasuoni, misuratori di pressione con cella ceramica, potenziometro per indicazione del grado di apertura delle valvole, stato funzionamento delle pompe.

Inoltre il sistema di telecontrollo porta con sé la realizzazione di importanti infrastrutture tecnologiche, in particolare:

- stazioni periferiche di trasmissione dati quali Remote Control Unit (RTU) ossia dispositivi di controllo a microprocessore che interfaccia oggetti del mondo fisico ad un Supervisory Control And Data Acquisition System (SCADA) attraverso la trasmissione dei dati acquisiti dalla strumentazione collegata al sistema di supervisione;
- vettori di trasmissione dei dati realizzato con una rete radio Hyperlan, ridonato con GPRS.

Tutto ciò consente di acquisire e trasmettere, per ogni nodo controllato:

- Informazioni analogiche:
 - livelli nelle vasche;
 - portate nei nodi;
 - grado di apertura delle valvole;
- Informazioni di stato:
 - stato valvole (aperta/chiusa/posizione intermedia);
 - portata;
 - pressione;
 - alimentazione (rete/batteria).

- Informazioni di allarme:
 - sfioro vasche;
 - svuotamento vasche;
 - sovrappressioni;
 - mancanza di alimentazione elettrica.
- Informazioni di comando:
 - regolazione grado di apertura valvole;
 - apertura/chiusura valvola di sezionamento.

Per un totale di 2558 tag acquisite [11].

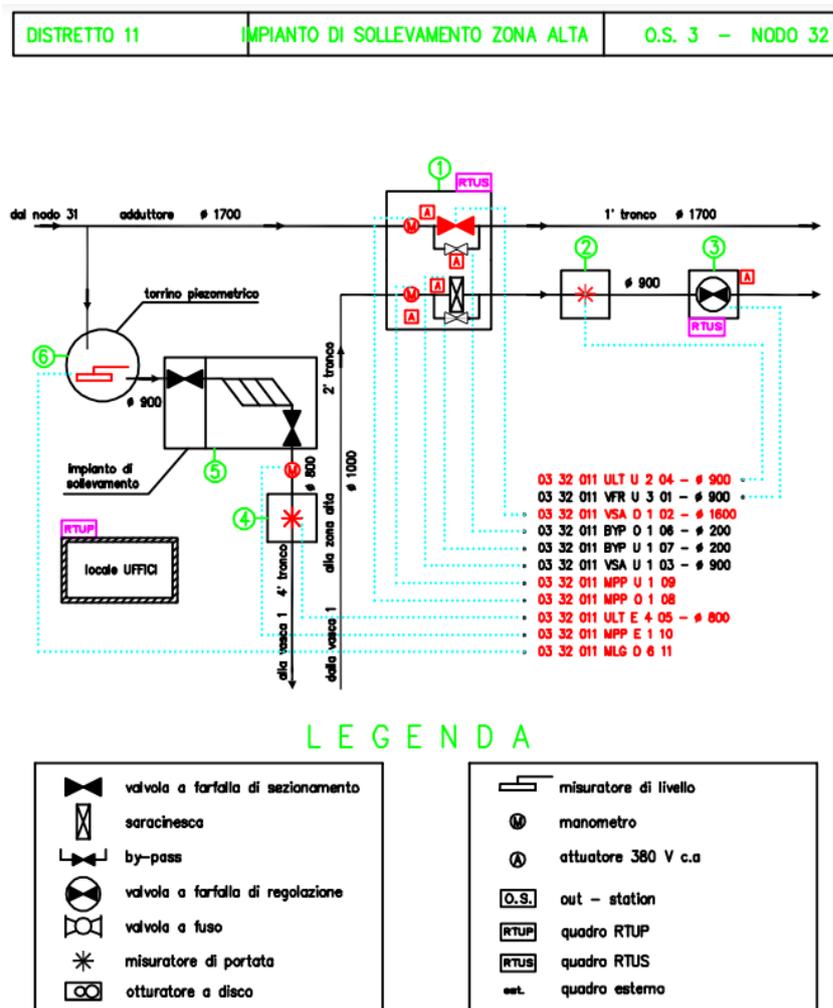
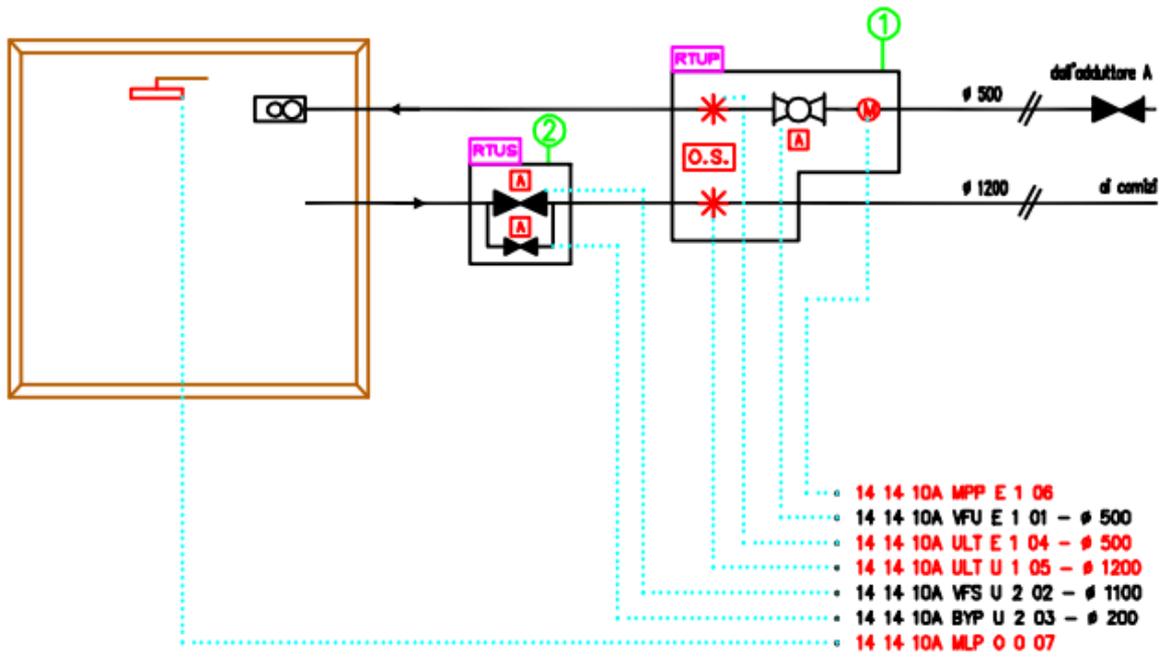


Fig. 2.2 Nodo telecontrollato – OS3



LEGENDA

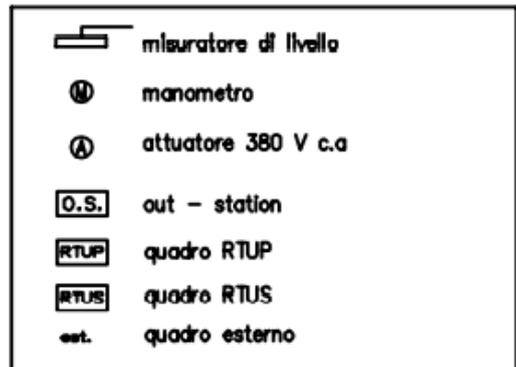


Fig. 2.3 Nodo telecontrollato – OS 14

CAPITOLO 3: Il modello numerico della rete irrigua

3.1 Software utilizzati

Per la costruzione del modello numerico della rete irrigua è necessario prioritariamente recuperare le informazioni di carattere geografico e territoriale e successivamente i dati della rete infrastrutturale, per importarli, in un secondo momento, nel software di modellazione idraulica.

Avendo a disposizione dati di diversa natura, geografici e territoriali, resi disponibili dal SIT (Sistema Informativo Territoriale) della Regione Puglia e infrastrutturali della rete irrigua, resi disponibili dall'ente gestore, per la gestione dei suddetti dati si è utilizzato l'open-source QGIS. Per la modellazione e le simulazioni di funzionamento della rete idraulica si è utilizzato il software proprietario AQUIS, che consente di importare i dati direttamente da software specifici di gestione dei dati territoriali, quale il QGIS.

3.1.1 QGIS

QGIS (Quantum GIS) è un software open source sviluppato da un gruppo di ricercatori volontari ed è un plugin del GIS (Geographic Information System) ossia un programma che ne permette un'estensione di funzionalità. Esso è stato utilizzato operativamente nella fase di costruzione della rete idrica.

Il termine "open source" associato al software indica che non è coperto da copyright ed è dunque un codice progettato per essere accessibile liberamente agli utenti. Questi ultimi hanno la possibilità di distribuire copie del programma senza la necessità di disporre di una licenza e senza alcun tipo di restrizione.

Esso nasce con lo scopo di consentire la gestione dei dati geografici permettendone l'acquisizione, anche da fonti diverse, la visualizzazione e la rappresentazione. In particolare esso gestisce informazioni georeferenziate mediante la rappresentazione dei dati a mezzo di cartogrammi o tabelle che consentono di esaminare una determinata area geografica analizzando simultaneamente dati di diverso tipo:

- geometrici (forma, dimensione e posizione geografica di oggetti);
- topologici (connessione tra oggetti);
- informativi (dati numerici e/o testuali degli oggetti)

mediante l'integrazione di un sistema di disegno CAD e di un Data Base Management System (DBMS).

Il software risulta compatibile con i principali sistemi operativi (Windows, Mac, Linux) ed è caratterizzato da un'interfaccia semplice che l'utente può modificare a suo piacimento a seconda delle esigenze.

I dati sono raccolti nei cosiddetti "layer" che occorre distinguere in relazione alla tipologia e alla funzionalità dei dati stessi. Essi possono essere interrogati dall'utente che può inoltre modificarne il contenuto e visualizzarli in un'immagine mappa secondo diversi stili di visualizzazione tipiche del GIS [12].

3.1.2 AQUIS

AQUIS è il software di modellazione idraulica che è stato utilizzato per la caratterizzazione della rete idrica, con particolare riferimento all'introduzione degli organi di controllo atti a simulare l'azione delle apparecchiature idrauliche (valvole di regolazione, di sezionamento, di controllo idraulico quali stabilizzatrici di pressione, ovvero la presenza di impianti di sollevamento), nonché per eseguire analisi del comportamento della rete e simulare scenari di funzionamento per fornire un supporto alle decisioni in fase di esercizio e gestione.

Esso è distribuito dalla Società Schneider Electric, azienda che ha sviluppato un settore specifico che opera nell'ambito dell'automazione, all'interno della cui struttura si è avuto occasione di collaborare, ed è da detta esperienza che è maturato il presente lavoro di tesi.

AQUIS è una piattaforma di simulazione, analisi e gestione ed ha la finalità di supportare l'ottimizzazione del funzionamento delle reti idriche in pressione e conseguentemente migliorare il servizio all'utenza riducendo i costi di gestione; è inoltre uno strumento operativo avanzato che combina la capacità di modellazione idraulica della rete in pressione con l'uso di dati di esercizio in tempo reale con lo scopo ultimo di permettere agli operatori della rete idrica di assumere decisioni più rapide ed informate.

Insieme ad Epanet è, ad oggi, uno dei software più performanti nella verifica e progettazione delle reti idriche in pressione. È caratterizzato da un'interfaccia grafica intuitiva e consente l'interazione con altri software. AQUIS è uno strumento flessibile interfacciabile facilmente con il mondo dei software di trattamento ed elaborazione dati più diffusi, per cui è possibile esportare i risultati ottenuti dalla simulazione sia in forma tabellare che grafica (diagrammi).

Il software permette di effettuare simulazioni di moto permanente, ma soprattutto debolmente vario estendendo il periodo di simulazione ad un definito intervallo temporale in riferimento al comportamento idraulico della rete. Tramite la modellazione di tutti gli elementi costituenti la rete, in AQUIS, è possibile dunque trattare sistemi anche molto complessi.

Le equazioni che governano il moto permanente di una rete idrica in pressione sono due:

- Equazione di continuità: è l'equazione che consente di effettuare un bilancio di massa o meglio, poiché la densità dell'acqua è costante, un bilancio di volumi; la portata entrante in un nodo è uguale a quella uscente. Si avranno dunque un numero di equazioni di continuità pari al numero di nodi "n" scritte nella seguente forma:

$$\sum_{i=1}^n Q_{IN} = \sum_{i=1}^n Q_{OUT}$$

Con Q_{IN} e Q_{OUT} , rispettivamente le portate entranti ed uscenti dal nodo.

- Equazione dell'energia: è l'equazione anche detta di conservazione della quantità di moto che lega le perdite di carico alla portata circolante nelle condotte. Si scrivono in numero pari al numero delle condotte "l".

$$\Delta H = H_{IN} - H_{FIN} = \sum \Delta H_{CONC} + \sum \Delta H_{DISTR}$$

In cui ΔH_{CONC} e ΔH_{DISTR} sono rispettivamente le perdite di carico concentrate e quelle distribuite.

La prima tipologia di perdite si ha laddove è presente una brusca variazione di geometria o una discontinuità della condotta e sono proporzionali al termine cinetico della corrente tramite k che varia in funzione della geometria, come riportato nella formula seguente:

$$\Delta H_{CONC} = k \cdot \frac{u^2}{2g}$$

Le perdite di carico distribuite avvengono invece in maniera "distribuita" su tutta la lunghezza della condotta a causa dell'attrito tra le particelle del fluido e dell'attrito tra fluido e parete, che generano dissipazione di energia:

$$\Delta H_{DISTR} = J \cdot L$$

Con L, lunghezza della condotta e J, cadente piezometrica, che rappresenta la pendenza della linea dei carichi piezometrici e risulta pari, secondo la legge di Darcy-Weisbach, a:

$$J = \lambda \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g \cdot D}$$

In cui:

- λ è il coefficiente di perdita per attrito;
- u è la velocità dell'acqua nella condotta;
- D è il diametro della condotta;
- g è l'accelerazione di gravità.

λ dipende da altri fattori in maniera più complessa, ed in particolare da:

- Numero di Reynolds $Re = \frac{u \cdot D}{\nu}$ con $\nu = 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ viscosità dell'acqua; tale numero è adimensionale e dà indicazioni sul regime di moto:
se $Re < 2000$ si è in moto laminare, mentre se $Re > 2000$ si è in moto turbolento.
- Scabrezza relativa $\frac{\varepsilon}{D}$ (valore medio equivalente) che può essere pensata come la dimensione all'asperità della parete.

Il calcolo di λ non è immediato e può essere dedotto graficamente attraverso il diagramma di Moody di seguito riportato o attraverso le seguenti leggi empiriche:

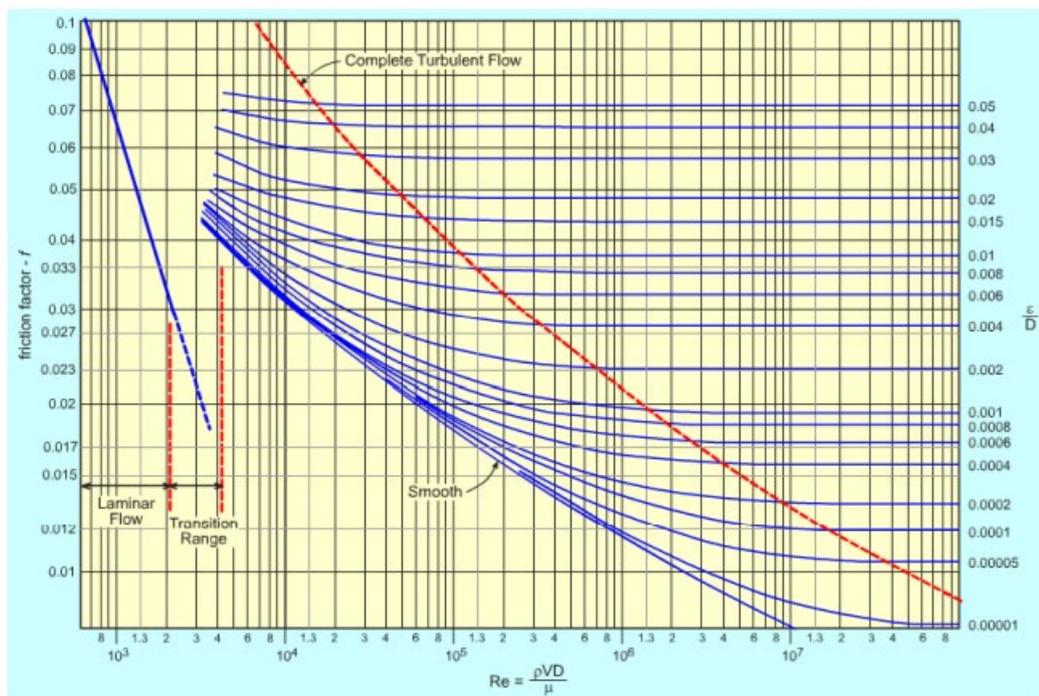


Fig. 3.1 Diagramma di Moody

- MOTO LAMINARE $\rightarrow \lambda = \frac{Re}{64} \rightarrow$ formula di Hagen-Poiseuille;
- MOTO TURBOLENTO $\rightarrow \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon/D}{3,71} \right) \rightarrow$ formula di Colebrook-White.

Nei problemi di verifica, come quello che ci si appresta a risolvere mediante l'utilizzo di AQUIS, per ogni condotta del sistema e per ogni nodo, risultano noti:

- Lunghezza;
- Diametro;
- Scabrezza;

- Un valore di carico piezometrico (solitamente nel punto di alimentazione);
- Portate erogate ai nodi.

Le incognite risultano pertanto:

- Distribuzione delle portate circolanti nelle condotte;
- Carichi piezometrici ai nodi.

Si avranno dunque $l + n - 1$ incognite in $l + n - 1$ equazioni, per cui il problema risulta determinato matematicamente.

Tuttavia, essendo un problema non lineare, risulta necessario un metodo iterativo e nello specifico AQUIS utilizza l'algoritmo del gradiente ideato da Todini e Pilati nel 1987, che risolve numericamente le due equazioni precedentemente descritte simultaneamente.

A tal proposito si ritiene opportuno sottolineare che i primi metodi sviluppati per la risoluzione dei problemi di verifica di reti idriche in pressione, quale ad esempio il metodo di Cross, consentivano di arrivare alla definizione della distribuzione delle portate e dei carichi, rispettivamente nei rami e nei nodi, partendo da valori di primo tentativo per le portate distribuite ed inoltre tale procedura applicata alla singola maglia doveva essere ripetuta per tutte le altre maglie per cui la velocità di convergenza della soluzione dipendeva dalla bontà del valore di primo tentativo e dalla grandezza della rete.

Al contrario, il metodo di Todini e Pilati presenta una serie di vantaggi:

- Non occorre assegnare portate di primo tentativo, ma solo portate erogate ai nodi;
- Non occorre prefissare i versi di percorrenza delle portate in quanto risultano conseguenza dell'assegnazione del nodo a monte e a valle di ciascun tratto;
- Il numero di iterazioni per la convergenza rimane costante quando si elaborano reti con numero di tratti crescenti (uguale o superiore a 60).

Il metodo proposto da Todini e Pilati applica la tecnica di Newton-Raphson al calcolo dei carichi piezometrici nei nodi e delle portate ed il problema è ricondotto analiticamente alla soluzione iterativa di un sistema di equazioni lineari. È sufficiente fissare almeno un nodo a quota piezometrica fissa (ad esempio un serbatoio) e le portate erogate ai nodi per il calcolo della rete [13].

I risultati forniti in output dal software sono:

- Per ogni nodo a cui è associato una portata (erogata all'utenza), carico piezometrico e pressione;
- Per ogni nodo a carico piezometrico fissato, portata entrante, uscente e pressione;
- Per ogni ramo della rete, portata, velocità e perdita di carico.

Il software Aquis permette di rappresentare una rete idrica in pressione mediante il processo di modellazione che consiste nel trasformare gli elementi reali costituenti la rete in elementi virtuali definiti nel software.

La rete irrigua in esame è stata rappresentata mediante un insieme di collegamenti (links) tra loro connessi mediante i nodi (nodes).

I collegamenti riproducono:

- le tubazioni (pipes);
- le valvole (valves);
- le pompe (pumps).

I nodi rappresentano invece:

- le giunzioni (junctions) ossia nodi in cui non vi è immagazzinamento d'acqua e fungono da semplice collegamento;
- le sorgenti (sources) ossia nodi di ingresso per l'acqua di capacità illimitata;
- i serbatoi (reservoirs) ossia nodi di immagazzinamento d'acqua;
- i punti di consumo d'acqua (consumers).

A questi, che sono gli elementi cosiddetti “fisici” del sistema, si aggiungono quelli “non fisici” che sono di tre tipologie:

- controlli (controls);
- curve caratteristiche (curves);
- Flow Control Zone (FCZ).

Ai nodi è necessario assegnare l'elevazione sulla quota di riferimento, che Aquis è in grado di acquisire automaticamente, e la domanda idrica che può essere variabile nel tempo o nulla nel caso in cui il nodo funge solo da collegamento. I risultati forniti dal software sui nodi sono, come riportato in figura:

- pressione;
- carico idraulico;
- flusso di massa;
- flusso di volume.

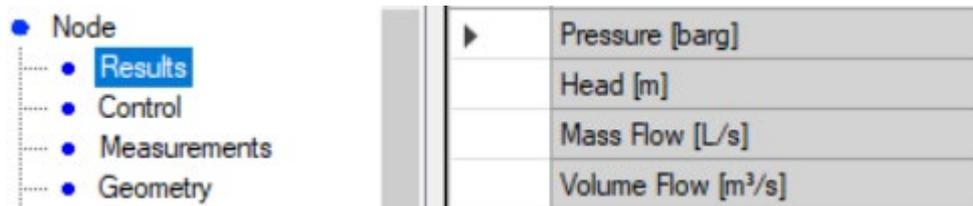


Fig. 3.2 Node Results

Le sources, ossia le sorgenti, sono dei nodi che riproducono punti di immissione illimitata di acqua in rete e si ricorre a tale tipologia quando è necessario assegnare un carico idraulico costante come condizione al contorno della rete.

Essendo definite come nodi, le sorgenti presenteranno i medesimi risultati prima definiti.

I reservoirs, ossia i serbatoi, sono dei nodi dotati di capacità di immagazzinamento di acqua ed il loro volume può variare nel tempo durante la simulazione.

Per definire un serbatoio risulta necessario assegnare:

- l'elevazione sulla quota di riferimento;
- livello minimo acqua;
- livello massimo acqua;
- curva dei volumi.

I risultati forniti dalla simulazione sono, come riportato in figura:

- livello;
- pressione;
- carico idraulico;
- flusso di massa;
- volume ad un dato istante temporale.

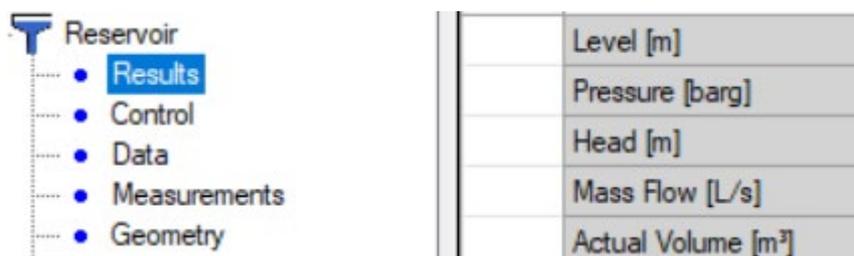


Fig. 3.3 Reservoir Results

Come anticipato, alla categoria “links” appartengono invece: condotte, valvole e pompe.

Le pipes, ossia le condotte, sono definite da un ID e da due nodi, uno di monte, upstream, ed uno di valle, downstream. La direzione del flusso d’acqua al loro interno è determinata dal carico idraulico presente sui predetti nodi e naturalmente l’acqua si muoverà dal carico maggiore verso il carico minore.

Ad ogni condotta devono essere assegnate le seguenti caratteristiche, come riportato in figura:

- nodo di monte e nodo di valle;
- materiale (type);
- diametro interno;
- scabrezza;
- lunghezza.

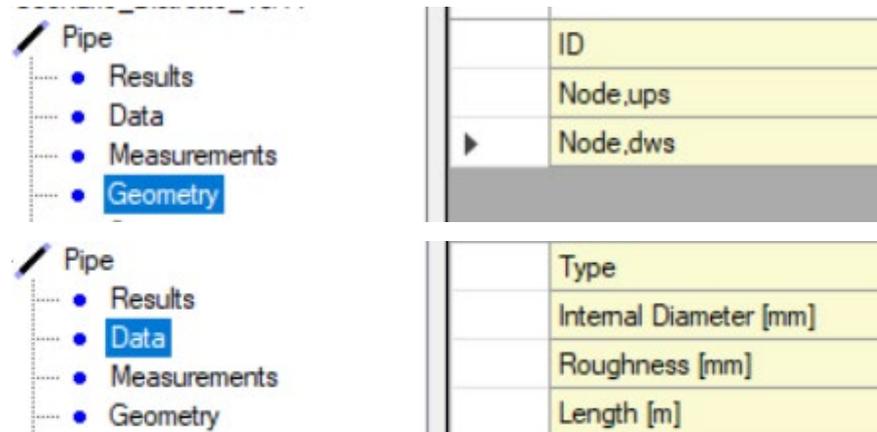


Fig. 3.4 Pipe Data & Geometry

I risultati forniti dalla simulazione sono, come riportato in figura:

- pressione di monte;
- pressione di valle;
- carico a monte;
- carico a valle;
- gradiente di pressione;
- flusso di massa;
- flusso di volume;
- velocità acqua.

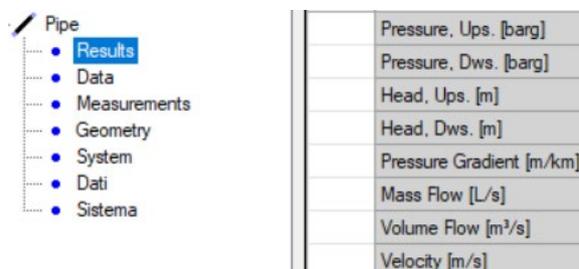


Fig. 3.5 Pipe Results

Le valves, ossia le valvole, possono essere inserite per svariati scopi e le principali tipologie utilizzabili ai fini della simulazione sono:

- FCV (Flow Control Valve): utilizzate per garantire che il valore di controllo del flusso, definito come serie storica, venga mantenuto.
- ACV (Altitude Control Valve): valvole il cui grado di apertura è controllato dalla vasca in cui confluisce la condotta sulla quale è posta la stessa.
- PRV (Pressure Reducing Valve): utilizzate per mantenere entro un certo limite il valore di pressione sul nodo di valle della valvola;
- PSV (Pressure Sustaining Valve): utilizzate per mantenere entro un certo limite il valore di pressione sul nodo di monte della valvola;
- NRV (Not Return Valve): valvole che obbligano la direzione del flusso da monte verso valle;

Le valvole sono modellate dal software come archi di lunghezza infinitesima e risulta necessaria la definizione di un nodo di monte, uno di valle e del diametro.

A seconda della tipologia di valvola definita, occorrerà definire un determinato “control” ed in ogni caso il K_v della valvola, ossia il coefficiente di portata corrispondente alla portata in m³/h a 20°C che provoca una perdita di carico attraverso la valvola pari a 10 m di colonna d’acqua; nello specifico in AQUIS occorrerà inserire il valore corrispondente al grado di apertura massimo.

I risultati forniti in output dalla simulazione sono, come riportato in figura:

- Variazione di pressione;
- Pressione a monte;
- Pressione a valle;
- Carico a monte;
- Carico a valle;
- Flusso di massa;
- Flusso di volume;
- Apertura attuale.

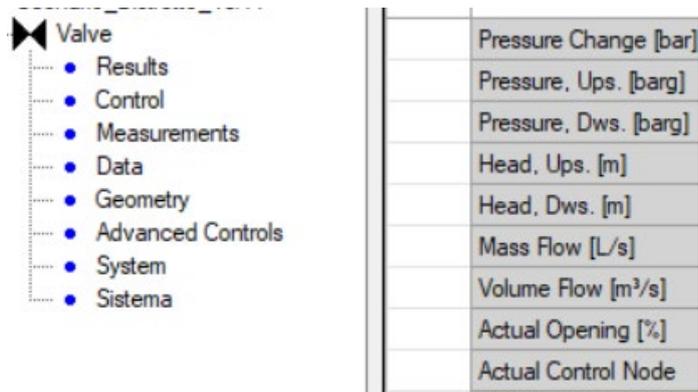


Fig. 3.6 Valve Results

Infine le pumps, ossia le pompe, sono elementi che si inseriscono sulle condotte e generano un aumento di carico dell'acqua. Per inserire una pompa è necessario definire:

- nodo di monte e nodo di valle;
- curva caratteristica che relaziona la portata e la prevalenza dell'acqua.

Nella modellazione delle pompe, AQUIS, fa riferimento all'ipotesi che l'acqua scorra in una sola direzione ed in quest'ottica risulta fondamentale la corretta definizione del nodo di monte e del nodo di valle. È inoltre possibile specificare lo stato iniziale (acceso o spento) e farlo variare in funzione del livello dell'acqua nel serbatoio servito.

I risultati forniti in output dalla simulazione, come mostrato nella figura seguente, sono:

- Variazione di pressione;
- Pressione a monte;
- Pressione a valle;
- Carico a monte;
- Carico a valle;
- Flusso di massa;
- Flusso di volume;
- Velocità;
- Potenza attuale;
- Costo energia attuale;
- Numero attuale di pompe;
- Nodo attuale controllato.

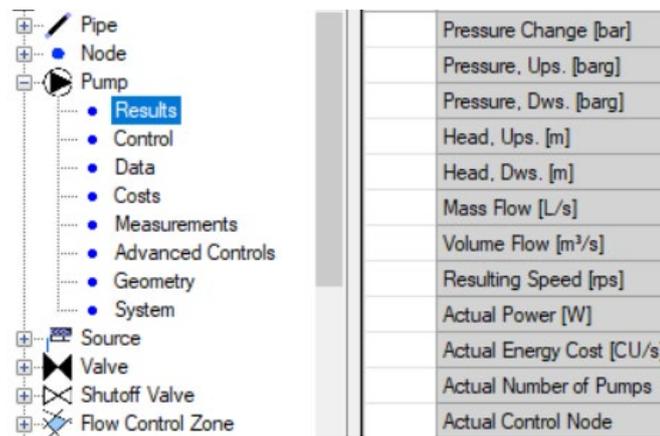


Fig. 3.7 Pump Results

Alla definizione della parte fisica della rete idrica, come già anticipato, occorre associare gli elementi “non fisici” del sistema ossia quelli che permettono di descrivere le condizioni operative della rete irrigua:

- Control: sono tutte le indicazioni che devono essere necessariamente fornite al software per far sì che la simulazione avvenga correttamente. In particolare nella definizione del modello si è fatto riferimento a controlli su nodi, serbatoi, valvole e pompe.
- Curves: nello specifico sono state introdotte due tipologie di curve, una relativa alla definizione dei serbatoi, l’altra relativa alle pompe.

Per ciascun serbatoio è stata introdotta una curva dei volumi ossia una curva che associa ad ogni livello nel serbatoio il corrispondente volume d’acqua presente al suo interno. Si riporta nella figura 3.8 un esempio.

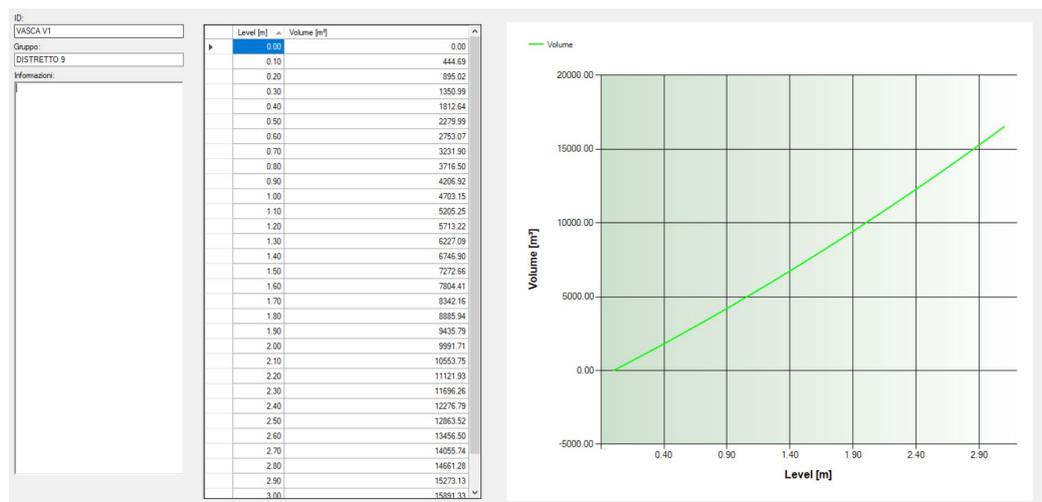


Fig. 3.8 Volume Curve

Per ciascuna pompa invece è stata introdotta la cosiddetta “curva caratteristica” che lega portata e prevalenza, come mostrato nella figura 3.9:

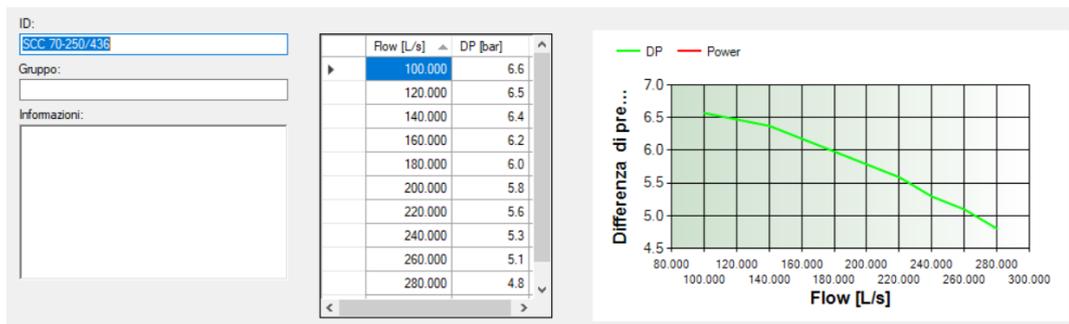


Fig. 3.9 Pump Curve

- Flow Control Zone (FCZ): corrispondo al concetto di “distretto idrico”, ossia una zona di rete delimitata della quale si conoscono le portate in ingresso e uscita e per la quale è possibile ottenere un bilancio idrico.

Una Flow Control Zone, dalla conoscenza, istante per istante, della portata netta richiesta nel tratto di rete, permette di calcolare un fattore di adattamento (AF) sulla base dei valori di portata assegnati ai nodi, tramite il quale si calibrano automaticamente le domande idriche dei medesimi nodi.

In particolare il fattore di adattamento (AF) è calcolato dalle FCZ come il rapporto tra le portate immesse in rete e le portate totali assegnate come domande ai nodi [14 15].

3.2 Costruzione del modello della rete irrigua

La costruzione del modello della rete irrigua in esame può suddividersi in due fasi principali:

- 1) Realizzazione dello schema topologico della rete;
- 2) Importazione dello schema topologico della rete su AQUIS e caratterizzazione idraulica.

In entrambe le fasi risulta di fondamentale importanza il reperimento dei dati necessari e sufficienti alla creazione del modello della rete idrica in pressione, in particolar modo in funzione della successiva fase di calibrazione da cui dipenderà la bontà del modello stesso.

Nello specifico, per realizzare il modello si è utilizzato, nella prima fase, il software QGIS e nella successiva, il software AQUIS.

3.2.1 Prima fase: Realizzazione dello schema topologico della rete

Come già anticipato nel paragrafo relativo alla descrizione dei software utilizzati, il QGIS è un software che permette di gestire dati geografici consentendo l'acquisizione, anche da fonti diverse, la visualizzazione e la rappresentazione mediante i cosiddetti shapefile.

Uno shapefile è un formato di archiviazione di dati vettoriali, sviluppato da Esri (Environmental System Research Institute), di sistemi georeferenziati per archiviarne la posizione, la forma e gli attributi; esso è costituito da un insieme di file caratterizzati dallo stesso nome ma con diversa estensione.

Uno shapefile contiene almeno tre file, che devono essere salvati nella stessa cartella, con la seguente estensione:

- .shp: contiene le geometrie della mappa;
- .shx: conserva l'indice delle geometrie;
- .dbf: contiene gli attributi degli elementi in un database.

A tali estensioni si aggiunge quella .prj che contiene le informazioni riguardo il sistema di riferimento utilizzato.

In ambiente GIS si è dunque proceduto alla creazione di un nuovo progetto il cui obiettivo è la realizzazione dello schema topologico della rete. Per schema topologico si intende il modello geometrico finalizzato a rappresentare le relazioni di connettività tra gli elementi che costituiscono la rete, ossia nodi e rami.

Occorre, in prima battuta, impostare il sistema di riferimento del progetto mediante l'opzione CRS (Coordinate Reference System) per tutti i layer che si andranno a definire nel progetto, nel caso in esame il WGS 84 / UTM 33N (coordinate piane).

3.2.1.2 Identificazione dei punti quotati generati dal DTM

Preliminarmente si è proceduto ad introdurre nel GIS l'informazione che caratterizza altimetricamente l'area geografica interessata dalla rete ricavandone l'andamento plano-altimetrico degli elementi costituenti la stessa, che consente successivamente di verificare la congruità dei carichi idraulici.

Il SIT (Sistema Informativo Territoriale) della regione Puglia è lo strumento che rende disponibili i servizi WMS (Web Map Service) e nel presente elaborato si è utilizzato per reperire i DTM, acronimo di Digital Terrain Model, del territorio in esame, che rappresentano l'andamento della superficie del suolo senza gli elementi antropici e vegetazionali.

Dunque l'inserimento dei DTM è stato realizzato dopo aver effettuato il download degli shapefile di interesse dal sito del SIT della Regione Puglia. In particolare ci si è focalizzati sull'area di interesse che ricopre i territori di Torremaggiore, San Severo, San Paolo Civitate, Apricena, Poggio Imperiale e Lesina. Il territorio viene suddiviso in fogli identificati da un numero costituito da sei cifre, le prime tre che richiamano il foglio e le ultime tre che si riferiscono ad una determinata sezione. All'interno di ciascun foglio vi è un numero di DTM variabile in funzione della dimensione dell'area, di estensione .asc che indica un file di testo che permette di rappresentare l'altimetria del territorio. Tale file è come se fosse una fotografia che ad ogni pixel associa una quota sul livello del mare.

Si riporta, a titolo esemplificativo, l'interfaccia del sito del SIT in cui sono presenti i file scaricati ed importati sul GIS, in riferimento al territorio di Torremaggiore.

Cartografia CTR, DTM, Ortofoto, UDS e Carte Idrogeomorfologiche

Selezione foglio: 395 - Torremaggiore

Riepilogo situazione 395 - Torremaggiore

10 Records per pagina

Tipologia	Numero File	Dettaglio
Aggiornamento al 2011 dell'Urbanizzato	1	Vai al dettaglio
Aggiornamento al 2011 dell'Uso del Suolo 2006	1	Vai al dettaglio
Carta Tecnica Regionale formato PDF	53	Vai al dettaglio
Carta Tecnica Regionale formato Shape	53	Vai al dettaglio
Carte Idrogeomorfologiche formato PDF	1	Vai al dettaglio
Carte Idrogeomorfologiche formato Shape	1	Vai al dettaglio
Digital Terrain Model	53	Vai al dettaglio
Ortofoto	53	Vai al dettaglio
Reti Planoaltimetriche	68	Vai al dettaglio
Uso Del Suolo 2006	53	Vai al dettaglio

Pagina precedente 1 Pagina successiva



Fig. 3.10 DTM Torremaggiore

Dopo aver eseguito il download dei suddetti file si è proceduto a caricarli in ambiente GIS e a sovrapporli per avere la completa configurazione geografica dell'area di interesse; in particolare QGIS dà la possibilità di evidenziare la diversa natura del territorio con una gradazione del colore che è stata impostata su una scala variabile dal verde per le zone pianeggianti al rosso per quelle con quota più elevata.

In seguito, si sono estratte dal DTM, le curve di livello con un'equidistanza pari a 10 m.

Si mostra di seguito la sovrapposizione dei suddetti shapefile con la mappa disponibile in ambiente GIS, nello specifico Google Satellite.

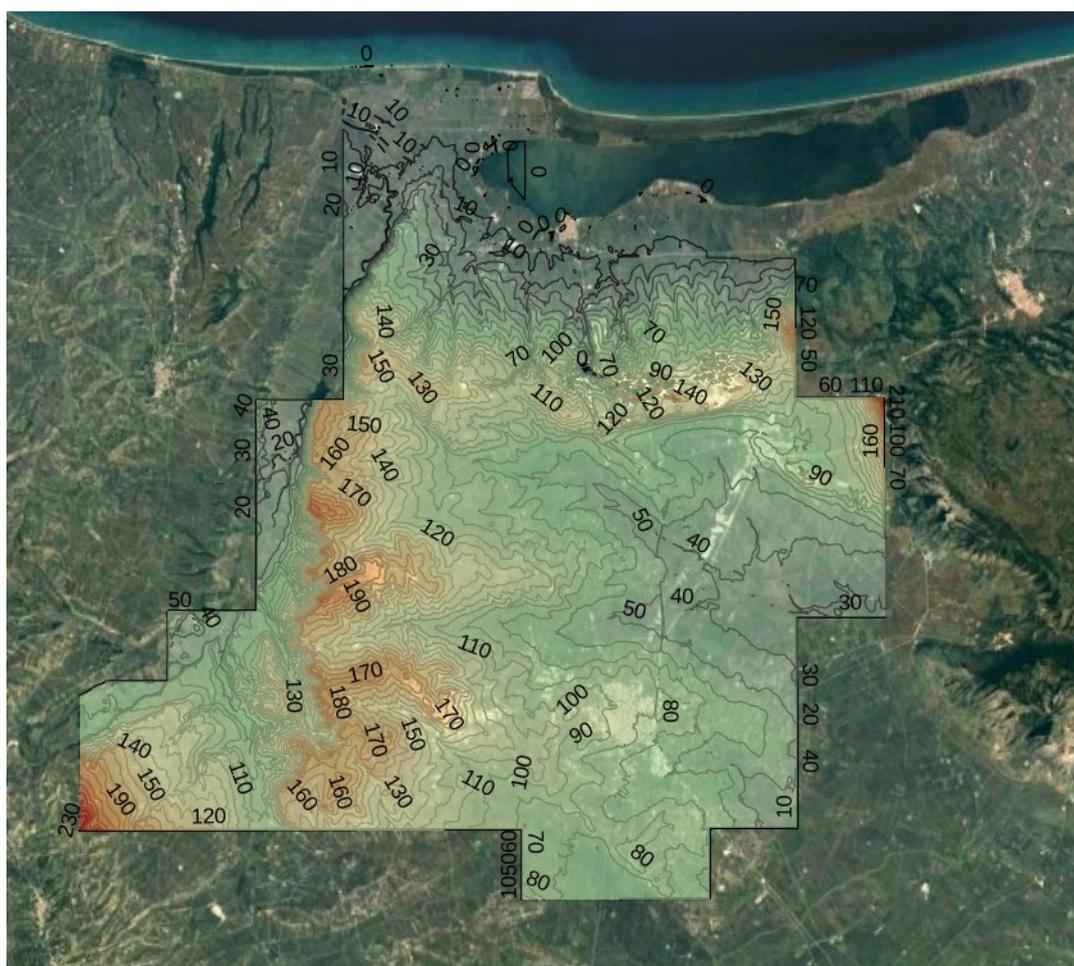


Fig. 3.11 Sovrapposizione Google Satellite e DTM

3.2.1.3 Raccolta ed elaborazione dei dati della rete

La rete irrigua in esame, come già anticipato, è costituita da due tipologie di condotte:

- condotte di adduzione primaria;
- condotte di ripartizione.

Le prime hanno origine dalle “sorgenti” e terminano nelle vasche mentre le seconde collegano le vasche ai comizi.

Si rimanda alla tavola n.3 – Schema idraulico unifilare distretti n.9, n.10 e n.11.

Noto il supporto georeferenziato del territorio sul quale si sviluppa la rete irrigua si è proceduto al download degli shapefile, forniti dal Consorzio, necessari alla definizione della rete idrica, nello specifico i seguenti:

- Condotte;
- Vasche;
- Prese;
- Piezometri;
- Camerette pozzetti;
- Sfiati;
- Scarichi;
- Saracinesche.

Questi ultimi sono stati verificati ed integrati con gli elementi aggiuntivi necessari per una completa definizione della rete ricavati dopo un attento studio della documentazione storica.

Ciascun shapefile è stato importato sullo stesso file sul quale si era definito il DTM e le curve di livello del territorio di studio mediante l’opzione di caricamento del vettore fornito da QGIS in cui risulta necessario indicare il percorso del file di interesse.

Ogni shapefile, sul QGIS, risulta essere rappresentato da un layer diverso che può essere attivato o meno a seconda delle esigenze.

Si è deciso inoltre di suddividere i layer in gruppi in funzione della loro origine; in particolare si sono creati i seguenti gruppi, come evidenziato anche dalla figura 3.12:

- Da Capitanata: contiene gli shapefile reperiti dal Consorzio;
- Di completamento: contiene gli shapefile creati manualmente in cui sono presenti tutte le modifiche e gli elementi aggiuntivi necessari per una corretta definizione della rete;
- DTM e curve di livello: contiene gli shapefile reperiti dal SIT;
- Sfondi: contiene gli shapefile di sfondo.

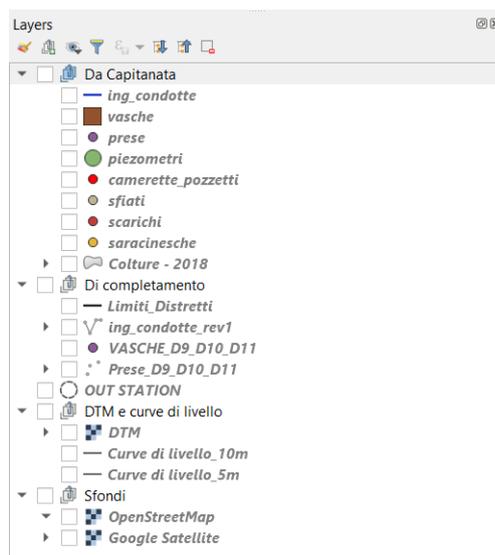


Fig. 3.12 Layer

Ogni shapefile contiene una tabella degli attributi in cui sono presenti le caratteristiche degli elementi considerati. Si mostrano di seguito le tabelle degli attributi per gli elementi principali costituenti la rete irrigua, facendo riferimento in prima battuta agli shapefile forniti dal Consorzio:

- CONDOTTE

ing_condotte — Features Total: 559, Filtered: 559, Selected: 0

RetelID	DISTRETTO	TIPO	TRONCO	DIAMETRO	MATERIALE	PRESSIONE	PORTATA	DITTA_COST	DATA_POSA	
1	11	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	AC	10 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
2	12	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	10 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
3	13	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	8 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
4	14	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	6 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
5	16	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	10 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
6	32	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2500	AC	4 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
7	33	Sifone dello Staina	AD	Canne d'ingresso	2600	CAP	4 atm	9 mc/s	NULL	2015-02-04
8	49	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	4 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
9	71	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	8 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
10	72	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	8 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
11	76	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	6 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
12	77	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	6 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
13	136	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	8 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
14	137	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	8 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
15	138	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	AC	10 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
16	139	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	AC	10 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
17	140	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	8 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
18	243	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	6 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03
19	244	Sifone dello Staina	AD	Raddoppio	2600	CAP	6 atm	9 mc/s	SAFAB-VIANINI	1995-10-03

Show All Features

Fig. 3.13 Condotte

Ogni condotta costituente la rete è caratterizzata da un codice identificativo, dal nome del distretto a cui appartiene, dal tipo (adduttrice o ripartitrice), dal diametro in mm, dal materiale, da un valore di pressione e portata, dal nome della ditta costruttrice e dalla data di posa.

- VASCHE

VASCAID	DISTRETTO	DESCRIZIONE
1	1 SX-OFANTO 4	VASCA 4
2	2 SX-OFANTO 5	VASCA 5
3	3 SX-OFANTO 11	VASCA 11
4	4 SX-OFANTO 13-...	VASCA 13-14
5	5 SX-OFANTO 8	VASCA 8
6	6 SX-OFANTO 8	SX-OFANTO - VASCA_8
7	7 FORTORE 10/A	VASCA 4
8	8 FORTORE 1	VASCA 6
9	9 FORTORE 8	VASCA 1
10	10 FORTORE 9	VASCA 3
11	11 FORTORE 9	VASCA 1
12	12 FORTORE 10/D	VASCA 1
13	13 FORTORE 8	VASCA 4
14	14 FORTORE 8	VASCA 3
15	15 FORTORE 8	VASCA 5

Fig. 3.14 Vasche

Ogni vasca risulta essere caratterizzata da un codice identificativo, dal nome del distretto a cui appartiene e da una descrizione nella quale è presente la nomenclatura che consente di identificarla. Come si può notare nella figura 3.14 in tale shapefile sono contenute tutte le vasche gestite dal Consorzio, appartenenti dunque anche a distretti non oggetto di studio, motivo per cui è stato necessario creare un nuovo layer in cui sono presenti esclusivamente le vasche dei distretti analizzati, con attributi aggiuntivi, come verrà mostrato nel seguito.

- PRESE COMIZIALI

PSID	DIAMETRO	PORTAT_OUT	DISTRETTO	COMIZIO	Diametro_1
1	160	500	435 Fortore 06/A	15	500.000
2	142	500	400 Fortore 05/B	14	500.000
3	172	500	365 Fortore 06/A	27	500.000
4	150	500	310 Fortore 06/A	6	500.000
5	175	500	305 Fortore 06/A	30	500.000
6	176	500	305 Fortore 06/A	31	500.000
7	969	400	300 Ofanto 12/0	9	400.000
8	996	400	300 Ofanto 14/0	16	400.000
9	1013	500	300 Ofanto 16/0	1	500.000
10	1015	500	300 Ofanto 16/0	4	500.000
11	707	500	265 Fortore 12/0	44	500.000
12	168	400	260 Fortore 06/A	23	400.000
13	139	400	255 Fortore 05/B	11	400.000
14	173	400	255 Fortore 06/A	28	400.000
15	686	450	250 Fortore 12/0	23	450.000
16	691	450	250 Fortore 12/0	28	450.000
17	698	400	250 Fortore 12/0	35	400.000
18	971	450	250 Ofanto 13/0	2	450.000
19	973	450	250 Ofanto 13/0	4	450.000
20	989	450	250 Ofanto 14/0	9	450.000
21	192	500	245 Fortore 06/B	9	500.000
22	202	500	235 Fortore 06/B	19	500.000

Fig. 3.15 Prese

Ciascuna presa risulta essere individuata da un codice identificativo, dal diametro, dal valore massimo di capacità di portata della stessa in l/s, dal distretto in cui è collocata, dal numero identificativo del comizio servito e dal diametro. Analogamente alle vasche anche per le prese è stata necessaria la creazione di un nuovo layer in cui sono state definite solo quelle appartenenti ai distretti di interesse, come verrà approfondito di seguito.

Si mostra un'immagine estratta dal GIS in cui sono attivi i layer degli shapefile predetti resi disponibili da Capitanata che sono stati utilizzati come punto di partenza per la realizzazione dello schema topologico della rete irrigua.

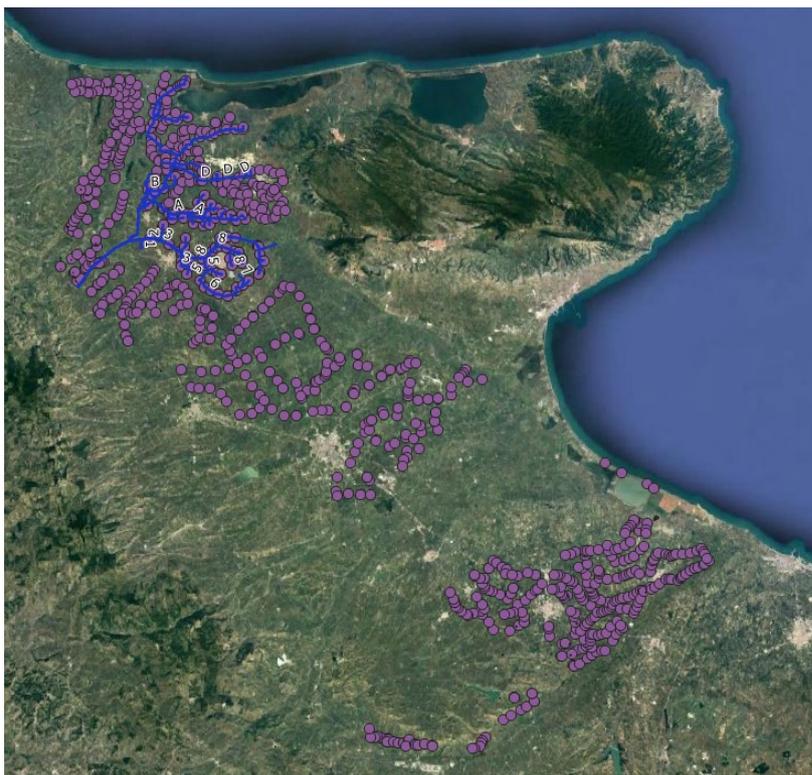


Fig. 3.16 Shapefile da Capitanata

Poiché gli shapefile forniti dal Consorzio, risultano incompleti e affetti da errori, è stato necessario condurre un'analisi di studio della documentazione progettuale relativa ai distretti in analisi n. 9 – n.10 – n.11.

In prima battuta, è stato creato, a partire dallo studio della corografia dello schema idrico in esame, uno shapefile, denominato “Limiti Distretti” contenente i limiti dei distretti; ciò risulterà un'azione di rilevante importanza soprattutto in relazione alla fase di assegnazione delle prese a ciascun ripartitore e conseguentemente all'analisi di funzionamento dei sub-distretti.

Si riporta di seguito un estratto del GIS in cui sono è attivo soltanto il layer riferito ai limiti dei distretti:

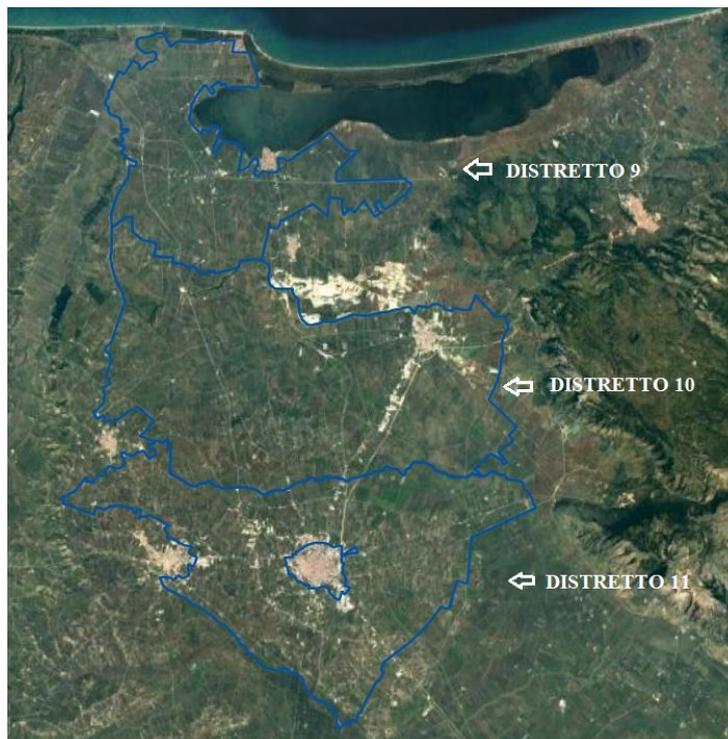


Fig. 3.17 Limiti Distretti

Dopo aver stabilito i limiti dei distretti, è stata effettuata una verifica della completezza e della congruenza dei dati inseriti provvedendo all'integrazione degli elementi mancanti e alla corretta identificazione della posizione planimetrica sfruttando le evidenze dei manufatti a piano campagna mediante l'utilizzo delle relazioni tecniche di progetto originario congiuntamente a planimetrie e schemi idraulici più recenti.

La precisione e la correttezza dei dati caratterizzanti il sistema (definizione del tracciato in termini geografici, planimetrici ed altimetrici, corretta assegnazione dei materiali, dei diametri e del tipo di condotta) concorrono a facilitare la verifica e la calibrazione del modello.

Si riporta di seguito un esempio dell'integrazione effettuata per la rete del distretto 10/B, nello specifico per tracciare le condotte di adduzione e ripartizione rispettivamente in entrata ed uscita dalla vasca B1 e di ripartizione in uscita dalla vasca B2.

Nel caso descritto si è fatto riferimento ad una planimetria su base catastale risalente all'anno 1995 di cui si riporta un estratto:

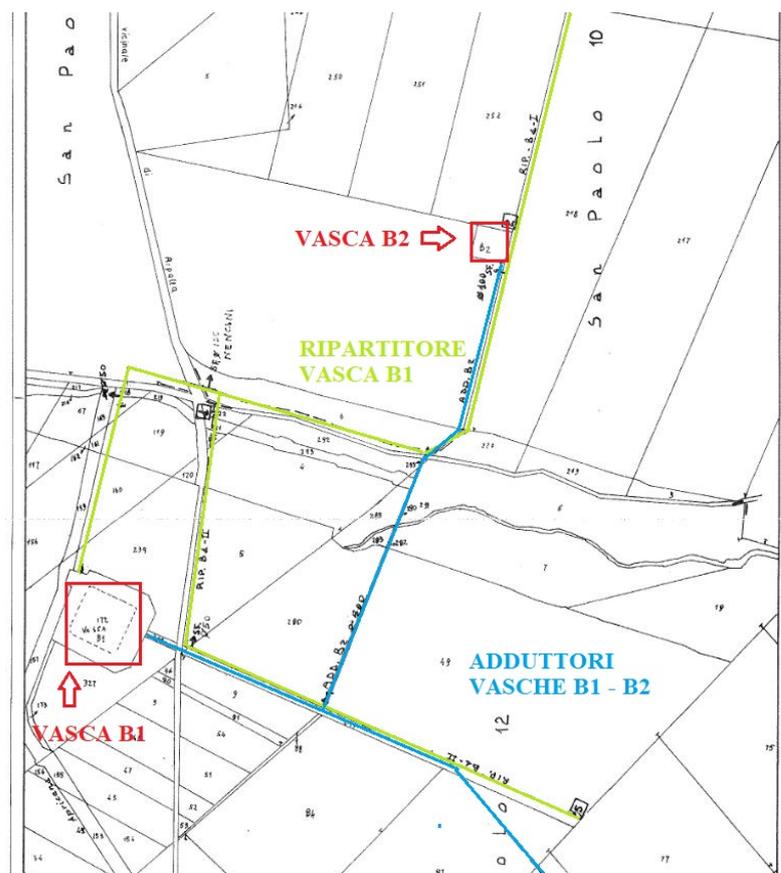


Fig. 3.18 Planimetria catastale distretto 10/B (anno 1995)

Una volta individuate le condotte mancanti, in funzione della tipologia, del materiale e del diametro, le si sono riportate sul GIS, con i relativi attributi, come mostrato dalla figura 3.19:



Fig. 3.19 Estratto GIS – Vasche B1 e B2

Nello specifico si è andato a definire un layer denominato “ing_condotte_rev1”, appartenente al gruppo “Di completamento”, in cui si è proceduto ad una caratterizzazione mediante colori diversi delle condotte stesse in funzione della tipologia, come mostrato nella figura 3.20:

Si riporta per completezza un estratto del GIS in cui sono presenti tutte le condotte aggiunte a partire dalle planimetrie di progetto con relativa tabella degli attributi:

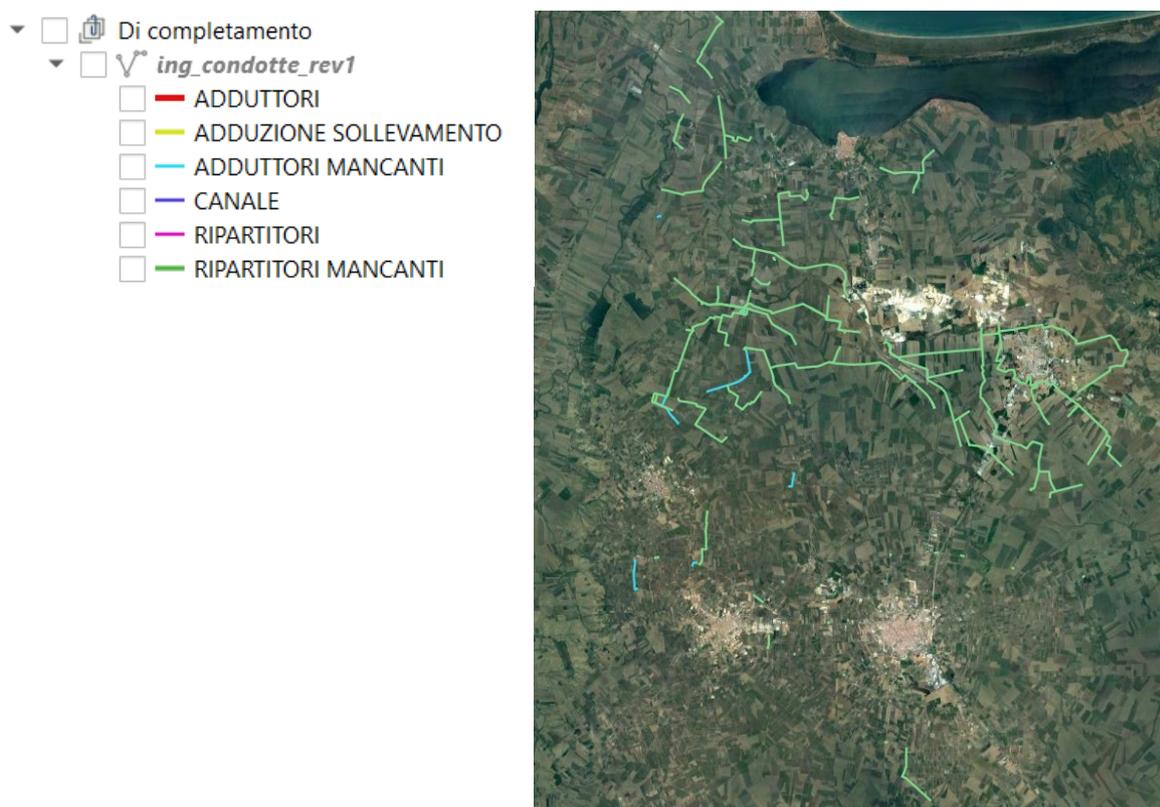


Fig. 3.20 Condotte integrate

Come evidente dalla figura 3.20 le condotte mancanti risultano essere quasi totalmente ripartitori.

Successivamente si è passati alla definizione delle vasche di compenso presenti nei distretti oggetto di analisi per le quali è stato dedicato un layer denominato “VASCHE_D9_D10_D11”. A partire dalla documentazione reperita da Capitanata e mediante l’ausilio dell’ortofoto, si è proceduto a:

- 1- Determinare la posizione geografica delle vasche;
- 2- Assegnare il nome della vasca, la quota di fondo ed il livello massimo dell’acqua in essa contenuta, verificandone la congruenza con il DTM;

Si riporta un estratto del GIS in cui sono presenti tutte le vasche appartenenti ai distretti di interesse e la relativa tabella degli attributi:



Fig. 3.21 Vasche D9 – D10 – D11

Q VASCHE_NUOVO — Features Total: 25, Filtered: 25, Selected: 0

VASCAID	DISTRETTO	DESCRIZIONE	QUOTA_FOND	LIVELLO_MA	
1	10003	FORTORE 10/A	VASCA DI CARICO SIFONE DI APRIGENA	140.700	2.650
2	10002	PAGLIARA	VASCA NUOVA DI PAGLIARA	144.200	2.650
3	10001	DISTRETTO 10/C	MANUFATTO TERMINALE APRIGENA	132.000	5.700
4	53	FORTORE 10/D	DISCONNETTORE 4	98.000	4.000
5	52	FORTORE 10/D	DISCONNETTORE 3	88.000	4.000
6	51	FORTORE 10/D	DISCONNETTORE 2	93.000	4.000
7	50	FORTORE 10/D	DISCONNETTORE 1	114.000	4.000
8	49	FORTORE 9	DISCONNETTORE D	62.380	0.92
9	40	FORTORE 10/C	VASCA C1	140.000	3.600
10	38	FORTORE 10/B	VASCA B1	137.700	3.500
11	37	FORTORE 10/A	VASCA A1	138.710	3.300
12	36	FORTORE 11	VASCA 1	191.000	4.000
13	35	FORTORE 11	VASCA 2	142.000	5.000
14	31	FORTORE 11	VASCA 3	102.000	5.000
15	26	FORTORE 9	VASCA V2	90.300	3.000
16	25	FORTORE 10/B	VASCA B3	106.400	3.400
17	24	FORTORE 10/B	VASCA B2	124.600	3.400
18	23	PAGLIARA	VASCA DI PAGLIARA VECCHIA	143.600	2.900
19	22	FORTORE 10/A	VASCA A3	115.360	3.300
20	21	FORTORE 10/A	VASCA A2	135.310	3.300
21	17	FORTORE 10/C	VASCA C2	139.500	3.300
22	12	FORTORE 10/D	VASCA D	130.000	5.000
23	11	FORTORE 9	VASCA V1	130.800	3.000
24	10	FORTORE 9	VASCA V3	70.300	4.000
25	7	FORTORE 10/A	VASCA A4	95.500	3.300

Show All Features

Fig. 3.22 Tabella attributi vasche D9 – D10 – D11

Si riporta inoltre un esempio della procedura seguita per collocare la vasca 1 del distretto 11 e definirne gli attributi:

- VASCA 1 (DISTRETTO 11)

1) Identificazione posizione geografica da planimetria catastale e ortofoto:

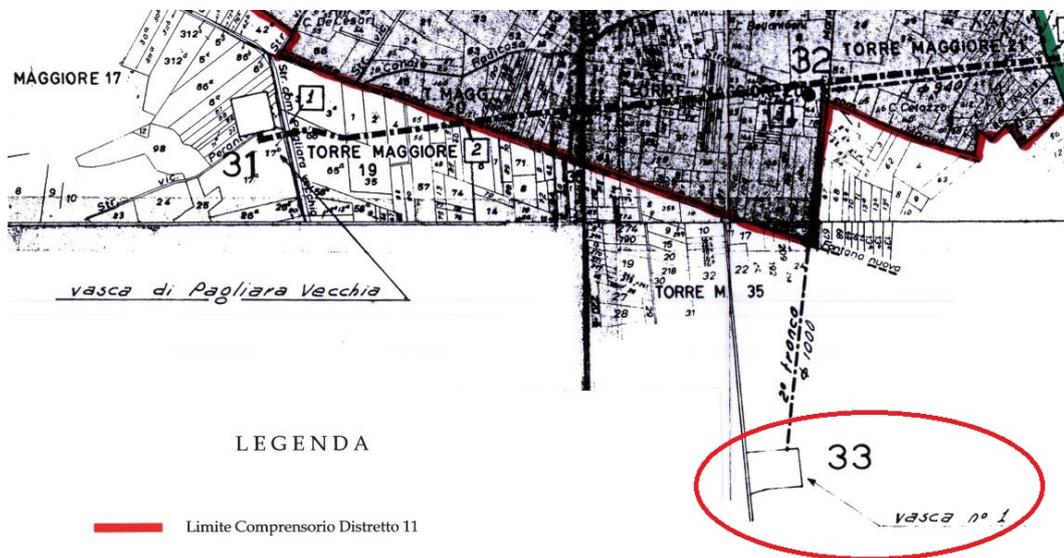


Fig. 3.23 Planimetria catastale vasca 1 – D11



Fig. 3.24 Ortofoto vasca 1 – D11

- 2) Studio sezione della vasca per determinare la quota di fondo ed il livello massimo d'acqua in essa contenuta verificandone la congruenza con il DTM:

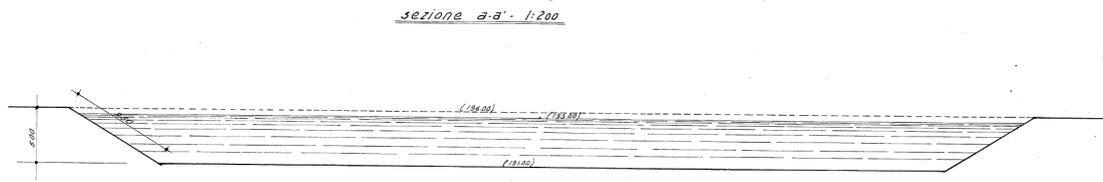


Fig. 3.25 Sezione vasca 1

L'ultima operazione eseguita su QGIS concerne le prese comiziali. Si è definito il layer denominato "PRESE_D9_D10_D11" contenente le sole prese appartenenti ai distretti di interesse. Si è in particolare caratterizzato il layer mediante categorizzazione delle prese con colori diversi in funzione del distretto di appartenenza e numerazione come dettato dal Consorzio in relazione ai comizi serviti, come si può evincere dalle figure 3.26 e 3.27:

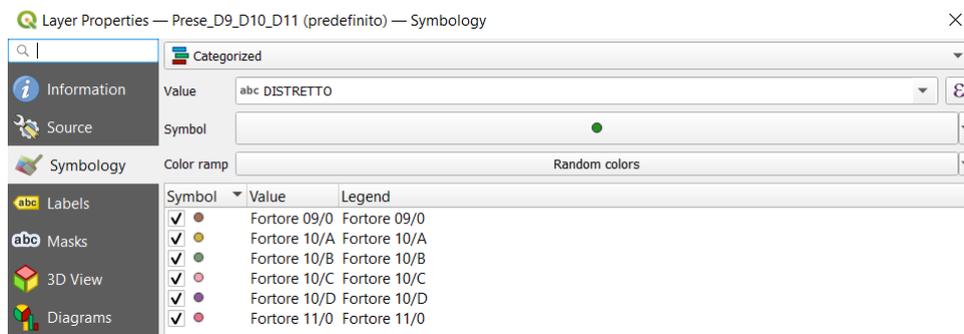


Fig. 3.26 Simbologia Prese D9 – D10 – D11

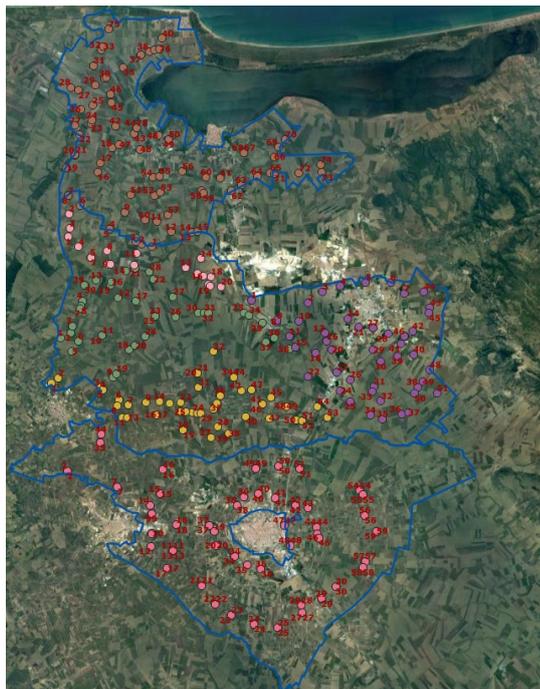


Fig. 3.27 Estratto GIS – Prese D9 – D10 – D11

Ciascuna presa, come già anticipato, risulta essere individuata da un codice identificativo, dal diametro, dal valore massimo di capacità di portata della stessa in l/s, dal distretto in cui è collocata, dal numero identificativo del comizio servito e dal diametro come evidente dall'estratto della relativa tabella degli attributi riportata di seguito:

Prese_D9_D10_D11 — Features Total: 340, Filtered: 340, Selected: 0

	PSID	DIAMETRO	PORTAT_OUT	DISTRETTO	COMIZIO	Diametro_1
1	325	150	60	Fortore 09/0	1	150.000
2	326	200	60	Fortore 09/0	2	200.000
3	327	200	60	Fortore 09/0	3	200.000
4	328	200	60	Fortore 09/0	4	200.000
5	329	200	60	Fortore 09/0	5	200.000
6	330	200	60	Fortore 09/0	6	200.000
7	331	150	60	Fortore 09/0	7	150.000
8	332	150	60	Fortore 09/0	8	150.000
9	333	150	60	Fortore 09/0	9	150.000
10	334	150	60	Fortore 09/0	10	150.000
11	335	150	60	Fortore 09/0	11	150.000
12	336	150	60	Fortore 09/0	12	150.000
13	337	150	60	Fortore 09/0	13	150.000
14	338	150	60	Fortore 09/0	14	150.000
15	339	150	60	Fortore 09/0	15	150.000
16	340	200	0	Fortore 09/0	16	200.000
17	341	150	60	Fortore 09/0	17	150.000
18	342	150	60	Fortore 09/0	18	150.000
19	343	150	60	Fortore 09/0	19	150.000
20	344	150	60	Fortore 09/0	20	150.000
21	345	150	60	Fortore 09/0	21	150.000
22	346	150	60	Fortore 09/0	22	150.000

Fig. 3.28 Tabella attributi Prese D9 – D10 – D11

Si riporta infine un estratto del GIS in cui sono presenti tutti gli elementi costituenti la rete che concorrono alla corretta definizione topologica della stessa:

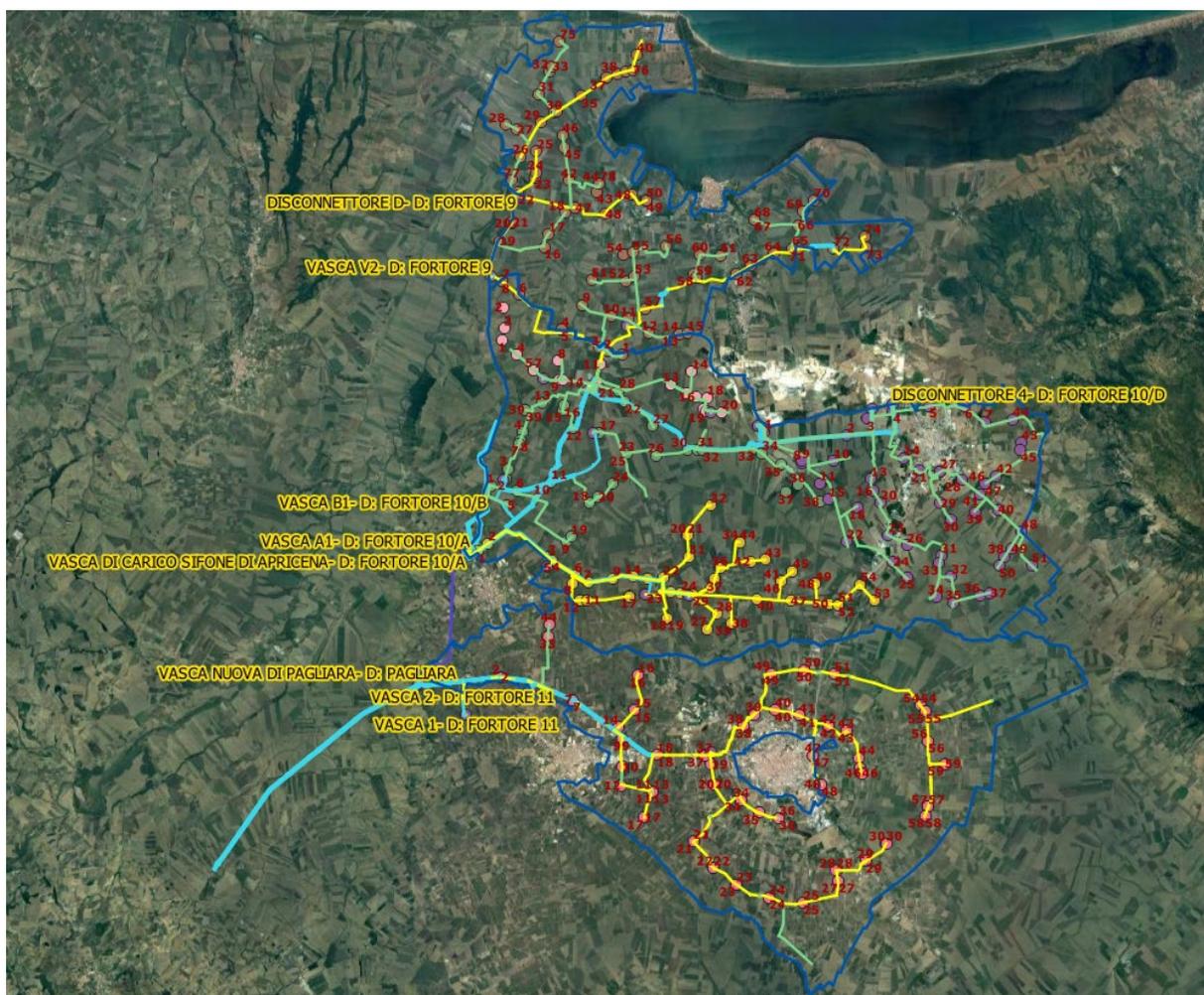


Fig. 3.29 Estratto GIS – Rete irrigua – D9 – D10 – D11

Si rimanda alla tavola n.4 – Ortofoto rete irrigua distretti n.9, n.10 e n.11.

3.2.2 Seconda fase: Importazione schema topologico della rete su AQUIS e caratterizzazione idraulica

Al termine della realizzazione dello schema topologico della rete su QGIS, per proseguire la costruzione del modello, si è proceduto ad importarlo sul software AQUIS.

Nello specifico occorre importare i layer definiti sul GIS mediante l'opzione "Importa Layer" fornita da AQUIS ed assegnare i cosiddetti "riferimenti incrociati" ossia stabilire una relazione tra l'attributo fornito sul GIS e quello predefinito in Aquis.

Si riporta a titolo esemplificativo l'assegnazione dei riferimenti incrociati per le condotte e per le vasche.

Per le condotte si è proceduto all'assegnazione degli attributi AQUIS come indicato nella figura 3.30:

Uso	EsternoAttributo	AquisAttributo	Grande...	Estemo...	Predefinito...
<input checked="" type="checkbox"/>	Diametro_1	Internal Diameter	Diameter	mm	
<input checked="" type="checkbox"/>	MATERIALE	Type			
<input checked="" type="checkbox"/>	length	Length	Length	m	
<input checked="" type="checkbox"/>	TRONCO	Comment			
<input checked="" type="checkbox"/>	DATA_POSA				
<input checked="" type="checkbox"/>	PORTATA				
<input checked="" type="checkbox"/>	PRESSIONE				
<input checked="" type="checkbox"/>	RetelID				
<input checked="" type="checkbox"/>	Categoria				
<input type="checkbox"/>					

Fig. 3.30 Riferimenti incrociati - Condotte

In particolare, a:

- Diametro_1, definito sul GIS e contenente il diametro interno della condotta in mm, si è associato l'attributo AQUIS "Internal Diameter" e come grandezza "Diameter" in "mm".
- MATERIALE si è associato "Type" che consente di associare a ciascuna condotta il materiale di cui essa è costituita come stringa.
- Length si è associato "Length" e come grandezza "Length" in "m".
- TRONCO si è associato "Comment" che consente di associare a ciascuna condotta il nome del tronco a cui appartiene come stringa.

Si è quindi proceduto ad implementare ulteriori parametri idraulici caratteristici della rete ed indispensabili per le successive elaborazioni, non definiti sul GIS:

- Assegnazione scabrezza delle condotte;
- Curva dei volumi delle vasche;
- Inserimento organi di regolazione (valvole);
- Inserimento impianti di sollevamento (pompe) e curve caratteristiche (curva di prevalenza);
- Affiliazione prese comiziali ai ripartitori.

Assegnazione scabrezza

È stato assegnato, mediante la funzione "LOOK UP" di AQUIS, un valore di scabrezza a ciascuna condotta in funzione del materiale di cui essa risulta essere costituita attraverso la creazione di una tabella, denominata "Tabella condotte", come riportato nella figura 3.31:

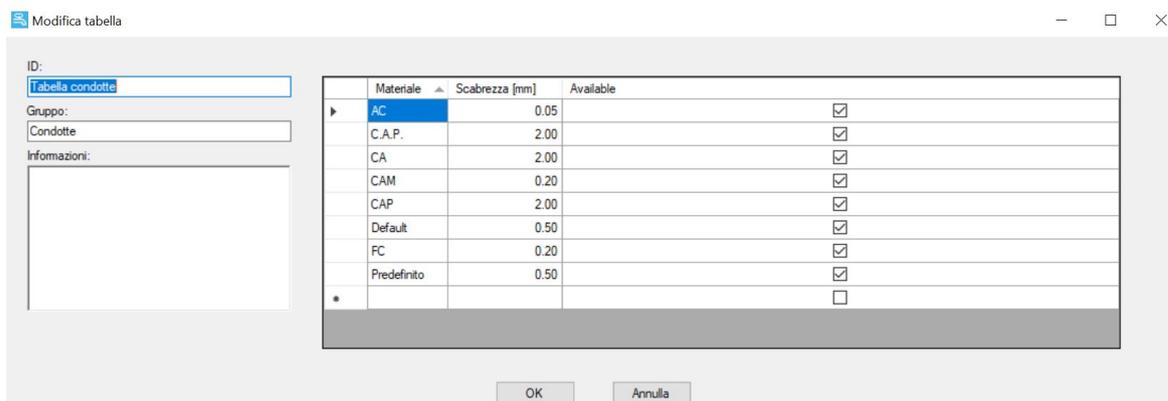


Fig. 3.31 Tabella materiale condotta - scabrezza

I materiali individuati, a partire dall'attributo definito sul GIS, sono i seguenti:

- Acciaio
- Cemento armato precompresso
- Cemento armato
- Cemento amianto
- Fibro-cemento

ai quali sono stati assegnati i valori di scabrezza equivalente di Moody riferiti a tubazioni usate. Per le vasche, invece, come si evince dalla figura 3.32, agli attributi definiti nella tabella GIS sono stati associati gli attributi di AQUIS e le relative grandezze ed unità di misura, in particolare a:

- DESCRIZIONE, contenente il nome della vasca, è stato associato "Comment", vale a dire l'attributo AQUIS che consente di associare a ciascuna vasca il suo nome identificativo come stringa.
- QUOTA FONDO, contenente la quota del fondo della vasca, è stato associata la "Z" e come grandezza il "Level" in "m".
- LIVELLO MIN, contenente il livello minimo dell'acqua in vasca, è stato associato il "Min Level" e come grandezza il "Level" in "m".
- LIVELLO MAX, contenente il livello massimo dell'acqua in vasca, è stato associato il "Max Level" e come grandezza il "Level" in "m".

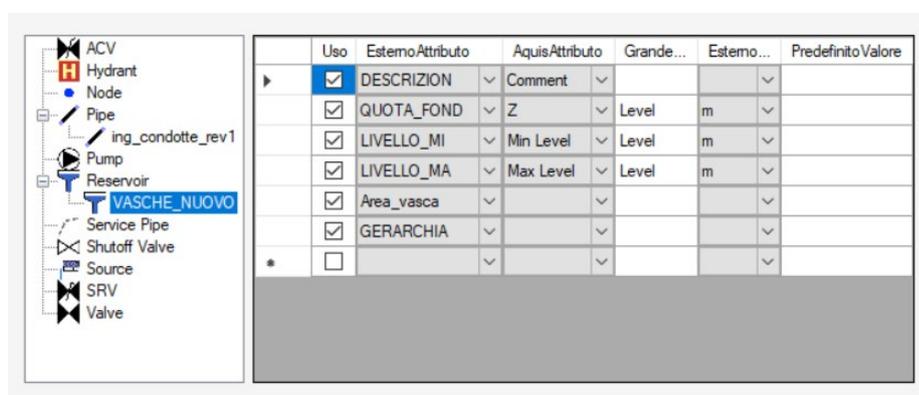


Fig. 3.32 Riferimenti incrociati - Vasche

Curve dei volumi delle vasche

A completamento dei parametri necessari per una corretta definizione delle vasche, si è provveduto a definire, per ciascuna vasca, la curva dei volumi, ossia la curva che lega a ciascun livello d'acqua presente nella stessa, il corrispondente volume.

Per farlo si è impostato un foglio di calcolo Excel all'interno del quale, nota la geometria in pianta ed in sezione della vasca oggetto di studio, si è calcolato il volume corrispondente a ciascun livello d'acqua in vasca con uno step posto pari a 10 cm.

Si riporta, a titolo esemplificativo, il caso specifico del calcolo della curva dei volumi per la vasca 1 del distretto n. 11.

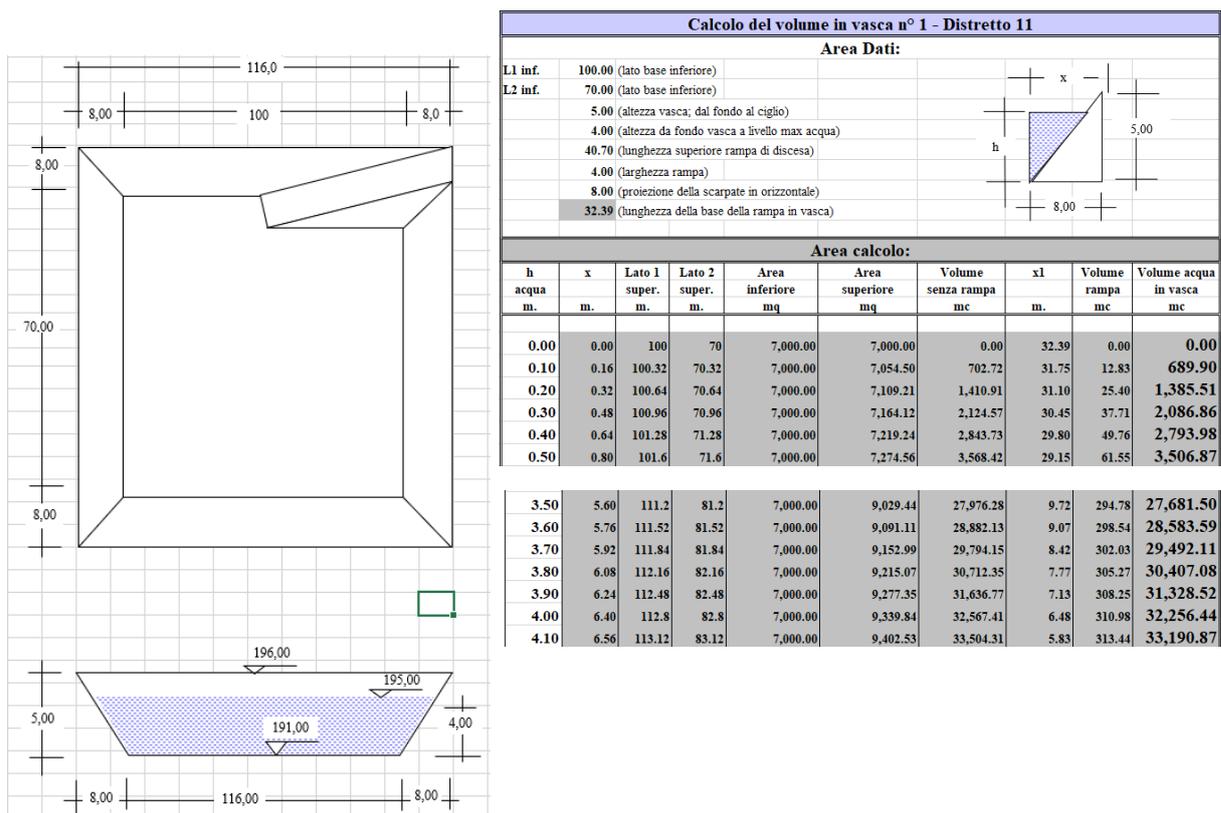


Fig. 3.33 Calcolo curva dei volumi vasca 1

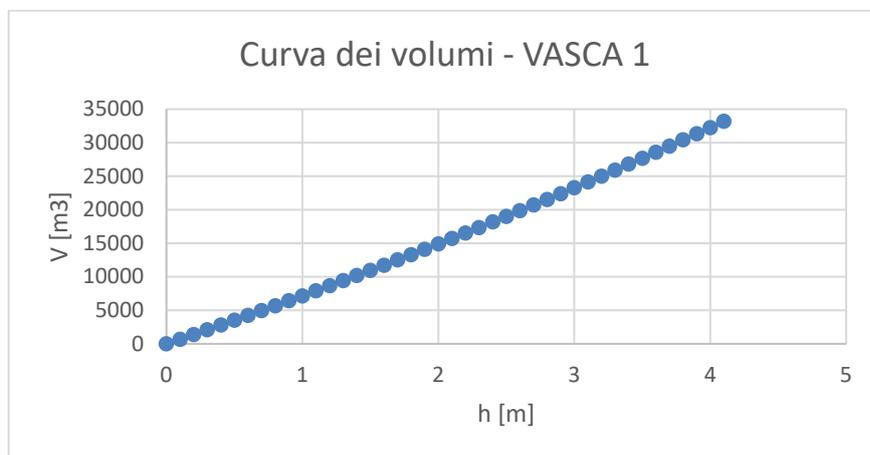


Fig. 3.34 Curva dei volumi – vasca 1 (Excel)

Dopo aver definito le curve dei volumi, si importano su AQUIS nella sezione “Data”-Reservoirs.

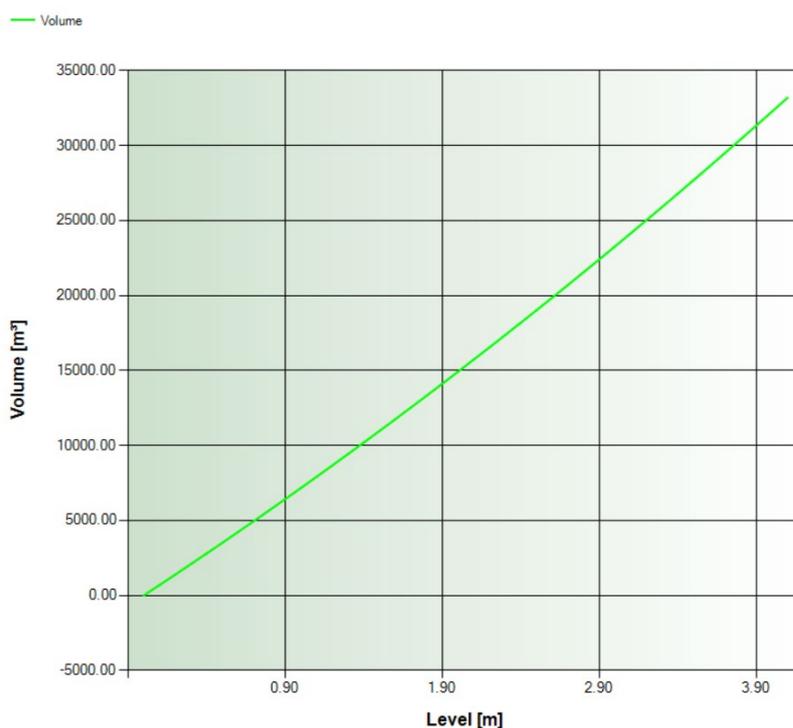


Fig. 3.35 Curva dei volumi – vasca 1 (AQUIS)

Inserimento valvole

La modellazione della presenza degli organi di regolazione e sezionamento presenti in ingresso ed in uscita delle vasche, oltre che in alcuni nodi idraulici di linea, è stata effettuata introducendo le cosiddette “Valve” caratterizzandole con:

- Codice identificativo = “TIPO” - “OS” ”CAMERETTA”. “PROGRESSIVO” - “VERSO”. Ad esempio al codice identificativo VFU-0502-E corrisponderà la valvola a fuso di regolazione presente nella cameretta 5 dell’OS 2 in ingresso nella vasca 2.
- Assegnazione diametro nominale DN;
- Assegnazione CvMax: ad ogni valvola è stato assegnato il ‘CvMax’ in m³/h, corrispondente al grado di apertura massimo, ricavato dalle curve caratteristiche rese disponibili dalla ditta costruttrice, come da figura 3.36.

Le due tipologie di valvole utilizzate ai fini della simulazione, come anticipato nel paragrafo 3.1.2 sono:

- FCV (Flow Control Valve): utilizzate per garantire che il valore di controllo del flusso, definito come serie storica, venga mantenuto.
- ACV (Altitude Control Valve): valvole il cui grado di apertura è controllato dalla vasca in cui confluisce la condotta sulla quale è posta la stessa.

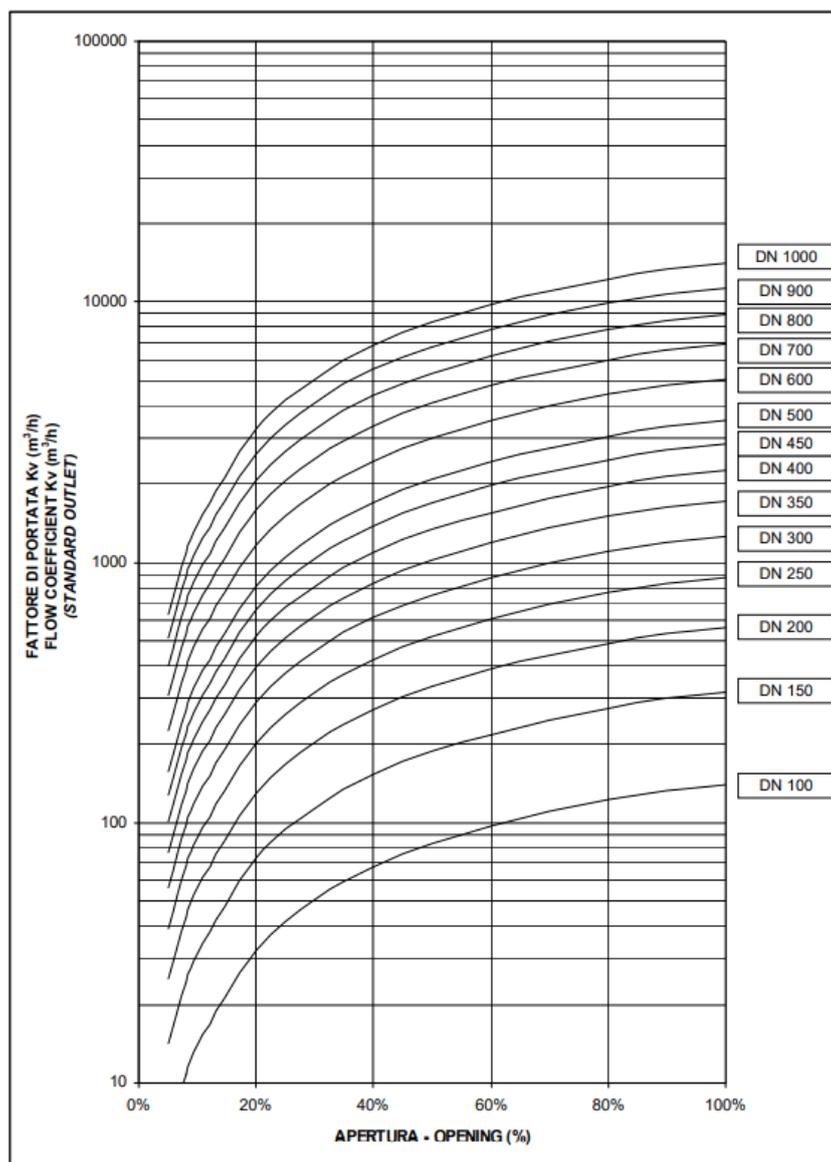


Fig. 3.36 Fattore di portata – Grado di apertura

Si definiranno, nella successiva fase di inserimento controlli, le ulteriori caratteristiche che ne modellano il comportamento nella maniera più rispondente alle condizioni reali.

Inserimento impianti di sollevamento

La rete irrigua, come già descritto, funziona principalmente a gravità, a meno di due aree svantaggiate altimetricamente per le quali sono stati introdotti due distinti impianti di sollevamento opportunamente implementati nel modello in esame.

- Impianto di sollevamento “Bellantuoni” del distretto n.11:
esso risulta costituito da 5+1 pompe ciascuna con portata pari a 220 l/s e prevalenza pari a 57 m che alimentano la vasca di carico n.1.
Le pompe dell’impianto, in funzione del livello dell’acqua nella vasca, si accendono o si spengono a step, seguendo passi impostati sul PLC di controllo.

- Impianto di sollevamento “Pozzilli” del distretto n.10/C:
esso risulta costituito da due gruppi di pompe, uno alimentante la vasca C1 con n.3 pompe con portata pari a 48,5 l/s e prevalenza pari a 18,5 m e l’altro alimentante la vasca C2 con n.3 pompe con portata pari a 72 l/s e prevalenza pari a 32 m.

Per ciascun tipo di pompa è stata inserita la curva di prestazione fornita dalla ditta costruttrice, come riportato nelle figure seguenti:

Bellantuoni:

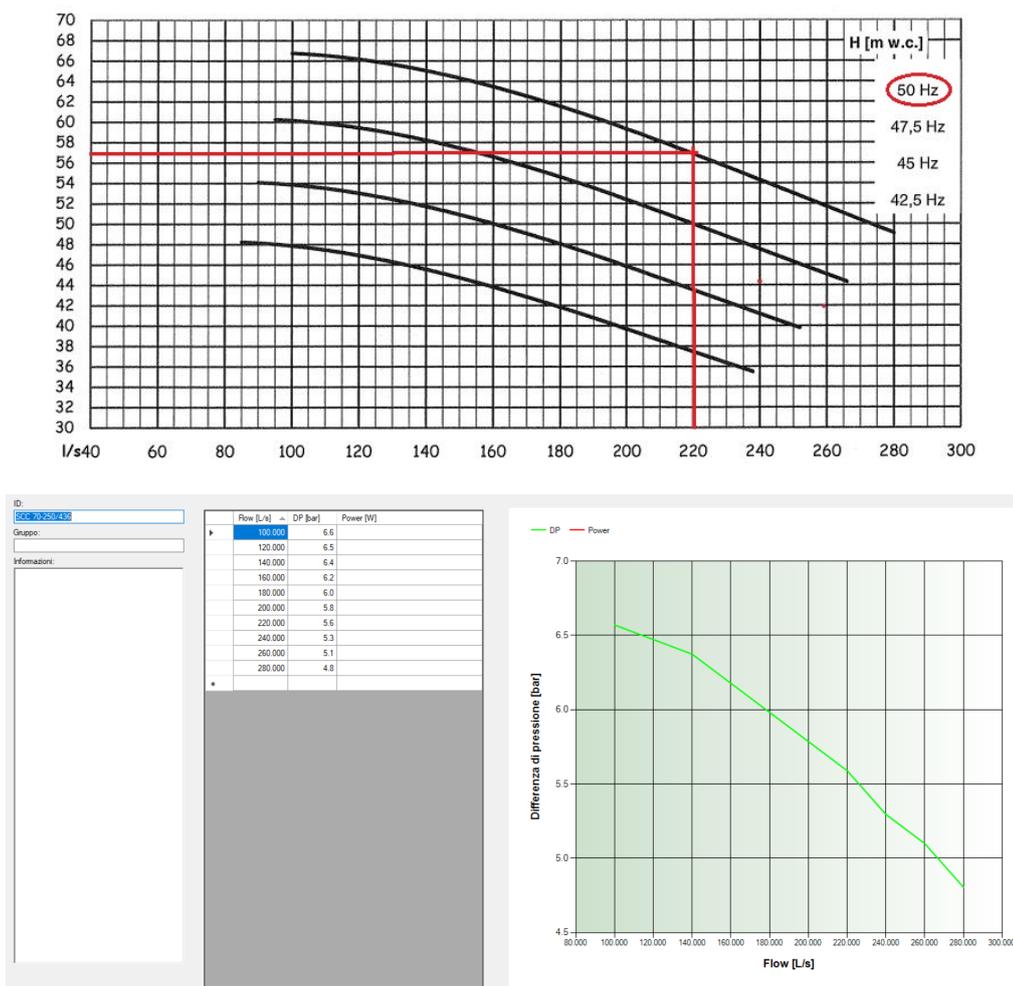
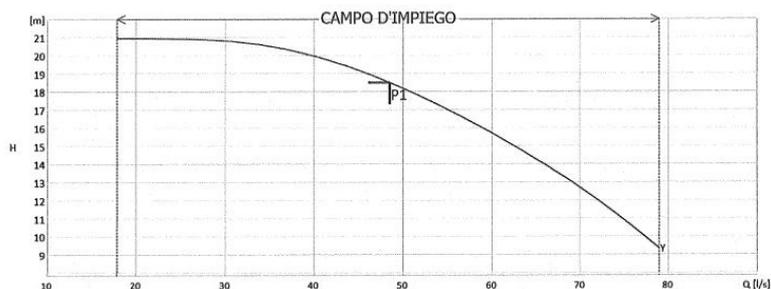


Fig. 3.37 Curva caratteristica - Bellantuoni

Pozzilli – C1:



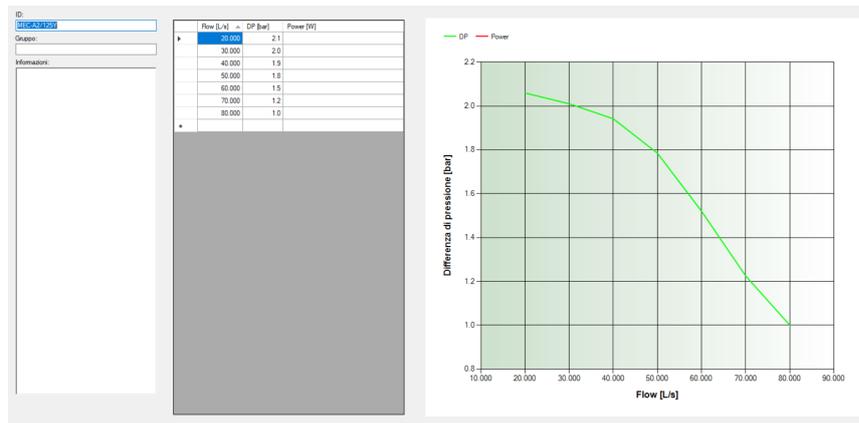


Fig. 3.38 Curva caratteristica Pozzilli – C1

Pozzilli – C2:

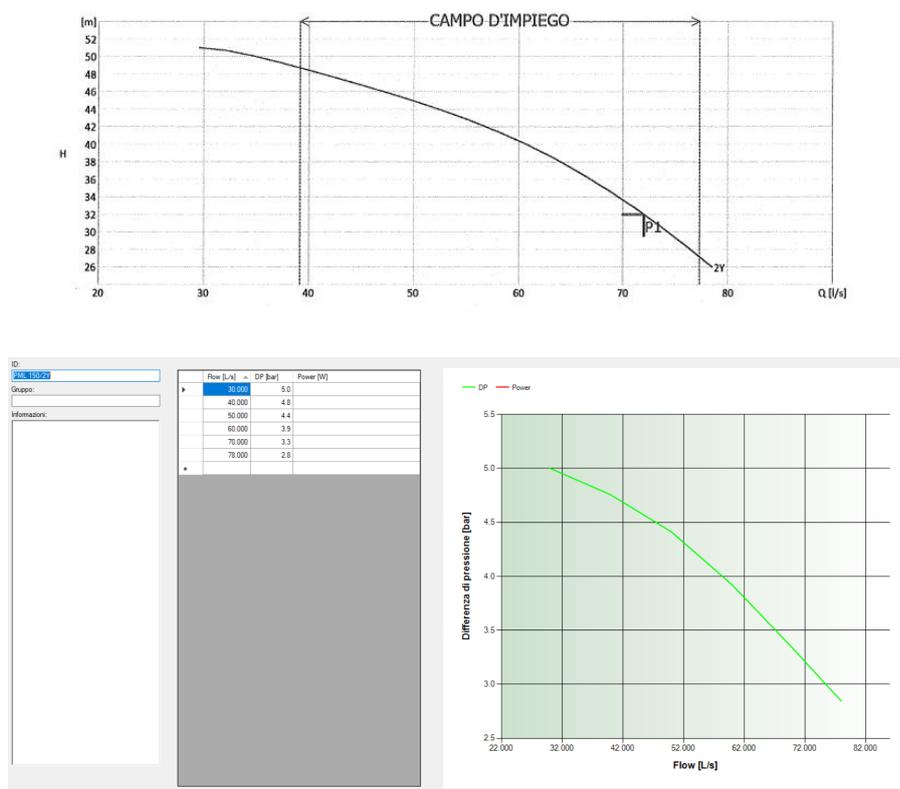


Fig. 3.39 Curva caratteristica Pozzilli – C2

Affiliazioni prese comiziali ai ripartitori

Le prese comiziali sono in derivazione dai ripartitori e la loro disposizione geografica è ricavata dallo shapefile disponibile dal GIS e trasferito sullo specifico layer “Consumatori” di AQUIS. La connessione idraulica è gestita in AQUIS tramite la funzione “Affiliazione Consumatori” mediante la quale la domanda con il valore di portata caratteristico viene assegnata ai nodi del ripartitore di riferimento.

Poiché il software associa automaticamente la presa comiziale (consumatore) al nodo appartenente alla condotta più vicina geograficamente, si è proceduto a verificare la corretta associazione per ciascuna presa.

Laddove tale associazione risultava errata è stato possibile connettere la presa al nodo appartenente al ripartitore corretto mediante l'utilizzo della funzione "Imposta punto di servizio".

Si riporta a scopo esemplificativo la procedura di assegnazione di n.2 prese comiziali, appartenenti al distretto 11, al ripartitore di riferimento, correggendo dunque l'assegnazione automatica del software che le connetteva all'adduttore, poiché più vicino.

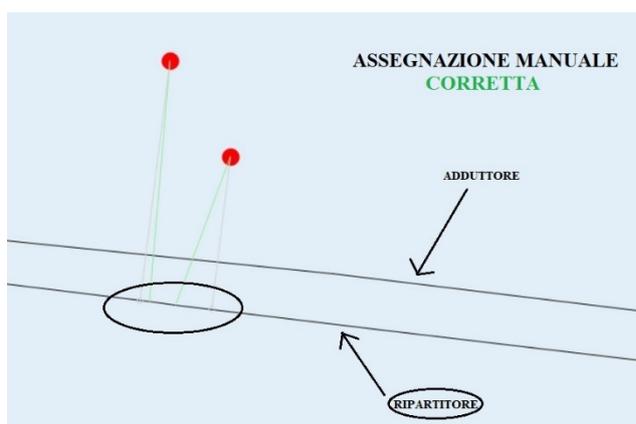
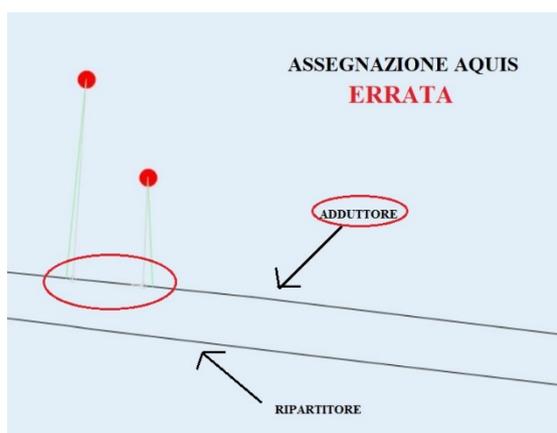
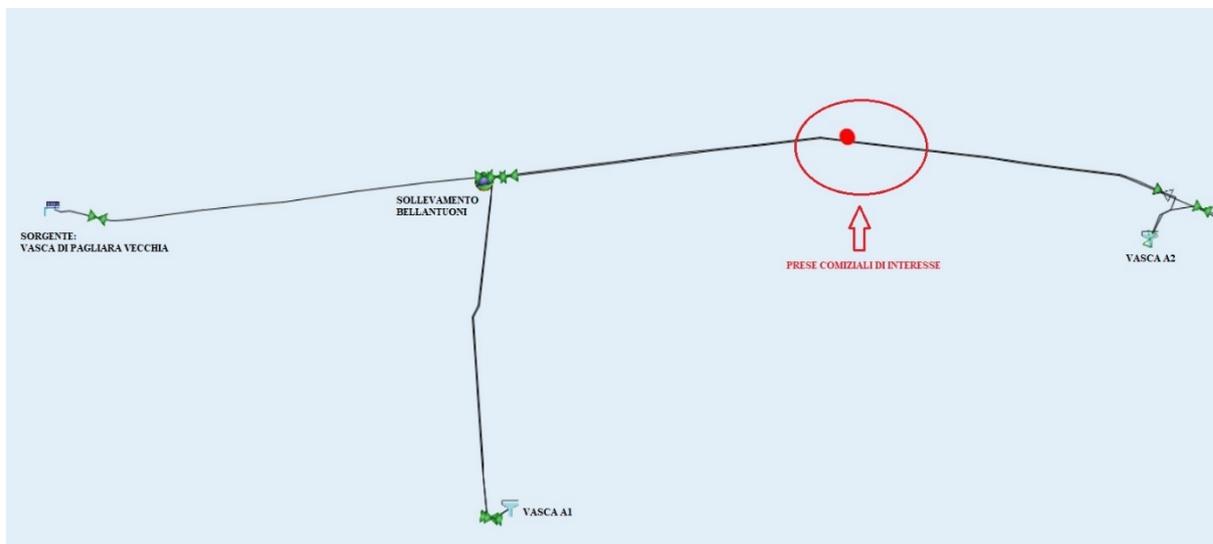


Fig. 3.40 Affiliazione prese comiziali

Si riporta nelle figure 3.41 e 3.42 lo schema topologico caratterizzato idraulicamente su AQUIS, rispettivamente con individuazione dei distretti e delle prese comiziali:

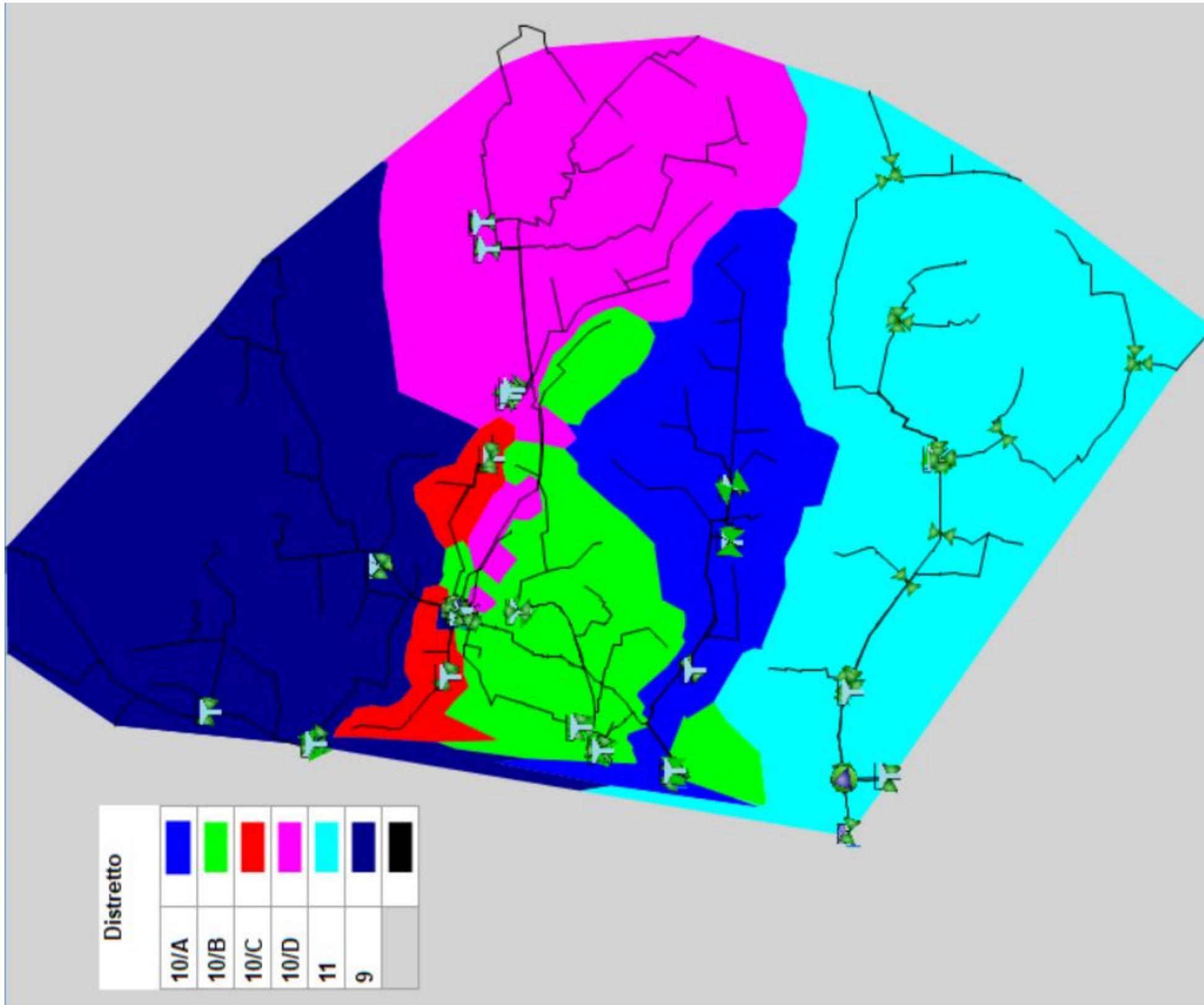


Fig. 3.41 Schema idraulico AQUIS - Distretti

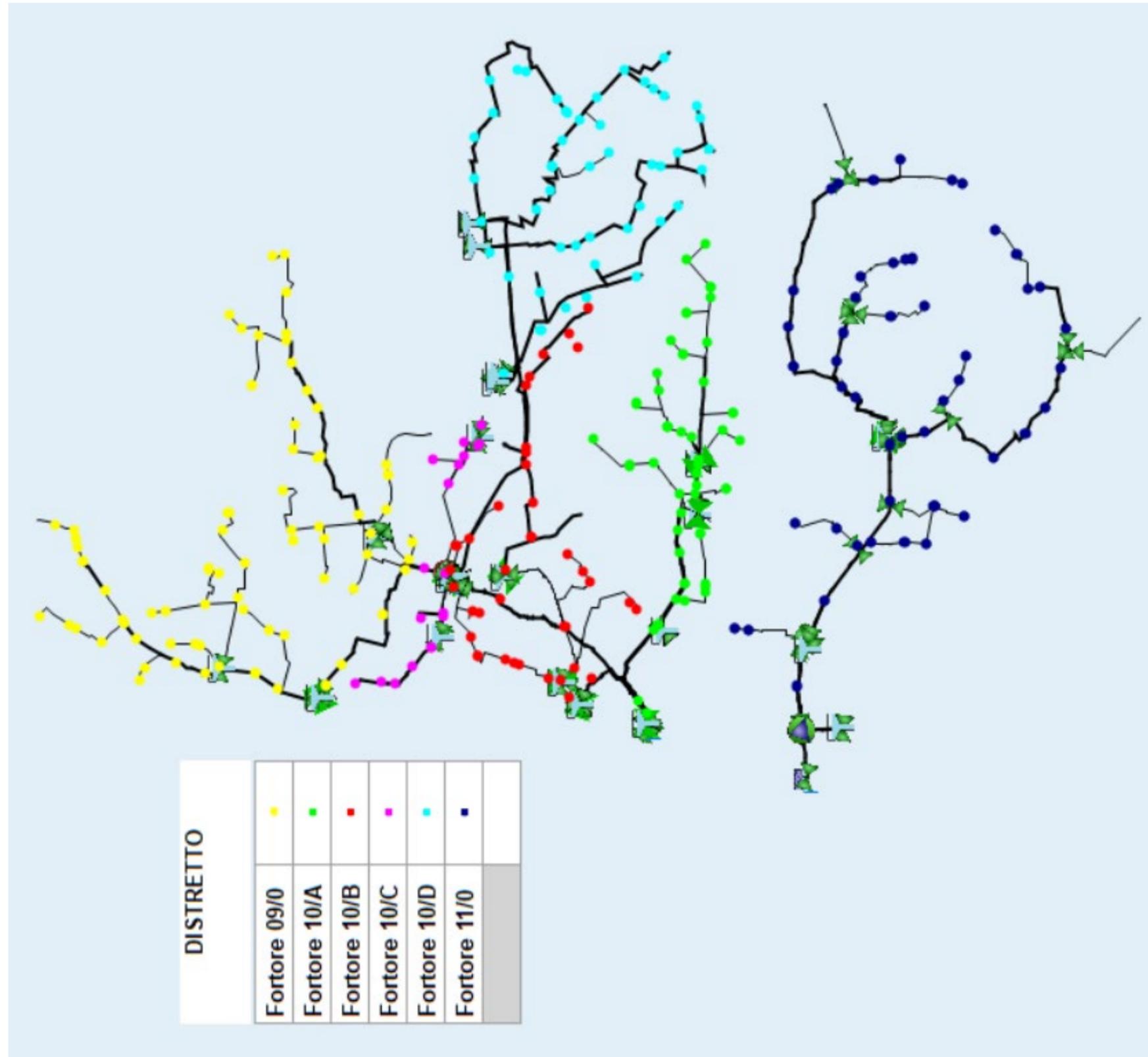


Fig. 3.42 Schema idraulico AQUIS – Prese comiziali

3.3 Calibrazione del modello della rete irrigua

Nella definizione del modello numerico della rete irrigua esistente, è di fondamentale importanza la fase di calibrazione che mira a verificare la congruenza del comportamento idraulico calcolato dal software AQUIS, con i dati misurati sulla rete fisica dal sistema di telecontrollo.

Per la raccolta e la storicizzazione dei dati misurati in campo, il software AQUIS si appoggia ad un database tipo SQL ossia un linguaggio standardizzato per database basati su modello relazionale. Per l'integrazione nelle simulazioni dei dati storici raccolti dallo SCADA di Capitanata, in file di formato .csv, si è utilizzato un database interno al software denominato "Data Manager Database" che si interfaccia con un database Access (Microsoft Access). Successivamente, con il software del pacchetto AQUIS denominato "DM Data Service TXT" si è mappato in continuo i file .csv, rendendoli disponibili come misurazioni al software di simulazione.

La rete irrigua è costituita da un sistema a rami aperti di tipo misto con vasche di disconnessione con funzione di compenso e di stabilizzazione del carico idraulico. Dette caratteristiche, per la presenza di un tratto con canale a pelo libero non modellabile in AQUIS, hanno comportato la necessità di individuare delle sottoreti funzionalmente indipendenti e caratterizzate da una "sorgente" con carico costante e portata illimitata su cui approfondire l'analisi e la calibrazione. Il funzionamento del sistema è autoregolato idraulicamente in corrispondenza dei nodi vasca nei quali la portata in ingresso varia in funzione del livello per la presenza di un otturatore a disco coadiuvato da una valvola a fuso che tende a sezionare gradualmente la condotta in ingresso all'aumentare del livello.

Nella "prima fase" della calibrazione si è assegnato l'andamento della misura di portata in ingresso, oltre che quello in uscita, introducendo l'oggetto AQUIS valvola "FCV" (Flow Control Valve) che consente di mantenere detto andamento, con lo scopo di calibrare le domande delle utenze.

Nella "seconda fase" si è introdotto l'oggetto di AQUIS valvola "ACV" (Altitude Control Valve) che adegua il valore del grado di apertura e conseguentemente quello di portata in ingresso vasca in funzione del livello della stessa, con lo scopo ultimo di descrivere il funzionamento effettivo delle valvole poste in ingresso vasca.

Inoltre la portata in uscita dalle vasche è funzione delle richieste "alla domanda" delle prese comiziali, le quali, preliminarmente, per entrambe le fasi, sono state riferite alle distinte Flow Control Zone individuate dalle prese comiziali alimentate dalla medesima vasca.

Le Flow Control Zone sono state nominate in funzione del nome identificativo della vasca alimentante le prese comiziali ad essa associate. Ad esempio la nomenclatura "FCZ – VASCA A2" si riferisce alla Flow Control Zone definita a partire dalla misura di portata in uscita dalla vasca A2.

Definito l'andamento della portata in uscita dalle vasche, per ogni FCZ (Flow Control Zone), il software calcola automaticamente il fattore di adattamento (AF), ossia il rapporto, in un determinato istante, tra le portate immesse in rete e le portate totali assegnate come domande ai nodi.

La nuova portata netta (Net Zone Flow) così calcolata sarà distribuita ai nodi applicando il coefficiente Adaption Factor (AF) come fattore moltiplicativo dei consumi definiti inizialmente

come condizioni al contorno alle prese, ovvero dei valori di portata caratteristici dei nodi associati alle rispettive prese comiziali.

È così possibile ottenere la calibrazione automatica degli andamenti delle portate prelevate ai nodi collegati alle relative prese comiziali.

Infine il bilancio interno delle FCZ sarà adattato, durante le simulazioni, a quello ottenuto dalle misurazioni mediante l'abilitazione della funzione "Adaption Active".

Si riportano a titolo esemplificativo i parametri e la visualizzazione delle FCZ definite per il sub-distretto 10/A:

	Zone_6	Zone_3	Zone_7	Zone_8
Net Zone Flow [L/s]	212.402	206.055	87.402	155.078
Flow prognose [L/s]				
Half life [s]	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
Estimated Flow [L/s]	212.402	206.055	87.402	155.078
Non-adaptable Flow [L/s]	0.000	0.000	0.000	0.000
Adaption Factor [-]	0.68	0.77	0.26	0.67
Adaption Active	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Flow Control Zone	FCZ - VASCA A4	FCZ - VASCA A2	FCZ - VASCA A3	FCZ - VASCA A1
Total Number of Consumers	14	12	15	13
Total Pipe Length [m]	9585.8	7529.0	11343.6	7933.1
Total Service Pipe Length [m]	0.0	0.0	0.0	0.0

4 oggetti

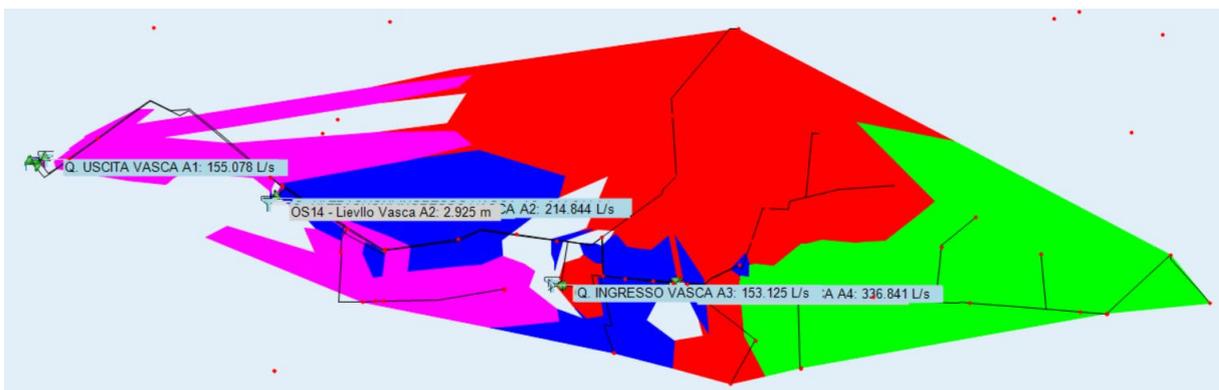


Fig. 3.43 Flow Control Zone – D10/A

I colori che identificano le FCZ sono generati dal software automaticamente e non hanno un significato fisico.

3.3.1 Prima fase: Verifica congruenza del modello e calibrazione domanda all'utenza

Per la prima fase di calibrazione del modello si è fatto riferimento ai dati di funzionamento nelle 24 h rilevati dal sistema di telecontrollo nella giornata del 9 Luglio 2021 in condizioni di massima richiesta. In particolare sono stati considerati come dati di input:

- Andamento della portata in ingresso alle vasche;
- Andamento della portata in uscita dalle vasche;
- Andamento del livello nelle vasche.

Per la definizione delle portate in ingresso si è introdotto l'elemento FCV ("Flow Control Valve") per garantire che il valore di controllo del flusso definito come serie storica venga mantenuto.

Inoltre è stata definita la quota della "sorgente" e sono state introdotte le portate caratteristiche in uscita dalle prese comiziali.

A seguito dell'elaborazione della simulazione, lanciata con passo temporale pari a 10' coincidente con quello di acquisizione misure da SCADA, si è verificata la congruenza dell'andamento dei livelli misurati con quelli risultanti dalla simulazione eseguita dal software, fissati gli andamenti delle portate in ingresso ed in uscita; inoltre come output è stata valutata la distribuzione delle portate sulle prese comiziali.

A titolo esemplificativo si descrive la procedura per il sub-distretto 10/A.

SUB-DISTRETTO D10/A

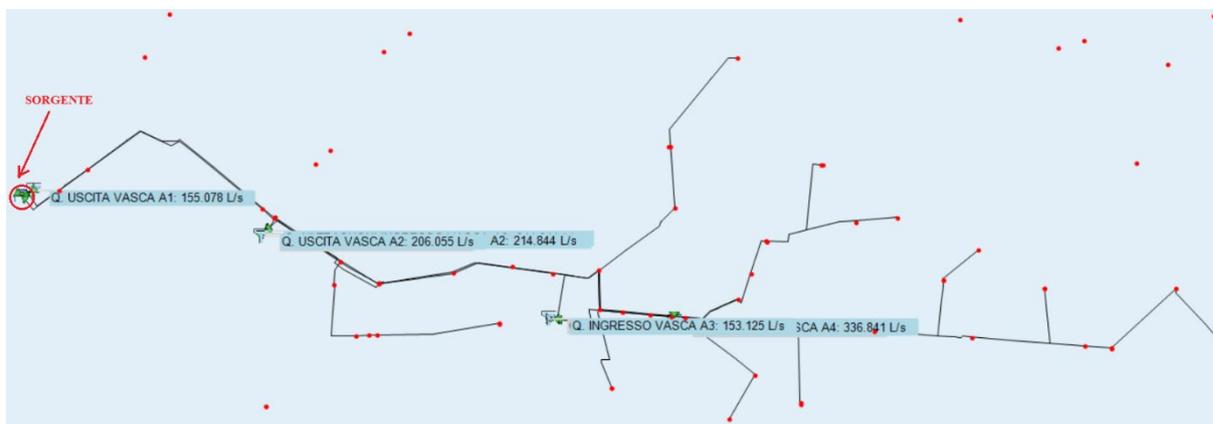


Fig. 3.44 Identificazione sorgente D10/A

Inserimento dati

Per tale distretto sono stati inseriti i seguenti dati:

- Sorgente:
 quota media sul livello del mare pari a 143,15 m;
 tirante medio misurato pari a 2,45 m (Controllo);

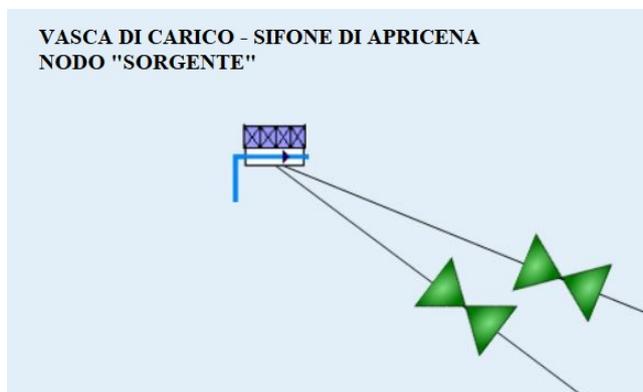


Fig. 3.45 Sorgente – vasca di carico sifone Apricena

- Portate caratteristiche prese comiziali:

	* 78	121	111	119	81	87	91	89	88	99	11
Current Node	NO_1	NO_100	NO_100	NO_104	NO_14	NO_15	NO_16	NO_161	NO_162	NO_17	NO
SMS											
SMSFlag	<input type="checkbox"/>										
E-MAIL											
E-MAILFlag	<input type="checkbox"/>										
Ignore	<input type="checkbox"/>										
PSID	403	446	436	444	406	412	416	414	413	424	
DIAMETRO	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
PORTAT_VEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAR_SFIATO		SI									
COMIZIO	1	44	34	42	4	10	14	12	11	22	
Diametro_1	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
PORTAT_OUT	0	60	60	60	30	60	60	60	60	60	
DISTRETTO	Fortore 10/A										

54 oggetti. (286 nascosto da [DISTRETTO] LIKE 'Fortore 10/A')

Fig. 3.46 Portate caratteristiche prese comiziali

Nella fig. 3.46 sono evidenziati i valori di portata caratteristica ai singoli nodi associati alle relative prese comiziali, corrispondenti al valore massimo di capacità di portata prelevabile dalle prese stesse.

- Vasca A2:

- Portata in ingresso misurata:

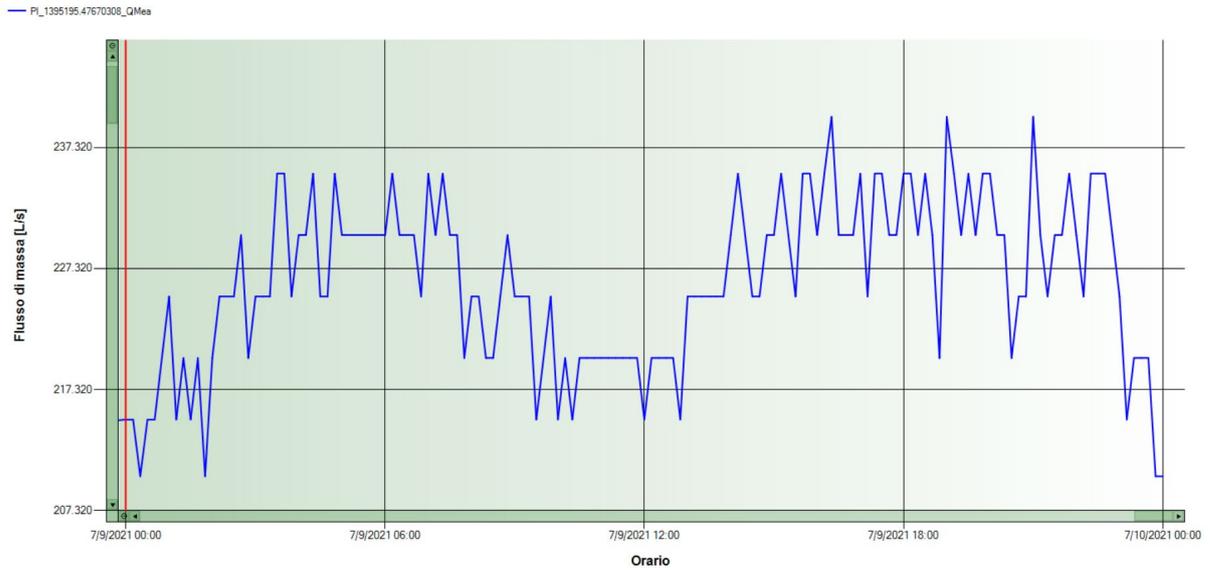


Fig. 3.47 Portata in ingresso misurata – Vasca A2

- Portata in uscita misurata:

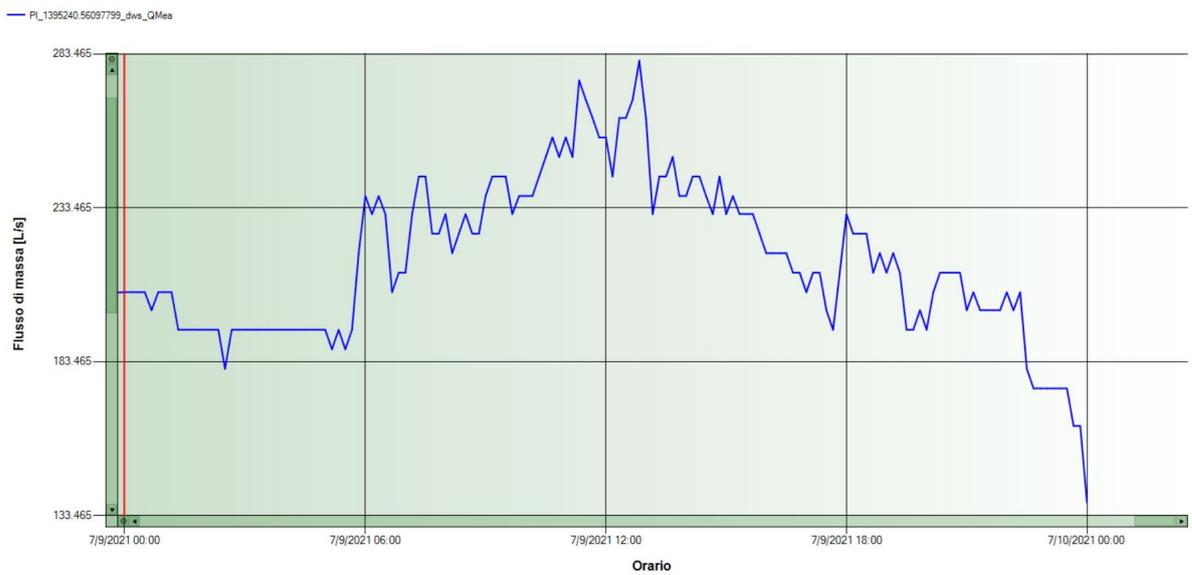


Fig. 3.48 Portata in uscita misurata – Vasca A2

- Livello vasca misurato:

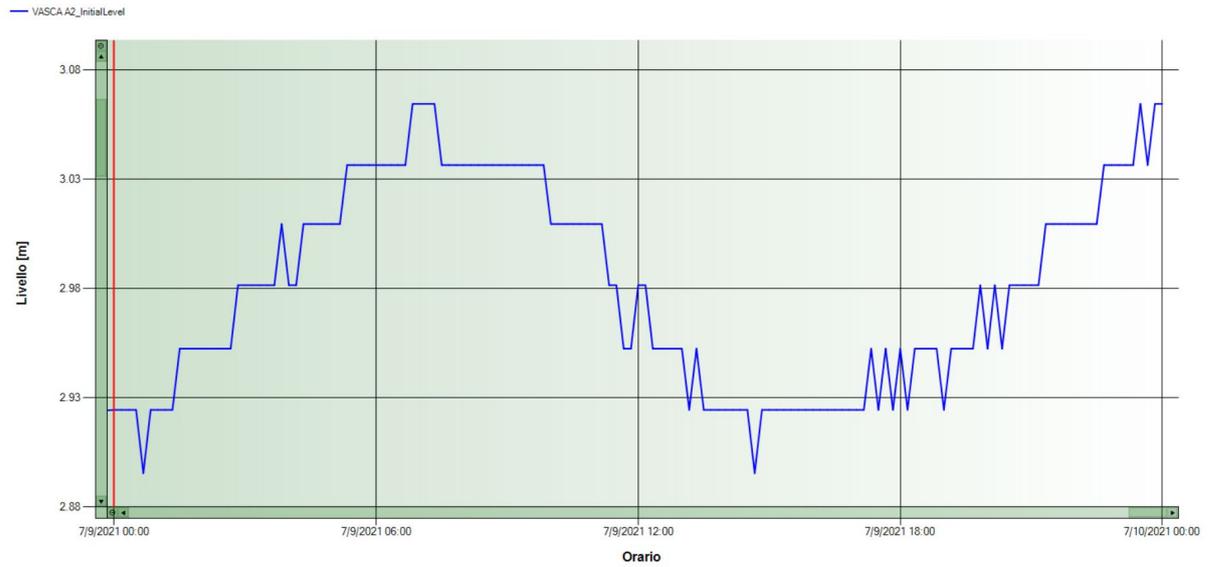


Fig. 3.49 Livello misurato – Vasca A2

- Vasca A3

- Portata in ingresso misurata:

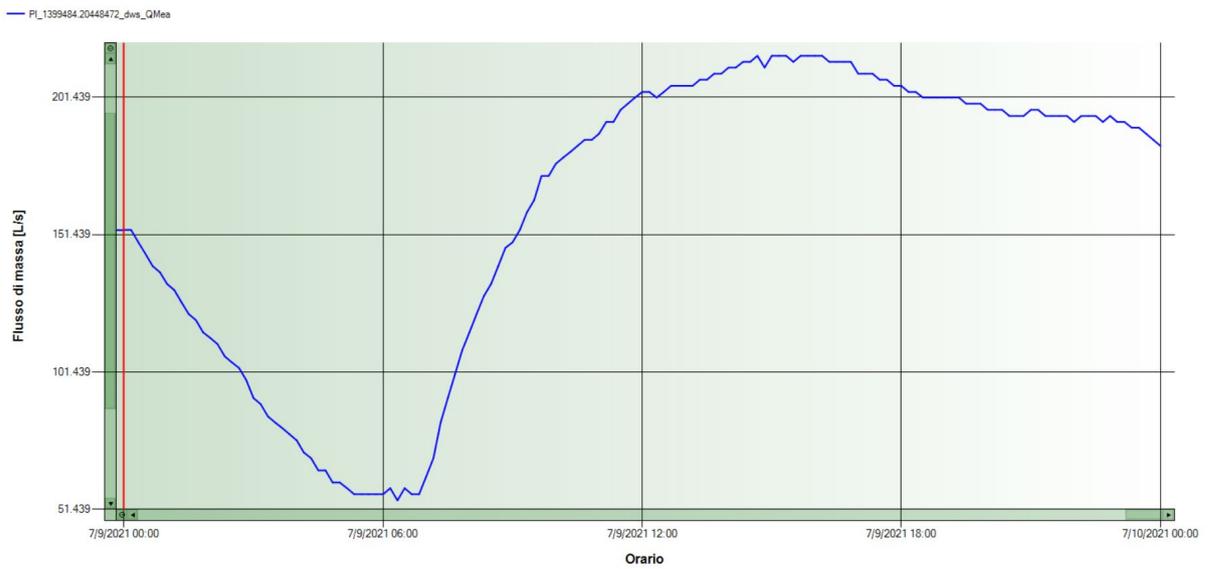


Fig. 3.50 Portata in ingresso misurata – Vasca A3

- Portata in uscita misurata:

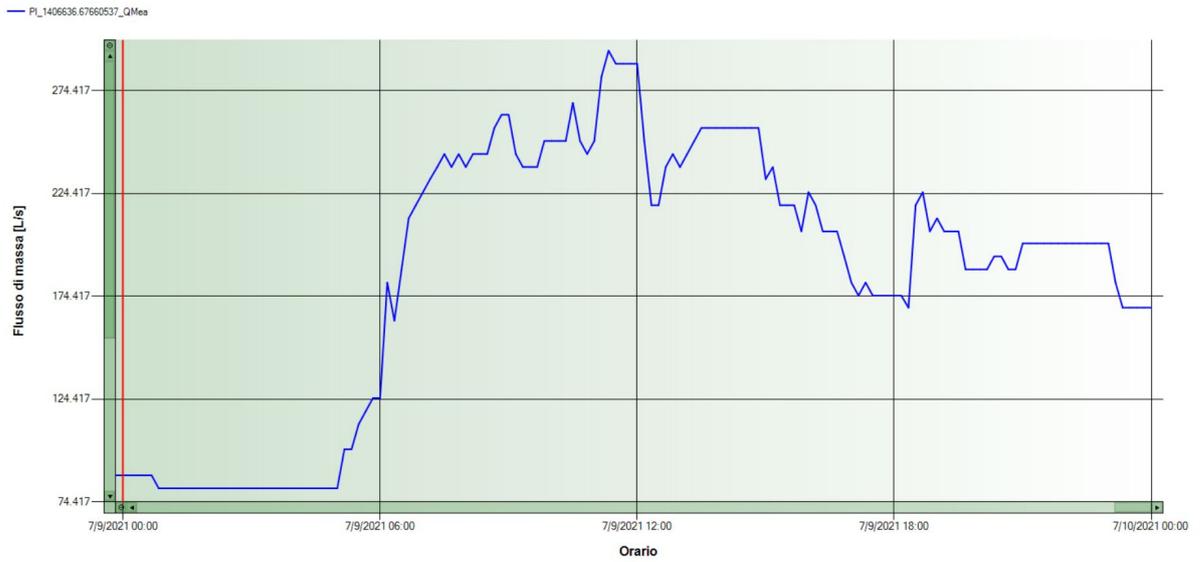


Fig. 3.51 Portata in uscita misurata – Vasca A3

- Livello vasca misurato:

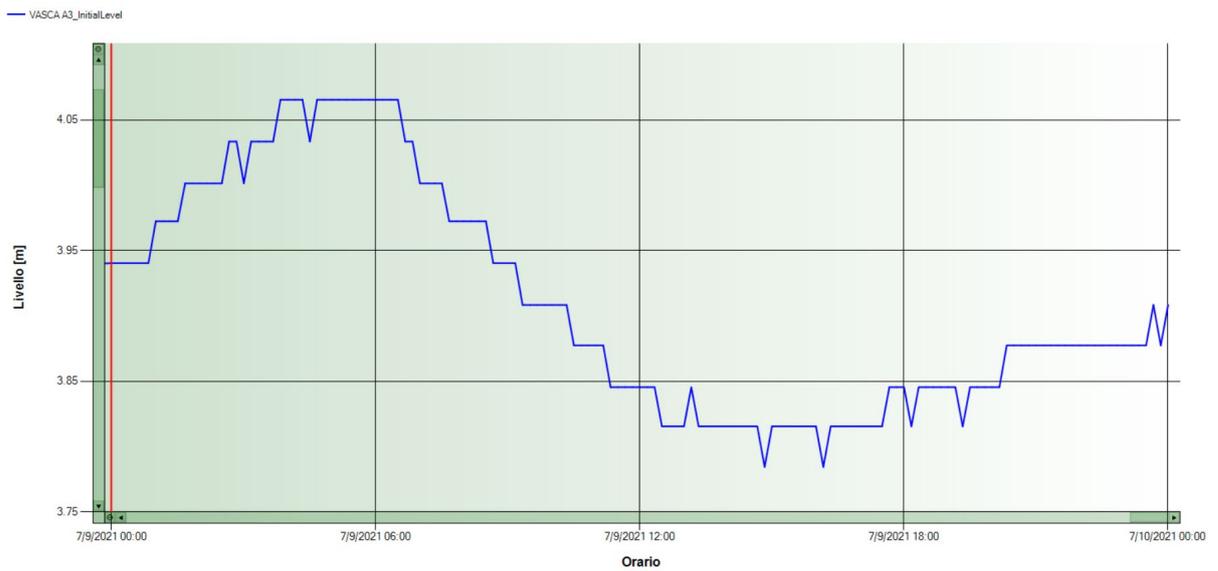


Fig. 3.52 Livello misurato – Vasca A3

- Vasca A4:

- Portata in ingresso misurata:

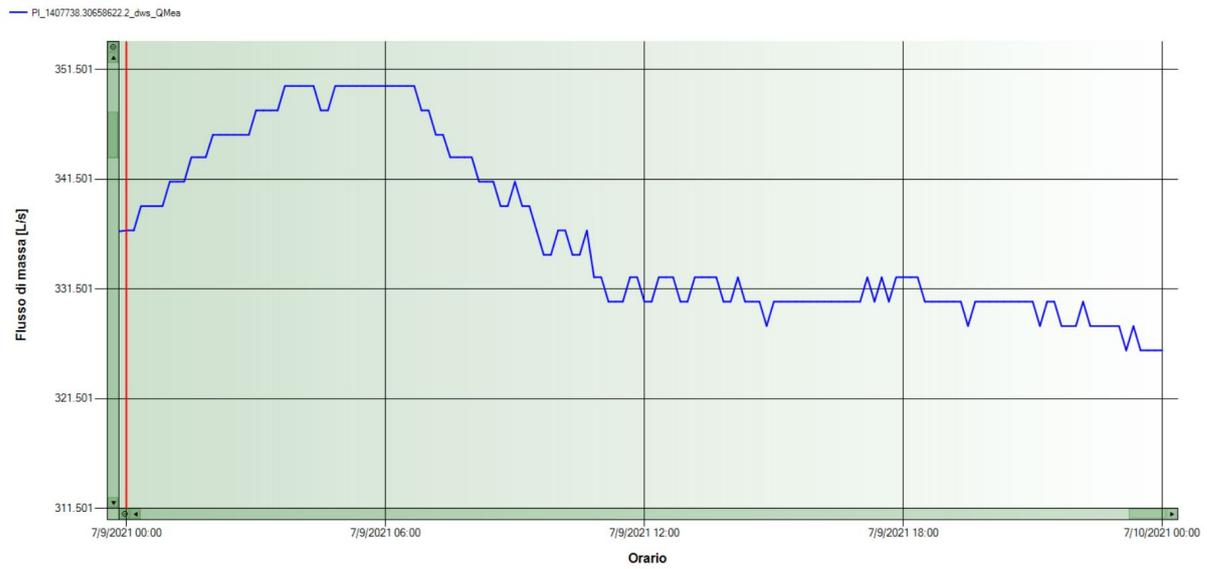


Fig. 3.53 Portata in ingresso misurata – Vasca A4

- Portata in uscita misurata:

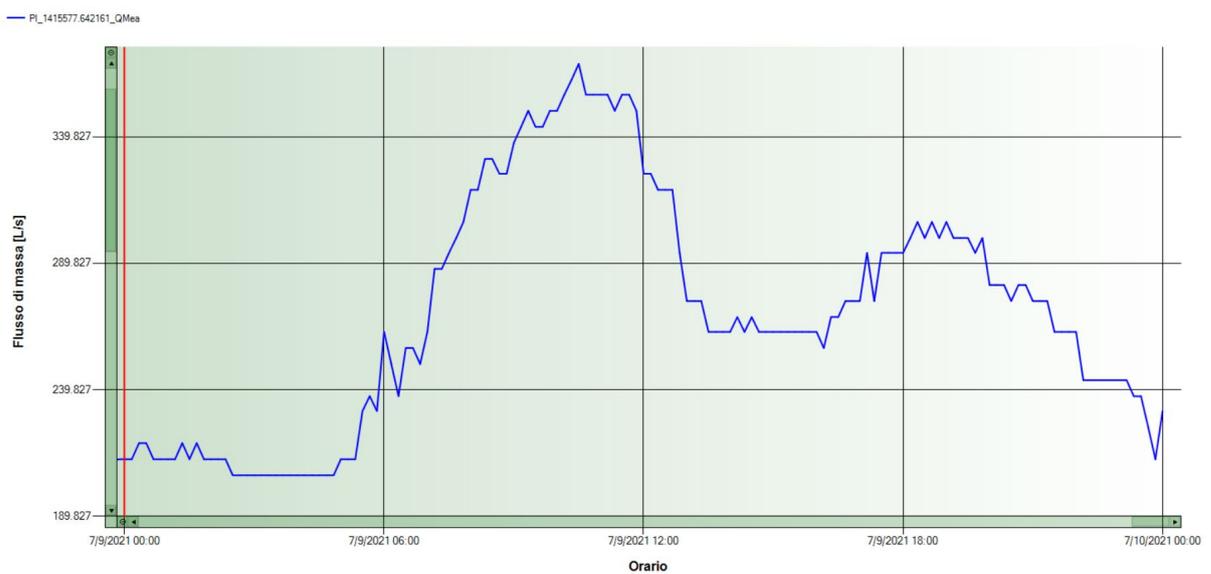


Fig. 3.54 Portata in uscita misurata – Vasca A4

- Livello vasca misurato:

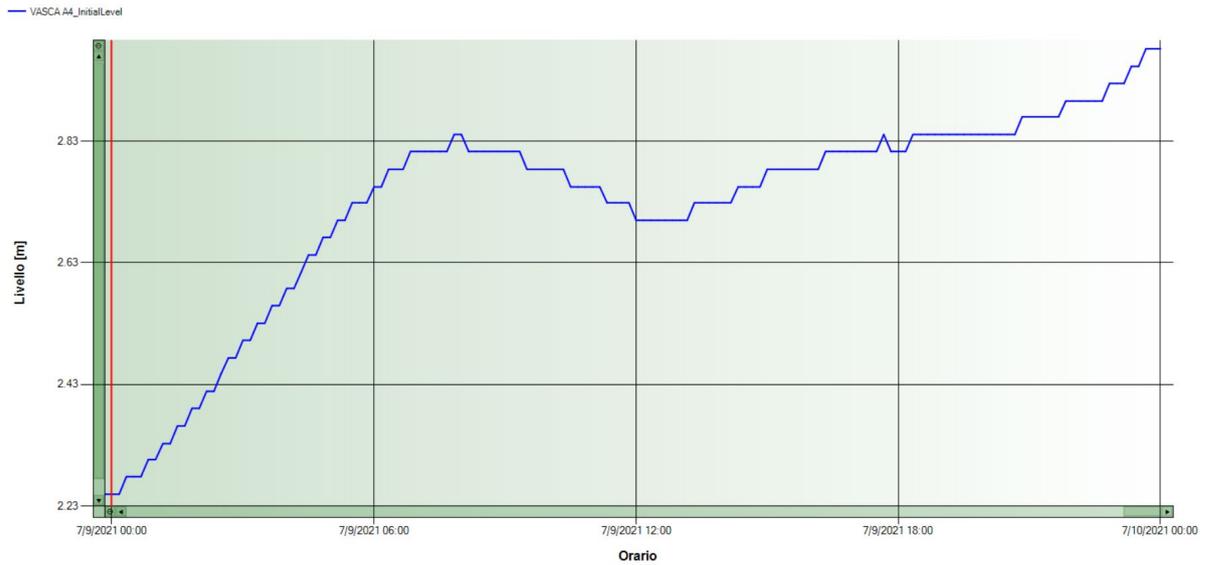
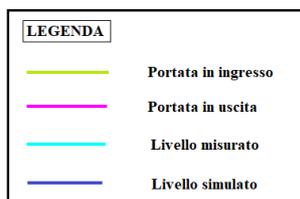


Fig. 3.55 Livello misurato – Vasca A4

Simulazione

Con la simulazione di AQUIS si è verificata la rispondenza tra il livello misurato e quello simulato nonché il coerente andamento in relazione alle portate in ingresso e in uscita, come evidenziato nei grafici seguenti:



- Vasca A2:

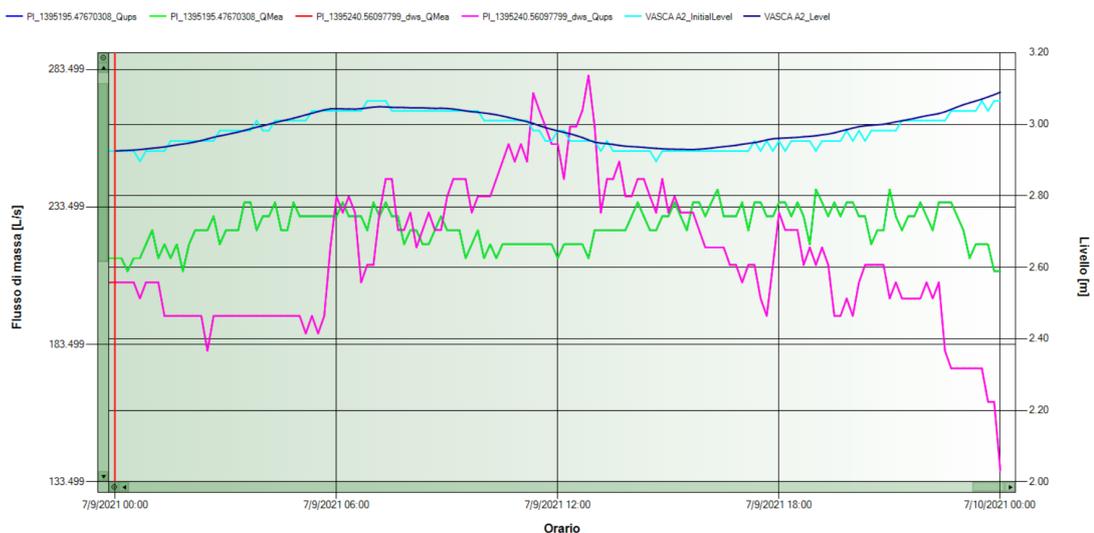


Fig. 3.56 Andamento livelli – Vasca A2 – Portata in ingresso (verde) – Portata in uscita (magenta) Livello in vasca misurato (ciano) – Livello in vasca simulato (blu)

- Vasca A3:

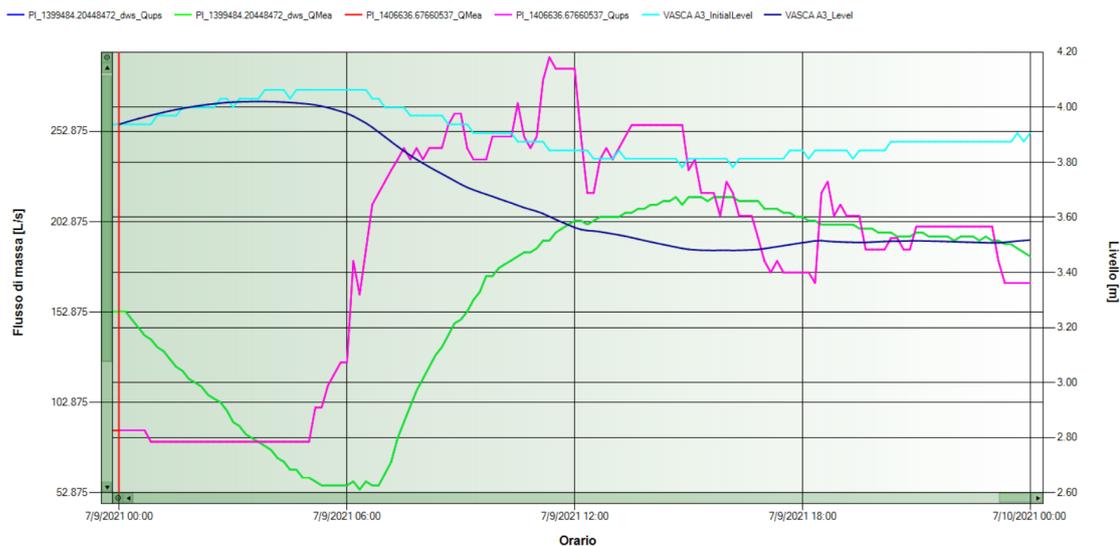


Fig. 3.57 Andamento livelli – Vasca A3 -- Portata in ingresso (verde) – Portata in uscita (magenta) Livello in vasca misurato (ciano) – Livello in vasca simulato (blu)

- Vasca A4:

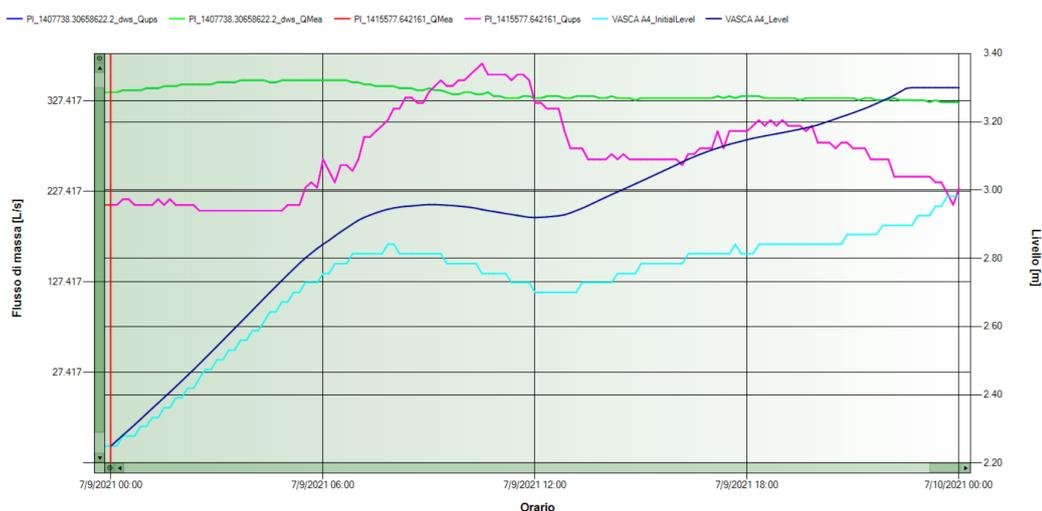


Fig. 3.58 Andamento livelli – Vasca A4 -- Portata in ingresso (verde) – Portata in uscita (magenta) Livello in vasca misurato (ciano) – Livello in vasca simulato (blu)

Come si evince dai grafici la simulazione ha riprodotto con buona approssimazione l'andamento dei livelli in vasca verificando il rispetto dell'equazione di continuità.

- Distribuzione delle portate sulle prese comiziali:

Di seguito si riportano i valori di portata prelevata ai nodi alle ore 12:00 AM derivanti dalla distribuzione della Net Zone Flow ai nodi applicando il coefficiente Adaption Factor (AF) come moltiplicativo dei consumi definiti inizialmente come condizioni al contorno.

	*	NO_240	NO_92	NO_19	NO_237	NO_550	NO_16	NO_75	NO_297	NO_481	NO_100
Pressure [barg]		4.7	1.9	3.7	4.2	3.6	3.3	3.6	4.2	2.9	5.0
Head [m]		89.610	84.412	117.031	116.946	137.584	137.699	116.176	130.155	141.392	114.058
▶ Mass Flow [L/s]		23.228	46.456	19.173	19.173	21.362	21.362	57.520	21.362	14.769	38.346
Volume Flow [m ³ /s]		0.023	0.046	0.019	0.019	0.021	0.021	0.058	0.021	0.015	0.038

Fig. 3.59 Portata prelevata ai nodi – D10/A

Di seguito si riporta l'andamento della portata nell'arco delle 24 h di una singola presa comiziale (NO_240 – Presa comiziale 130) in cui si apprezza l'andamento atteso di prelievo basso nelle ore notturne e con incremento nelle ore centrali della giornata.



Fig. 3.60 Andamento giornaliero portata prelevata al nodo n.240

La stessa procedura di calibrazione è stata eseguita sui sub-distretti 10/B, 9 e 11 riscontrando sempre una buona rispondenza tra i dati misurati e quelli calcolati con la simulazione¹.

¹ V. Appendice 1.

3.3.2 Seconda fase: Modellazione valvola ACV (Altitude Control Valve)

Dopo aver verificato la congruenza, nella simulazione, del comportamento della rete in termini di bilanci energetici e volumetrici, testata con i dati reali rilevati in campo, ci si propone di introdurre un “oggetto” di AQUIS che simuli il comportamento reale dell’otturatore a disco e della valvola a fuso ovvero che controlli la regolazione della portata in ingresso alla vasca in funzione del livello.

Dunque si definirà uno scenario di funzionamento in cui l’“oggetto” di AQUIS da porre in ingresso ad ogni vasca è l’elemento denominato “ACV” e l’unico input fornito sarà il prelievo giornaliero individuato nella portata in uscita dalle vasche.

L’“ACV” – “Altitude Control Valve” è una valvola il cui grado di apertura è funzione del livello d’acqua nella vasca.

L’ “ACV” è l’oggetto che meglio riproduce la realtà del funzionamento e per essere configurato necessita la definizione di:

- Livello minimo d’acqua nella vasca (Min Level [m]);
- Livello massimo d’acqua nella vasca (Max Level [m]);
- Massimo flusso d’acqua attraverso la valvola (Max flow [l/s]).

Tale configurazione deriva dall’assunzione propria di AQUIS, per cui il grado di apertura della valvola è variabile linearmente tra lo stato completamente aperto e quello completamente chiuso; essa è assunta completamente chiusa quando l’acqua in vasca è al livello massimo, viceversa, completamente aperta, quando è al livello minimo. Per tale motivo, nella sua definizione, devono essere specificati questi due livelli. Inoltre il flusso attraverso l’ACV, quando è completamente aperta, è limitato da un valore imposto di “massimo flusso”.

La procedura di calibrazione, nel caso in esame, si traduce nell’individuazione dei parametri di funzionamento della valvola, ossia il livello minimo e massimo che, fissato il flusso massimo che può attraversare la valvola nello stato di totale apertura, determinano, con sufficiente approssimazione, l’andamento del livello in vasca simulato concorde a quello noto da misurazione SCADA.

A titolo esemplificativo si descrive la procedura per il sub-distretto 10/A.

SUB-DISTRETTO 10/A

VASCA A2 – VASCA A3 – VASCA A4

- Configurazione ACV:

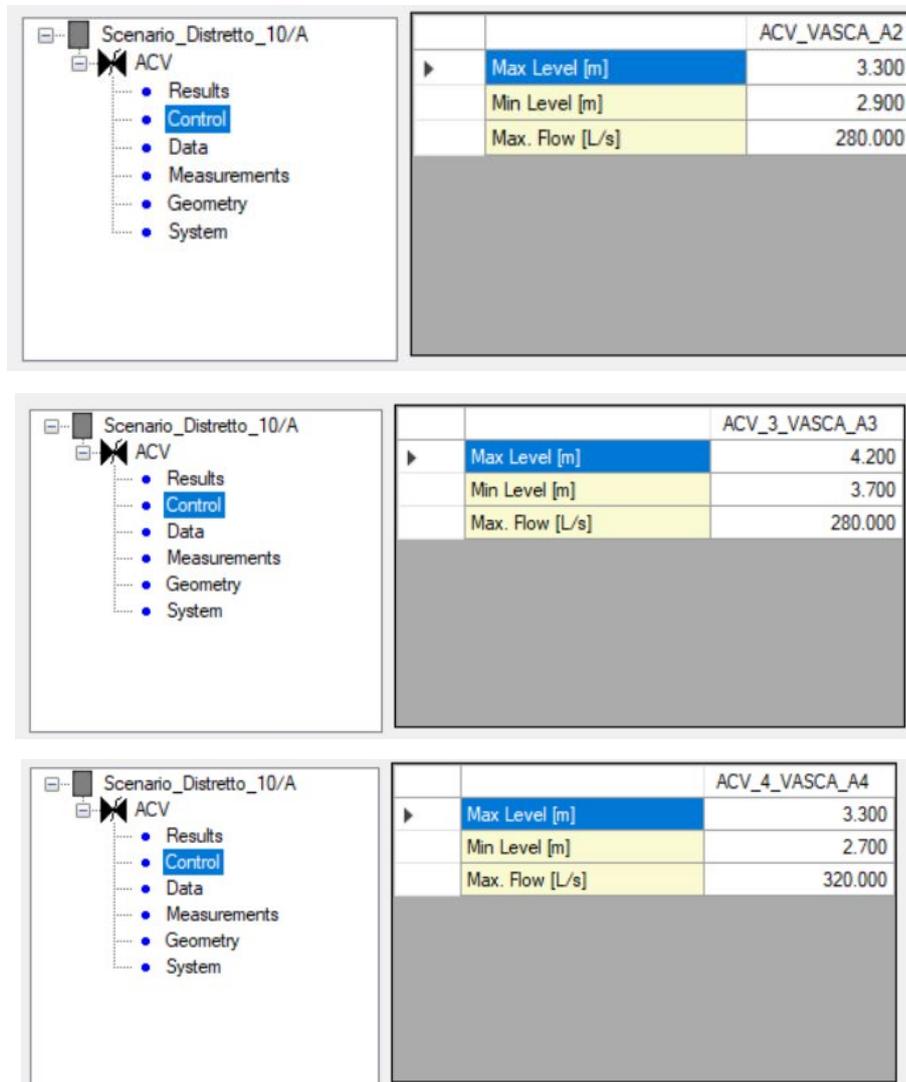


Fig. 3.61 Configurazione ACV – D10/A

A seguito dell'elaborazione della simulazione, si verifica innanzitutto la rispondenza tra l'andamento del livello simulato con quello misurato:

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – vasca A2:

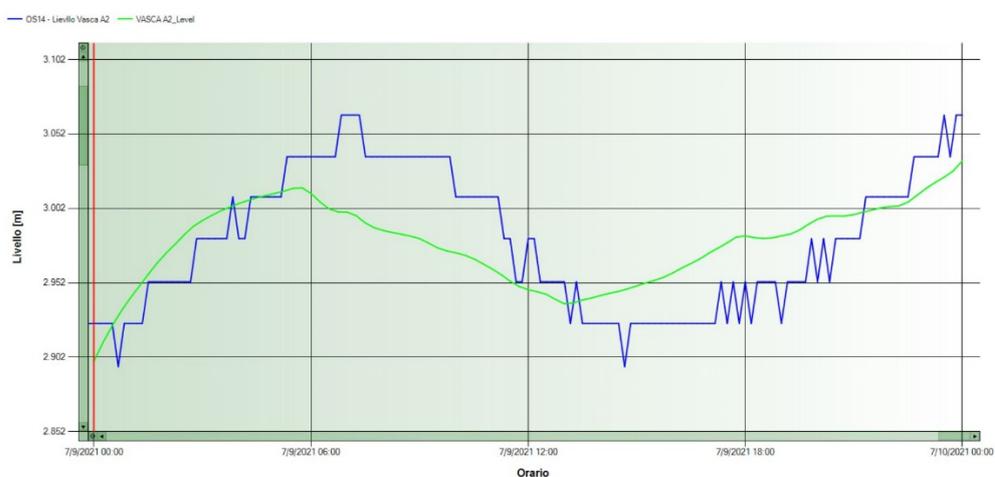


Fig. 3.62 Confronto livelli in vasca A2

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – vasca A3:



Fig. 3.63 Confronto livelli in vasca A3

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – vasca A4:

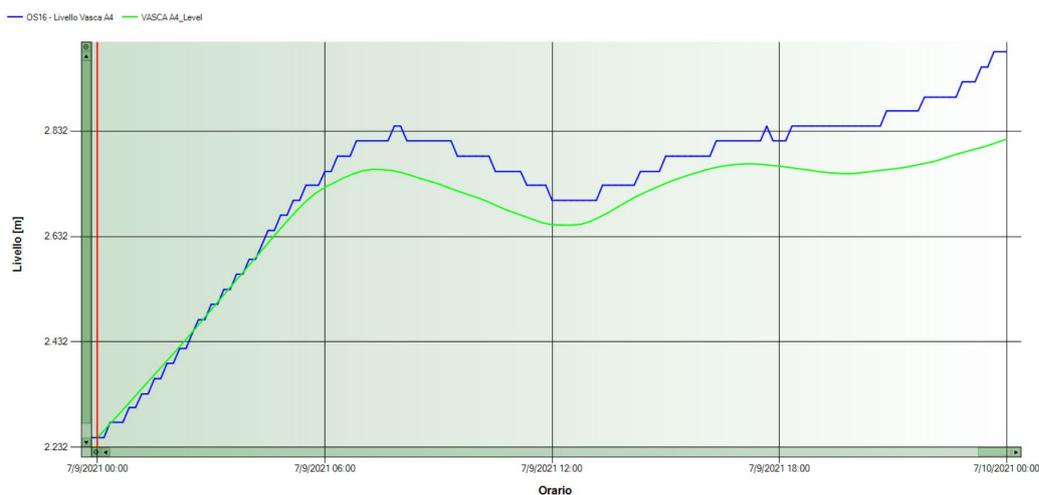


Fig. 3.64 Confronto livelli in vasca A4

A tali andamenti, per ciascuna vasca, a scopo di controllo, si è valutata la relazione tra grado di apertura della valvola ACV e livello d'acqua in vasca che risulta corretta in quanto si ha un grado di apertura ridotto con i livelli alti ed elevato con i livelli bassi; si riporta a titolo esemplificativo il grafico relativo alla vasca A2:

- Grado di apertura ACV – livello - vasca A2:

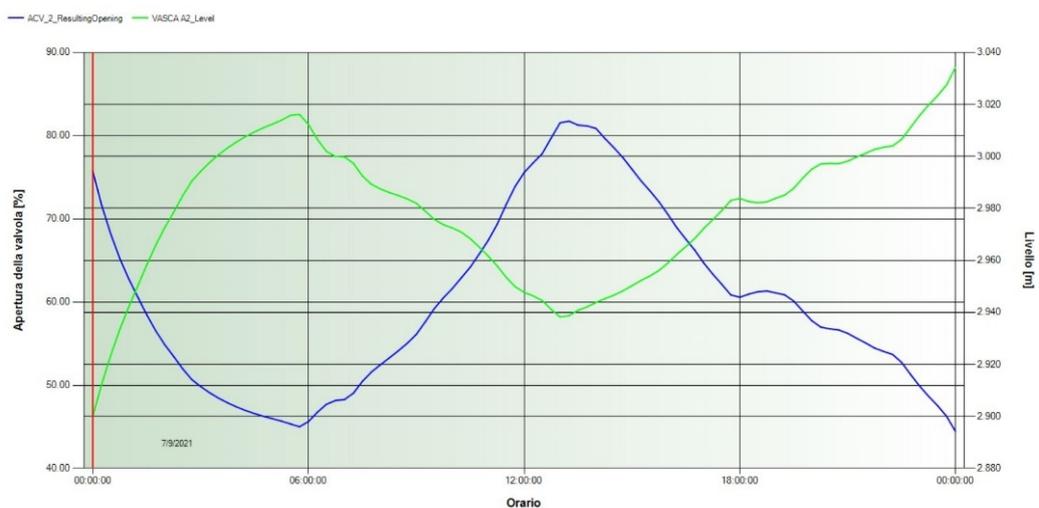
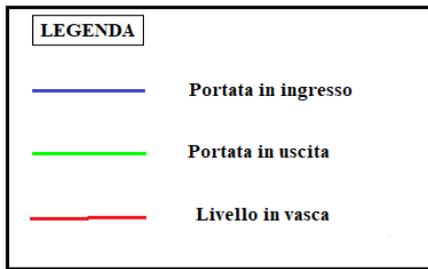


Fig. 3.65 Grado apertura ACV – livello vasca A2

Si sono dunque valutati i risultati in termini di portata in ingresso e portata in uscita e la variazione di livello risultanti dalla simulazione:



- Vasca A2:

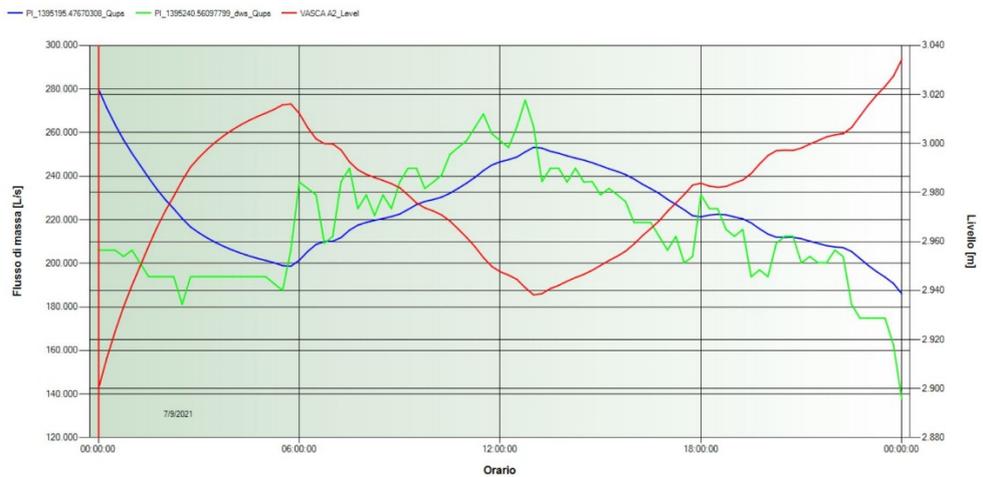


Fig. 3.66 Andamenti livelli e portate – vasca A2 – Portata in ingresso (blu) – Portata in uscita (verde)
Livello in vasca (rosso)

- Vasca A3:



Fig. 3.67 Andamenti livelli e portate – vasca A3 – Portata in ingresso (blu) – Portata in uscita (verde)
Livello in vasca (rosso)

- Vasca A4:

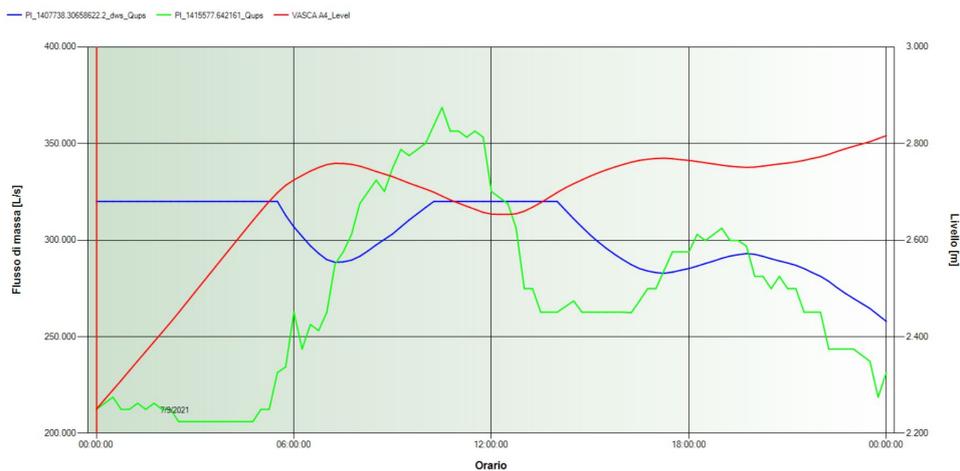


Fig. 3.68 Andamenti livelli e portate – vasca A4 – Portata in ingresso (blu) – Portata in uscita (verde)
Livello in vasca (rosso)

La stessa procedura di calibrazione è stata eseguita sui sub-distretti 10/B, 9, 11 e 10/D riscontrando sempre una buona rispondenza tra i dati misurati e quelli calcolati con la simulazione².

² V. Appendice 2.

CAPITOLO 4: Funzionalità del modello numerico della rete irrigua

In funzione dell'obiettivo prefissato, la disponibilità di un modello numerico della rete irrigua può consentire l'individuazione di scenari che si possono distinguere in tre principali tipologie:

- Simulazioni storiche
- Simulazioni real-time
- Simulazioni predittive

in cui le condizioni al contorno sono differenti.

In particolare, di seguito, si considera il possibile utilizzo del modello come supporto nella gestione della rete in maniera complementare ai dati misurati in campo dal telecontrollo.

Per cui, dapprima, in funzione dell'andamento giornaliero delle richieste, si valutano le portate da immettere a monte, con sufficiente anticipo, per assicurare la disponibilità delle stesse in ingresso alle vasche e garantire quindi la regolarità dell'esercizio irriguo.

Successivamente, in relazione ad uno scenario di funzionamento, si individuano eventuali deficit di pressione sulle singole prese comiziali, rappresentando poi sulle aree irrigate i range di pressione disponibili.

4.1 Valutazione andamento portata da disporre a monte (Ripartitore Finocchito)

La portata complessiva da erogare a monte si può ottenere dalla modellazione valutando l'andamento alle diverse "sorgenti" dei sub-distretti, in particolare distinguendo:

- distretti n.10/A e n.10/B con "sorgente" il nodo di "vasca di carico del sifone di Apricena"
- distretti n.10/D e n.9 con "sorgente" il nodo di "vasca terminale del sifone di Apricena"
- distretto n.11 con "sorgente" il nodo di "vasca di Pagliara vecchia".

Pertanto si è testato il sistema complessivamente con riferimento alle portate richieste, rilevate in uscita dalle vasche, utilizzando i dati misurati dallo SCADA il giorno 9 Luglio 2021 (alta stagione).

Si è ricavato, per ogni sub-distretto, l'andamento delle portate giornaliere alle varie sorgenti che, sommate, consentono di valutare le portate da immettere a monte al ripartitore di Finocchito nel corso della giornata per far sì che, in corrispondenza delle vasche, si evitino sfiori con conseguente spreco di risorsa o deficit con conseguente inefficienza del servizio.

Andamento portata alla “sorgente” – vasca di carico del sifone di Apricena

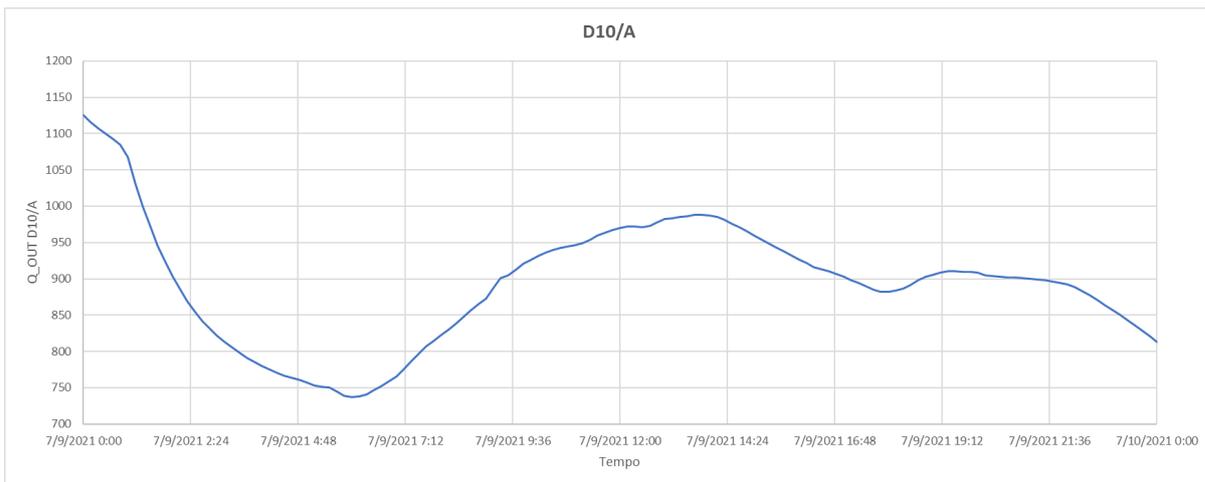


Fig. 4.1 Sub-distretto 10/A

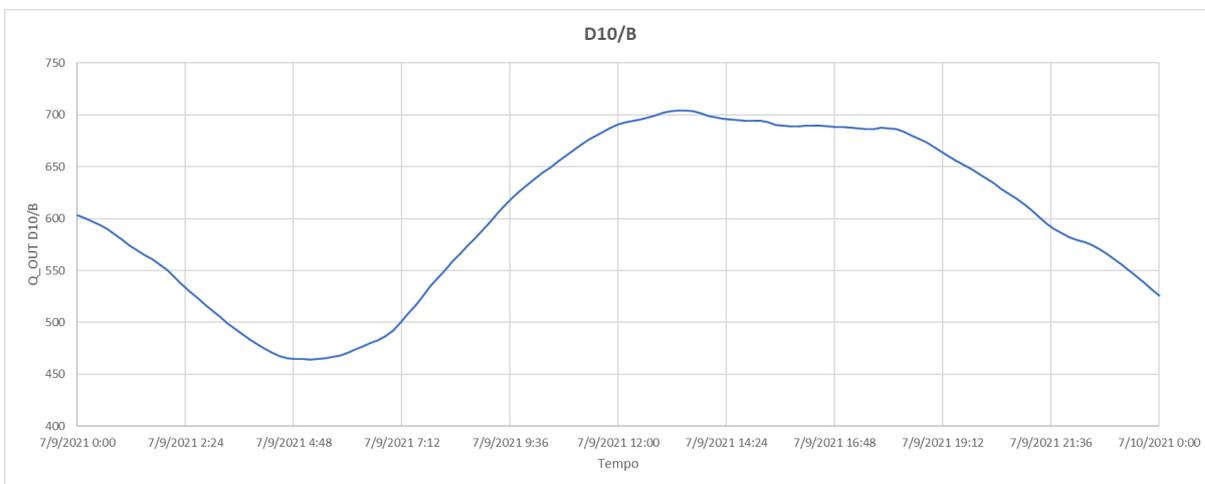


Fig. 4.2 Sub-distretto 10/B

Andamento portata alla “sorgente” – vasca terminale del sifone di Apricena

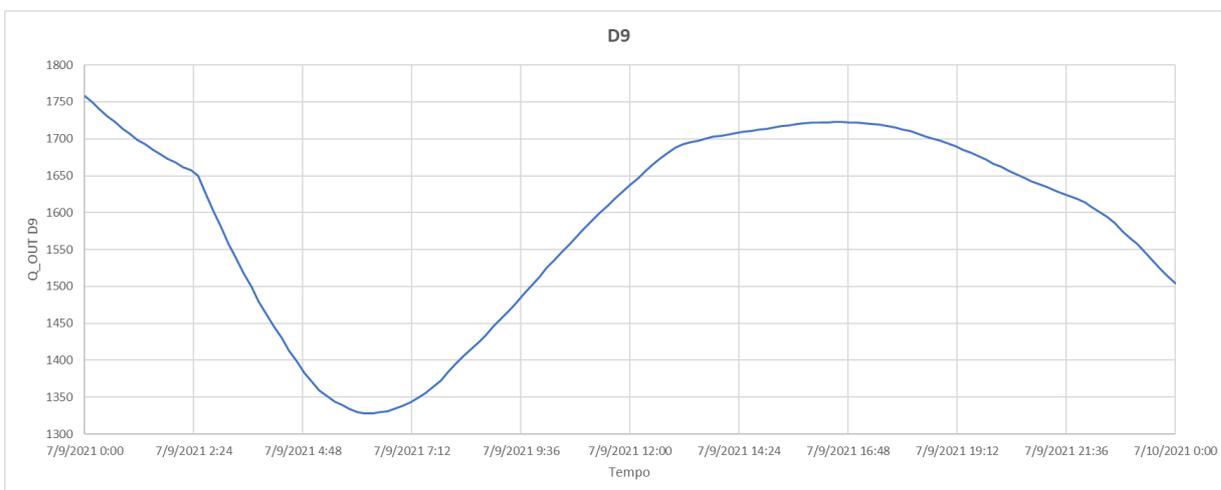


Fig. 4.3 Sub-distretto 9

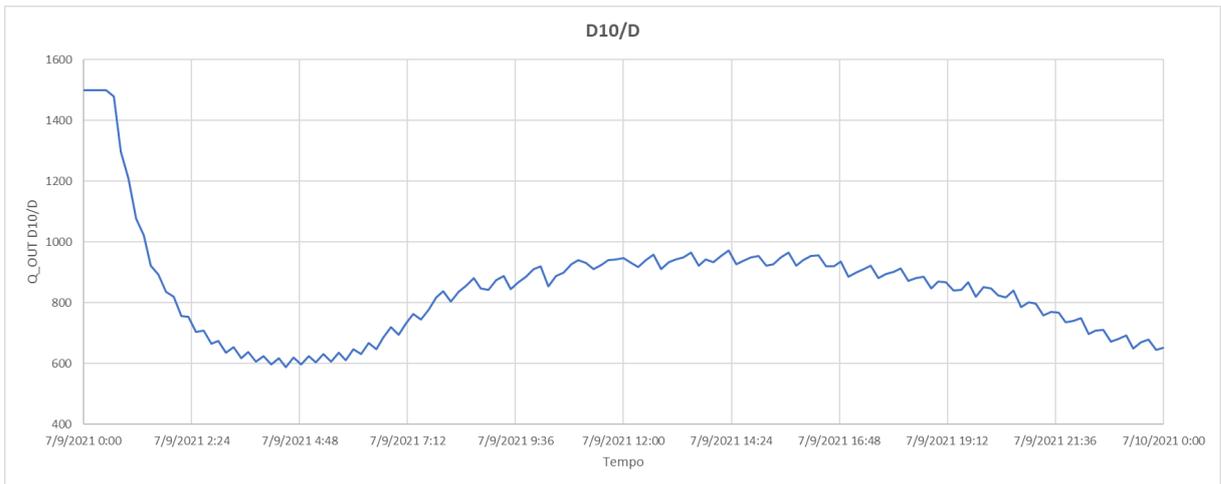


Fig. 4.4 Sub-distretto 10/D

Andamento portata alla “sorgente” – vasca di Pagliara vecchia

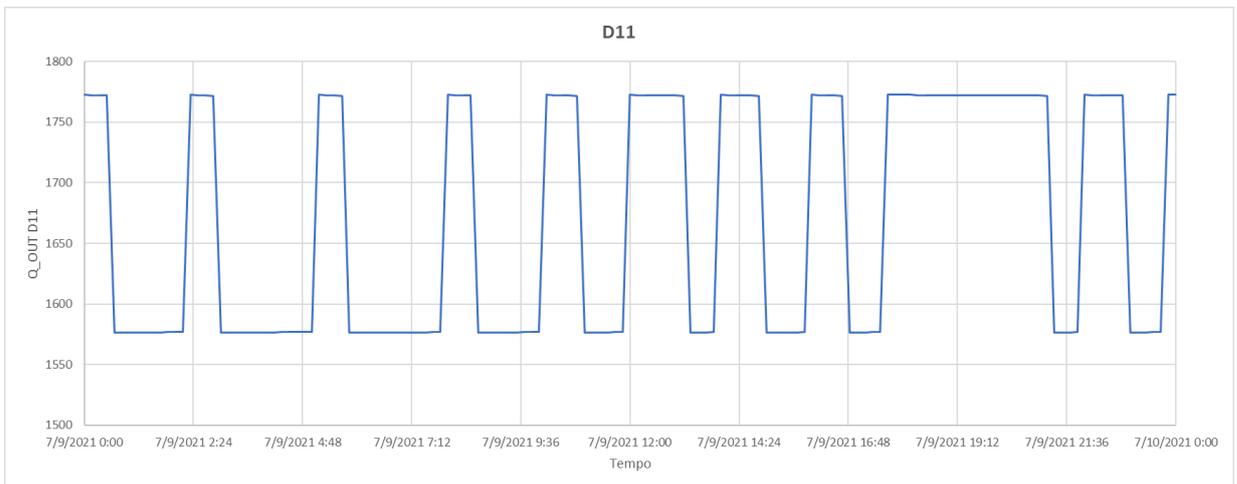


Fig. 4.5 Sub-distretto D11

Andamento portata complessiva richiesta a monte

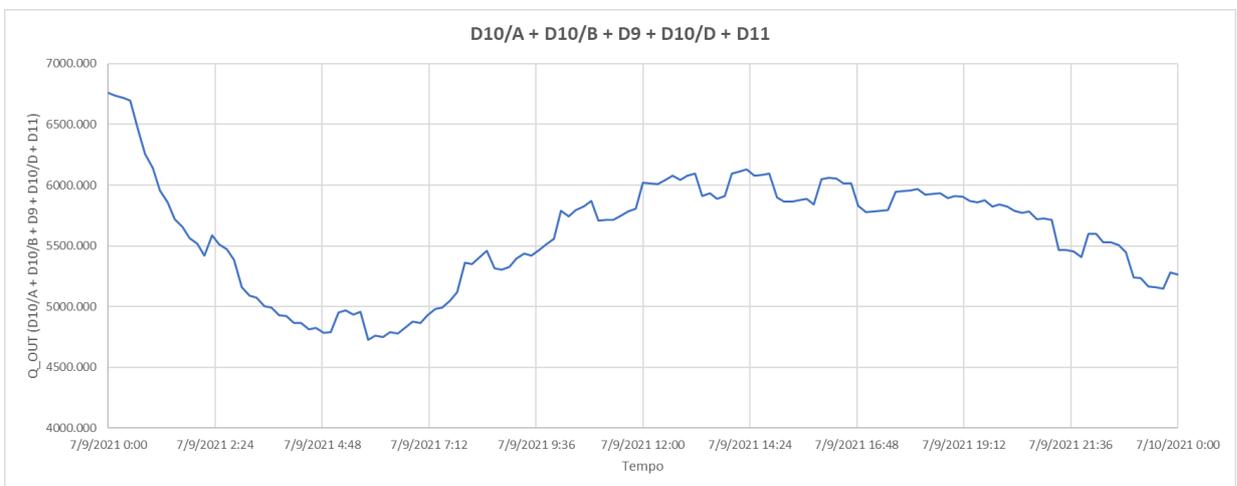


Fig. 4.6 Ripartitore Finocchito

4.2 Verifica della pressione di esercizio sulle prese comiziali

Il modello numerico della rete irrigua costituisce inoltre uno strumento utile alla valutazione dell'andamento giornaliero della pressione sui nodi a cui sono associate le prese comiziali.

Da requisiti di servizio, si deve assicurare a ciascuna presa una pressione minima pari a 25 m di colonna d'acqua (2,5 bar) e dunque risulta possibile individuare le prese caratterizzate da una pressione inferiore a tale valore.

Pertanto, per ciascun sub-distretto, si è proceduto, in una prima fase, all'identificazione dei nodi caratterizzati da un flusso di massa uscente e quindi a cui risultano associate le prese comiziali ed in una seconda fase al filtraggio di quelli caratterizzati da un valore di pressione inferiore ai 2,5 bar.

Si mostra, a titolo esemplificativo, la procedura seguita per il sub-distretto 10/A

SUB-DISTRETTO 10/A

- Identificazione nodi di interesse:

	NO_28	NO_240	NO_92	NO_19	NO_550	NO_16	NO_75	NO_297	NO_185	NO_100	NO_551	NO_424	NO_4
Pressure [bar]	2.8	5.1	2.6	3.9	3.6	3.3	3.8	4.5	5.1	5.4	2.4	3.8	1.1
Head [m]	134.671	93.862	91.684	119.112	137.750	137.825	119.022	132.933	118.872	118.798	137.962	95.620	119.189
Mass Flow [L/s]	17.171	15.172	30.343	5.827	17.171	17.171	17.480	17.171	11.654	11.654	17.171	15.172	5.827
Volume Flow [m³/s]	0.017	0.015	0.030	0.006	0.017	0.017	0.017	0.017	0.012	0.012	0.017	0.015	0.006
Mean Age [s]													
Min Age [s]													
Max Age [s]													
Sources													
Trace [-]													
Comment													

Fig. 4.7 Nodi associati alle prese

Risultano 43 nodi caratterizzati da un flusso di massa uscente:

	NO_551	NO_4	NO_554	NO_15	NO_358	NO_162	NO_161	NO_555	NO_2	NO_14	NO_299	NO_482	NO_3
Pressure [bar]	2.4	1.1	1.6	1.7	1.7	1.5	1.3	2.4	1.5	1.6	1.4	2.3	1.8
Head [m]	137.962	119.189	140.593	138.042	141.574	140.650	140.671	140.315	141.251	141.233	141.232	140.850	140.809
Mass Flow [L/s]	17.171	5.827	14.769	17.171	14.769	14.769	14.769	14.769	14.769	7.385	14.769	14.769	14.769
Volume Flow [m³/s]	0.017	0.006	0.015	0.017	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.007	0.015	0.015	0.015
Mean Age [s]													
Min Age [s]													
Max Age [s]													
Sources													
Trace [-]													
Comment													

Fig. 4.8 Nodi con pressione inferiore a 2,5 bar

di cui 13 nodi, a cui sono associate le prese comiziali, caratterizzati da un valore di pressione inferiore ai 2,5 bar. Tali nodi sono individuati planimetricamente come mostrato nella figura seguente:

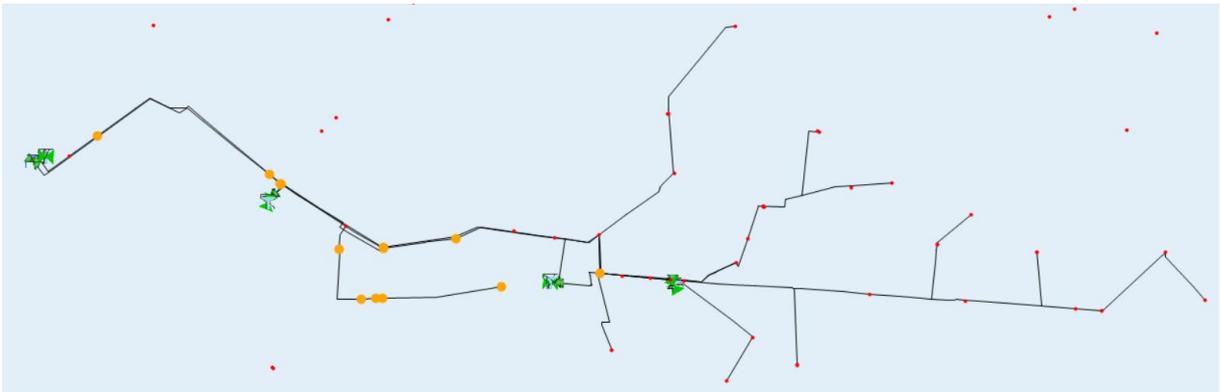


Fig. 4.9 Individuazione planimetrica nodi con deficit di pressione (in giallo)

Appare evidente che le prese con un valore di pressione basso si collocano in prossimità delle vasche da cui sono alimentate, considerata la limitata variazione della quota del terreno in prossimità delle stesse.

Si riporta a titolo esemplificativo l'andamento del valore di pressione sulla presa comiziale n.87 associata al nodo 15 appartenente al ripartitore in uscita dalla vasca A2.

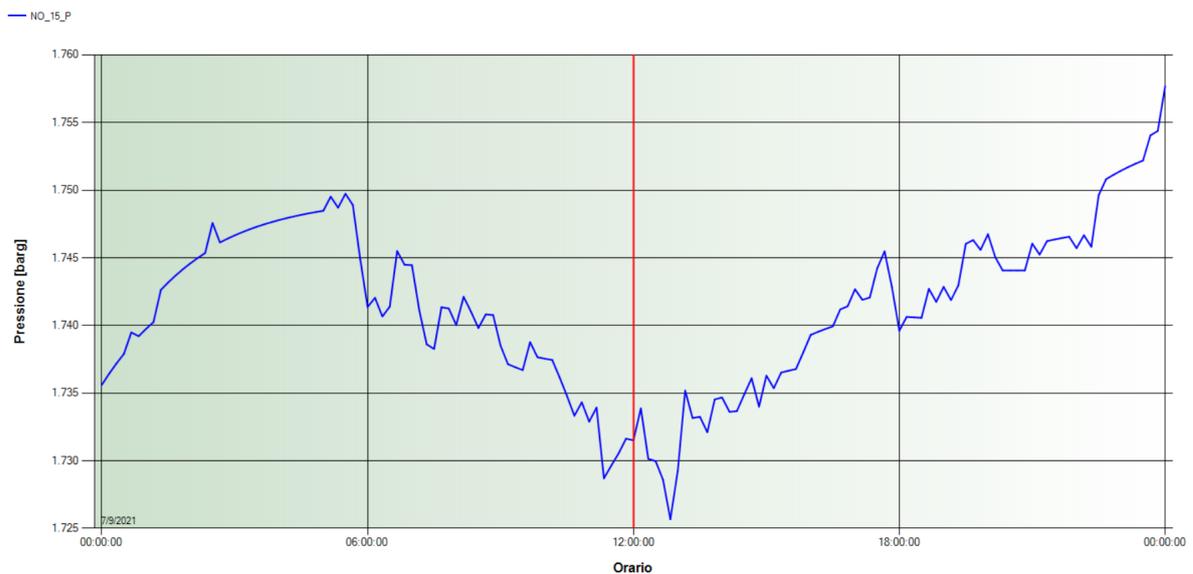


Fig. 4.10 Pressione su nodo n.15

Come si evince dal grafico sopra riportato l'andamento giornaliero della pressione è caratterizzato da un minimo attorno alle ore 12:00 AM a cui corrisponde il picco di prelievo massimo di portata dalla relativa presa.

Di seguito si riporta l'andamento della piezometrica tra la vasca A2 ed il nodo 15:

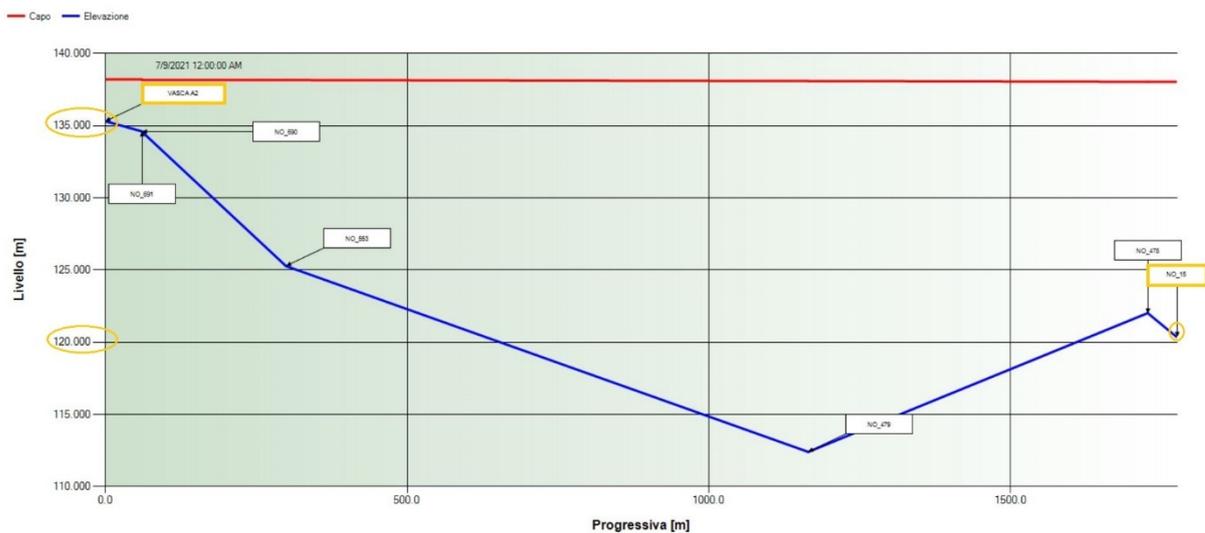


Fig. 4.11 Piezometrica vasca A2 – nodo n.15 ore 12:00 AM

È evidente che, in virtù della posizione altimetrica del nodo 15 a cui è associata la presa comiziale di interesse n.87, risulta impossibile garantire i 2,5 bar di pressione.

In ragione dell'orografia del territorio ed in particolare della collocazione altimetrica delle prese comiziali, il deficit di pressione potrebbe essere superato solo prevedendo dei piccoli impianti di sollevamento in uscita dalle vasche, naturalmente dopo un'analisi sia della gravità del deficit di pressione che dell'estensione delle superfici servite.

Un'altra importante funzionalità fornita dal software è la possibilità di caratterizzare le superfici del distretto in zone individuate da range di pressione differenti rappresentati graficamente con una gradazione di colore variabile, ottenendo delle "superfici isobariche".

Si riporta di seguito la mappa delle pressioni sul distretto 10/A alle ore 12:00 AM:

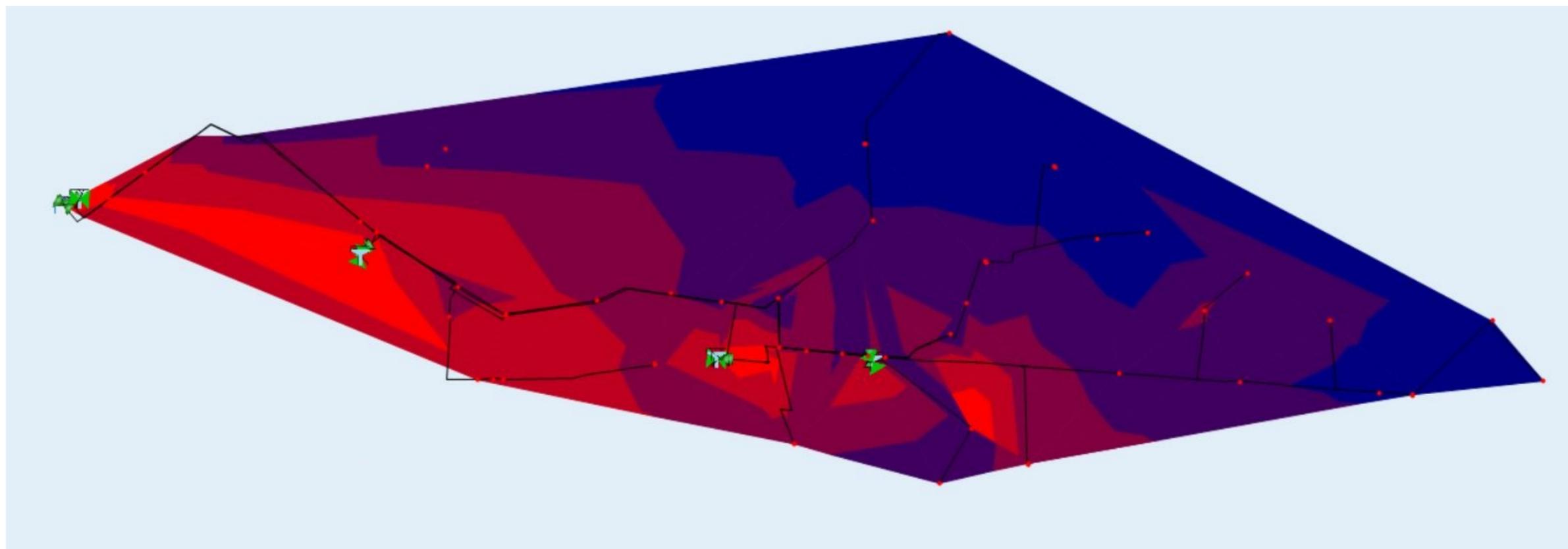


Fig. 4.12 Mappa delle pressioni D10/A in [bar]

A partire dal	A	Colore
4.44	-	■
3.33	4.44	■
2.22	3.33	■
1.11	2.22	■
-	1.11	■

Dalla fig. 4.12 risulta ancor più evidente che, come anticipato, il deficit di pressione interessa le zone in prossimità delle vasche. Al contrario, le zone più “distanti” risultano caratterizzate da valori di pressione sufficientemente alti, in genere superiore ai 3,5 bar.

La stessa procedura di valutazione dell’andamento giornaliero delle pressioni sulle prese comiziali è stata eseguita sui sub-distretti 10/B, 10/D, 9 e 11³.

³ V. Appendice 3.

4.2.1 Risultati

Dopo aver eseguito la procedura di valutazione delle pressioni sulle prese comiziali per ciascun distretto in esame, si è giunti alla conclusione che per i distretti n.9, n.10 e n.11, nel giorno simulato, su 252 prese comiziali, 45 risultano essere caratterizzate da un valore di pressione inferiore al limite soglia di 2,5 bar (requisito di servizio).

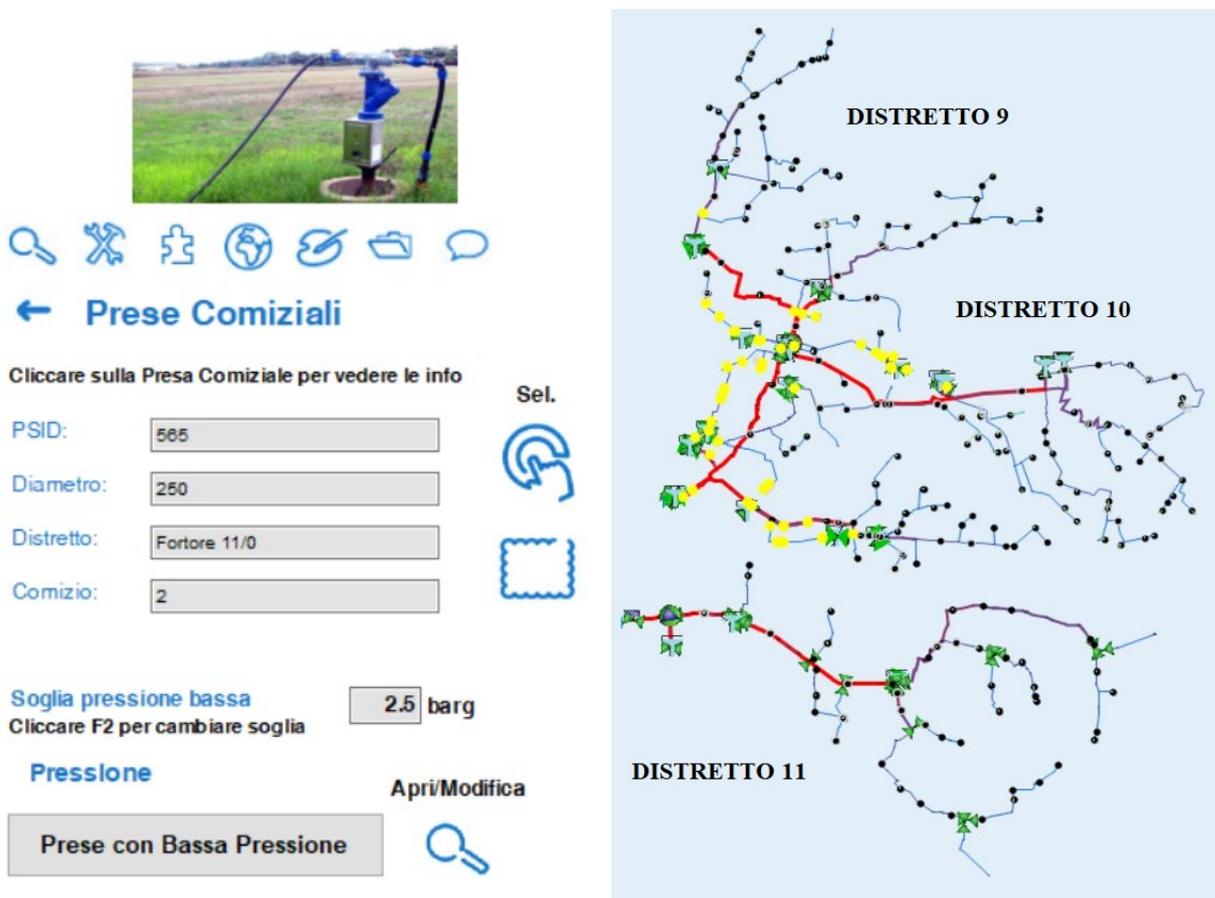


Fig. 4.13 Prese caratterizzate da deficit di pressione – D9 – D10 – D11

Come si evince dalla fig. 4.13 le suddette prese appartengono in larga misura ai sub-distretti 10/A – 10/B in cui la collocazione altimetrica delle prese comiziali impedisce che su di esse vengano garantiti i 2,5 bar di pressione. È altresì evidente come nel distretto n.11 nessuna presa comiziale sia caratterizzata dal deficit di pressione e ciò in virtù della presenza dell'impianto di sollevamento 'Bellantuoni' a servizio di tali aree.

Risulta dunque chiaro che in ragione dell'orografia del territorio ed in particolare della collocazione altimetrica delle prese comiziali, il deficit di pressione potrebbe essere superato solo prevedendo dei piccoli impianti di sollevamento in uscita dalle vasche, naturalmente dopo un'analisi sia della gravità del deficit di pressione che dell'estensione delle superfici servite.

Conclusioni

L'acqua è una risorsa limitata che è necessario salvaguardare in particolar modo in ambito irriguo in virtù dei volumi che tale uso impiega (circa il 50% delle risorse idriche utilizzate). Diventa dunque di fondamentale importanza assicurare l'ottimale distribuzione di suddetta risorsa, condizione che risulta tanto meglio realizzabile quanto più i sistemi di approvvigionamento, adduzione e distribuzione risultano "flessibili" in fase di gestione e dunque di esercizio. Tale flessibilità può essere assicurata asservendo un sistema irriguo ad un sistema di telecontrollo integrato con un modello numerico.

Obiettivo del presente elaborato di tesi è l'implementazione di un modello numerico della rete irrigua del Consorzio di Bonifica per la Capitanata che, con l'ausilio di dati di esercizio in tempo reale disponibili da un sistema di telecontrollo, diventa uno strumento rilevante in termini di supporto al gestore, il quale può assumere decisioni più rapide ed informate migliorando il servizio all'utenza e assicurando nel contempo la riduzione degli sprechi d'acqua da sfioro, riducendo dunque i costi di gestione.

L'analisi è stata eseguita in riferimento alla costruzione ed alla calibrazione del modello numerico della rete irrigua, mettendo in risalto il percorso seguito per il passaggio dalla realtà fisica al modello numerico, approfondendo l'introduzione di scenari che riproducono le modalità di funzionamento giornaliero in periodi di massimo consumo, realmente rilevati in una stagione irrigua di riferimento.

La suddetta analisi è stata suddivisa in tre fasi principali:

- 1) Studio della rete irrigua e reperimento dei dati che la caratterizzano
- 2) Costruzione e calibrazione del modello numerico della rete
- 3) Valutazione funzionalità del modello numerico della rete

Nella prima fase si è concentrata l'attenzione in primis sulle regole di funzionamento idraulico della rete, azione rivelatasi poi fondamentale per la ricerca degli elementi del modello che riproducono adeguatamente il comportamento reale ed in seconda battuta sul reperimento dei dati caratteristici del sistema; a tal proposito la precisione è la correttezza di questi ultimi (definizione del tracciato in termini geografici, planimetrici ed altimetrici, corretta assegnazione dei materiali, dei diametri e del tipo di condotta) hanno concorso a facilitare la verifica e la calibrazione del modello.

La seconda fase di costruzione e calibrazione del modello numerico della rete è stata svolta mediante l'ausilio di due software: QGIS e AQUIS.

Nello specifico il QGIS si è reso utile per la definizione dello schema topologico della rete e per la caratterizzazione altimetrica dell'area geografica di interesse mediante l'introduzione del DTM che ha consentito di verificare la congruità dei carichi idraulici.

AQUIS ha consentito il completamento della fase di costruzione della rete in esame, in particolare per implementare gli ulteriori elementi e parametri idraulici caratteristici della rete, non definiti sul GIS, ma indispensabili per le successive elaborazioni.

La fase di calibrazione ha rivestito un ruolo di fondamentale importanza in quanto ha permesso di verificare la congruenza del comportamento idraulico, simulato utilizzando il software AQUIS, con i dati misurati sulla rete fisica dal sistema di telecontrollo.

Detta fase è stata suddivisa in due step, nel primo si è assegnato l'andamento della misura di portata in ingresso, introducendo l'oggetto AQUIS valvola "FCV" (Flow Control Valve) che consente di simulare detto andamento, oltre che la portata in uscita. Ciò ha consentito di verificare la congruenza dell'andamento dei livelli misurati in vasca con quelli risultanti dalla simulazione.

Nel secondo step si è introdotto l'oggetto di AQUIS valvola "ACV" (Altitude Control Valve) che adegua il valore del grado di apertura e conseguentemente quello di portata in ingresso alla vasca in funzione del livello della stessa con lo scopo di simulare il comportamento reale dell'otturatore a disco che, coadiuvato dalla valvola a fuso presente in ingresso ad ogni vasca, tende a chiudersi all'aumentare del livello nella stessa per evitare perdite da sfioro. Ciò ha permesso di verificare il funzionamento della rete, imponendo esclusivamente le richieste delle utenze.

Infine nella terza ed ultima fase si è proceduto, dapprima, in funzione dell'andamento giornaliero delle richieste, alla valutazione delle portate da immettere a monte, con sufficiente anticipo, per assicurare la disponibilità delle stesse in ingresso alle vasche e garantire quindi la regolarità dell'esercizio irriguo.

Successivamente, in relazione ad uno scenario di funzionamento, si sono individuati eventuali deficit di pressione sulle singole prese comiziali rispetto alla soglia da garantire quale requisito di esercizio pari a 2,5 bar, rappresentando poi sulle aree irrigate i range di pressione disponibili. Nella realizzazione del modello è risultata di particolare delicatezza l'individuazione e la corretta parametrizzazione degli elementi AQUIS che consentano di riprodurre il comportamento reale in corrispondenza di nodi idraulici controllati da organi di regolazione, in quanto dal comportamento di detti elementi deriva la minore o maggiore affidabilità della simulazione.

In conclusione, il lavoro redatto consente di avere a disposizione un modello numerico della rete irrigua oggetto di studio che, ad oggi, risulta un importante strumento a supporto del gestore in termini decisionali finalizzato ad assicurare la regolarità dell'esercizio irriguo ed il contenimento degli sprechi della risorsa acqua.

APPENDICE 1

SUB-DISTRETTO D10/B

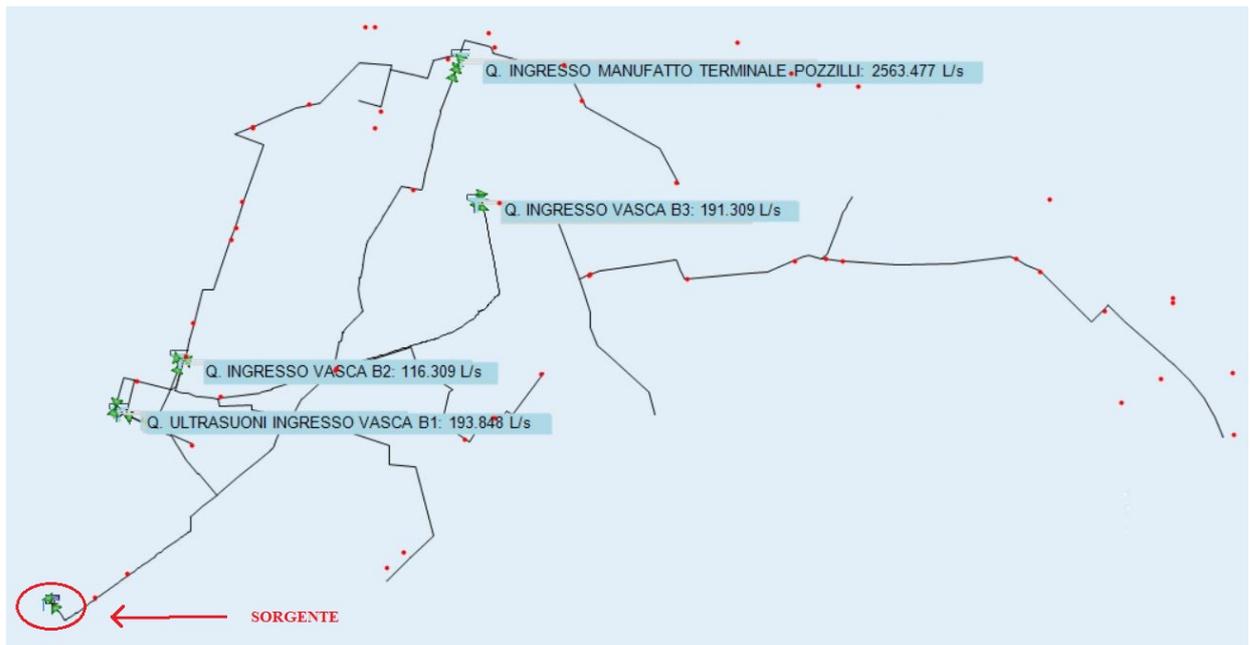


Fig. 1 Identificazione sorgente D10/B

Inserimento dati

Per tale distretto sono stati inseriti i seguenti dati:

- Sorgente:
quota media sul livello del mare pari a 140,70 m;
tirante medio misurato pari a 2,45m (Controllo);

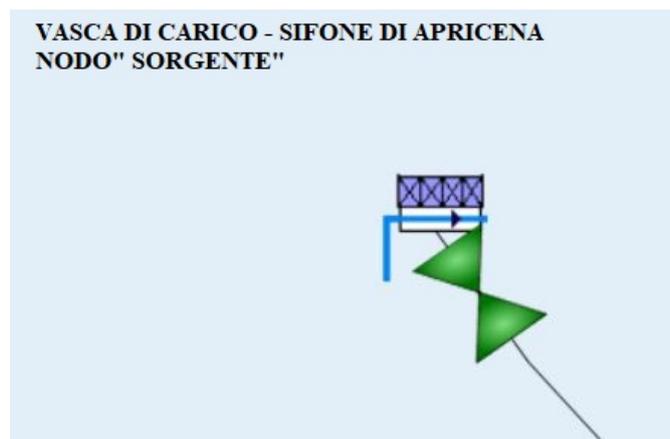


Fig. 2 Sorgente – vasca di carico sifone Apricena

- Portate caratteristiche prese comiziali:

	156	151	159	168	153	164	147	146	138	144
Current Node	NO_39	NO_7	NO_35	NO_584	NO_38	NO_44	NO_26	NO_776	NO_31	NO_33
SMS										
SMSFlag	<input type="checkbox"/>									
E-MAIL										
E-MAILFlag	<input type="checkbox"/>									
Ignore	<input type="checkbox"/>									
PSID	481	476	484	493	478	489	472	471	463	469
DIAMETRO	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
PORTAT_VEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAR_SFIATO	SI									
COMIZIO	26	21	29	38	23	34	17	16	8	14
Diametro_1	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
PORTAT_OUT	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
DISTRETTO	Fortore 10/B									

40 oggetti, (300 nascosto da DISTRETTO=Fortore 10/B)

Fig. 3 Portate caratteristiche prese comiziali

Nella figura sopra riportata sono evidenziati i valori di portata caratteristica ai singoli nodi associati alle relative prese comiziali, corrispondenti al valore massimo di capacità di portata prelevabile dalle prese stesse.

- Vasca B1:

- Portata in ingresso misurata:



Fig. 4 Portata in ingresso misurata – Vasca B1

- Portata in uscita misurata:

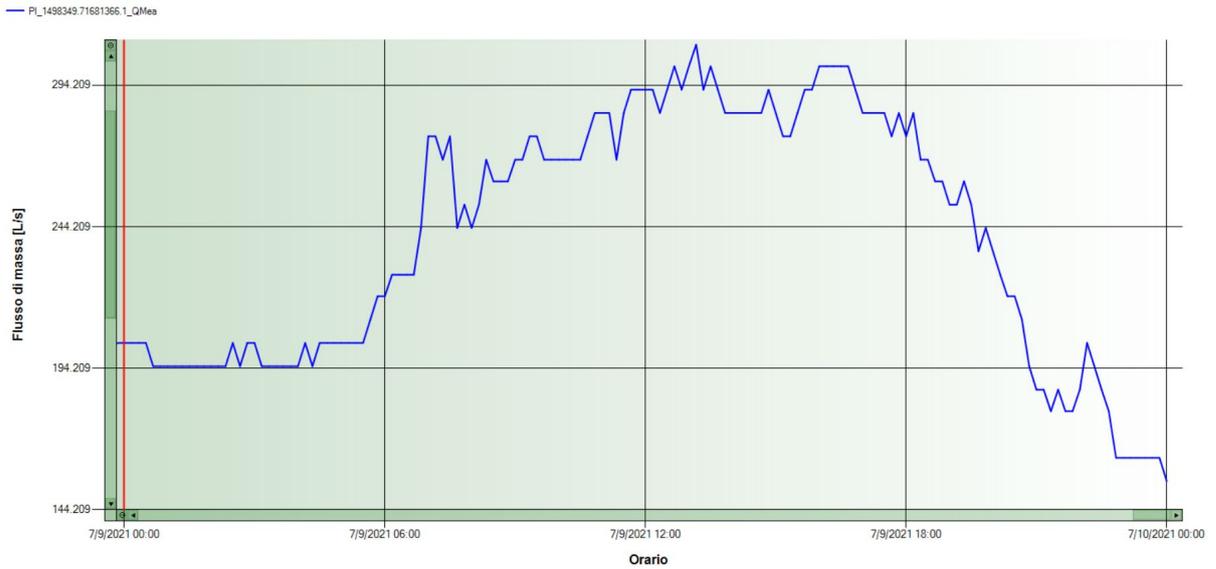


Fig. 5 Portata in uscita misurata – Vasca B1

- Livello vasca misurato:

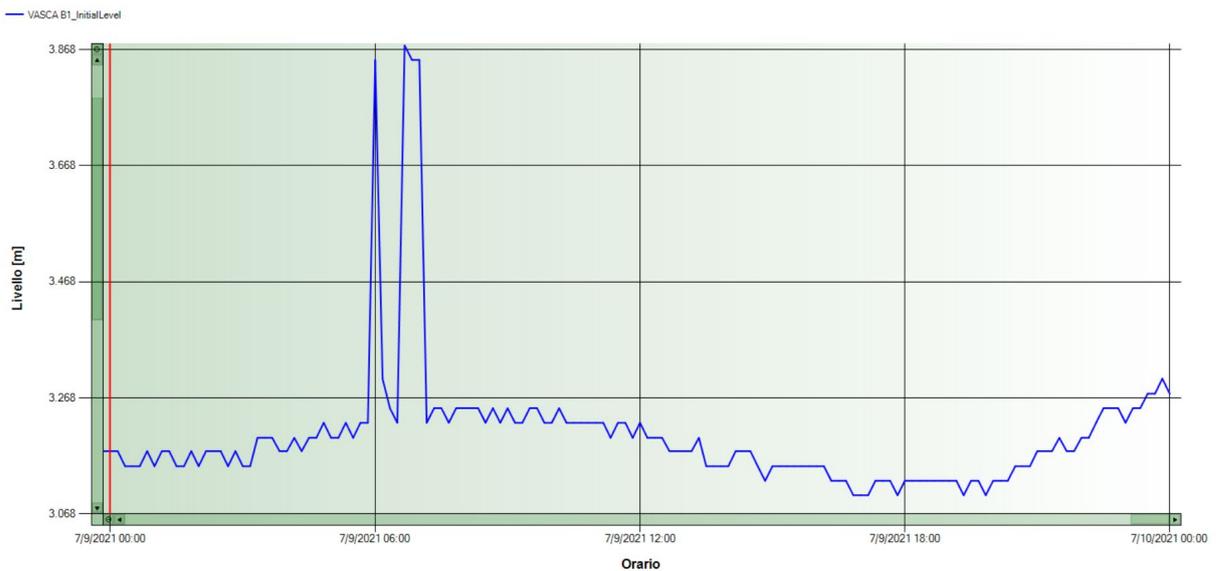


Fig. 6 Livello misurato – Vasca B1

Come si evince dal grafico sopra riportato appaiono evidenti gli errori del misuratore del livello in vasca laddove appaiono picchi massimi di livello, nello specifico attorno alle 06:00 AM.

- Vasca B2:

- Portata in ingresso misurata:

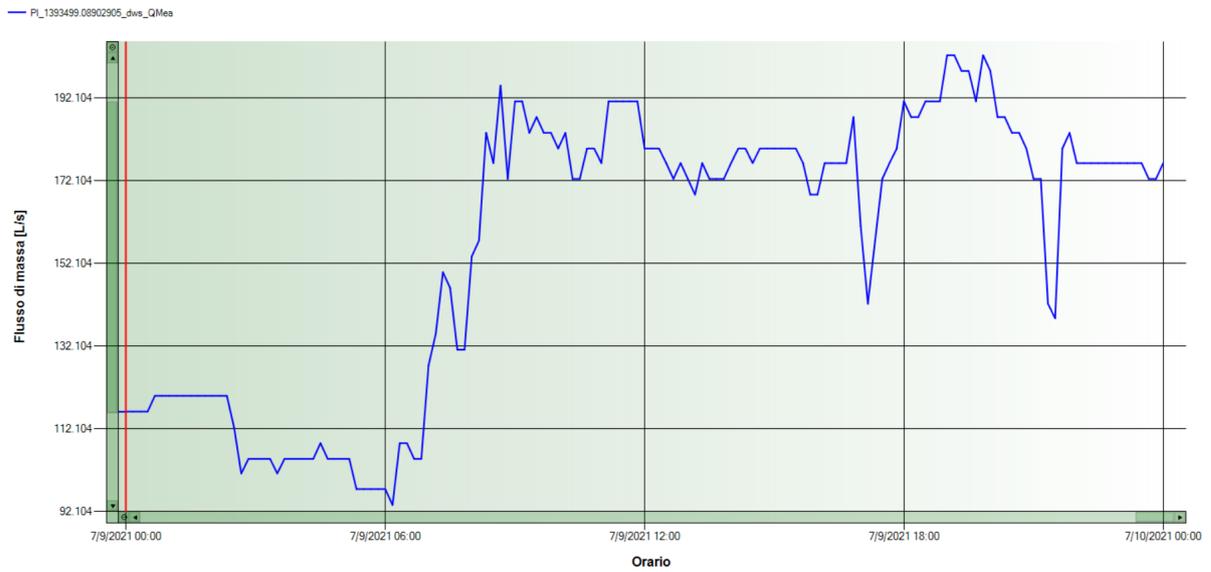


Fig. 7 Portata in ingresso misurata – vasca B2

- Portata in uscita misurata:

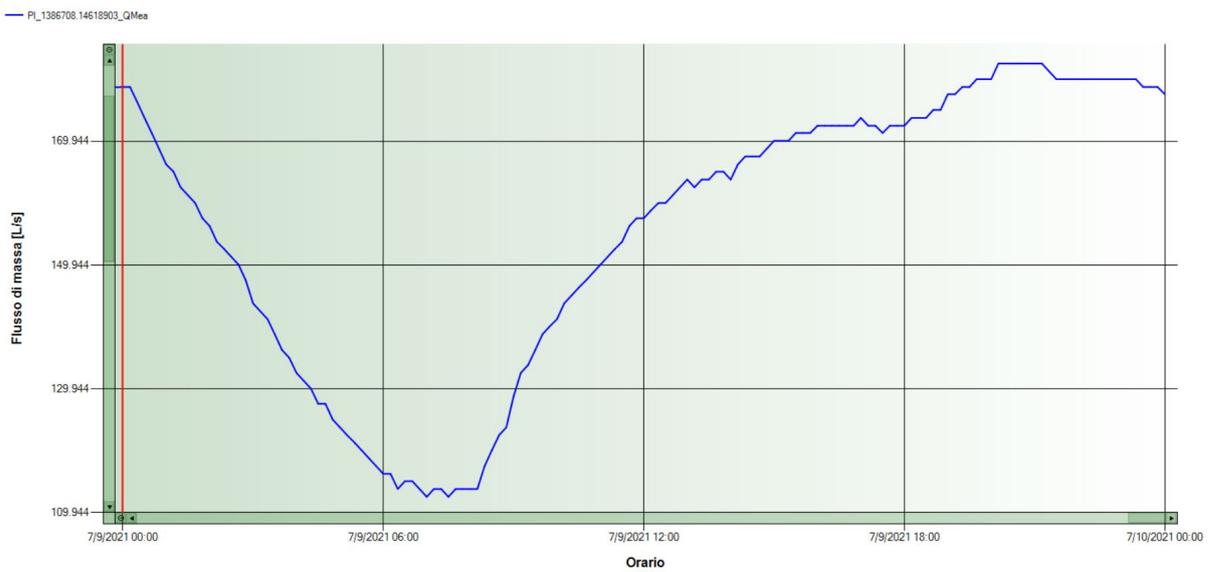


Fig. 8 Portata in uscita misurata – vasca B2

- Livello vasca misurato:

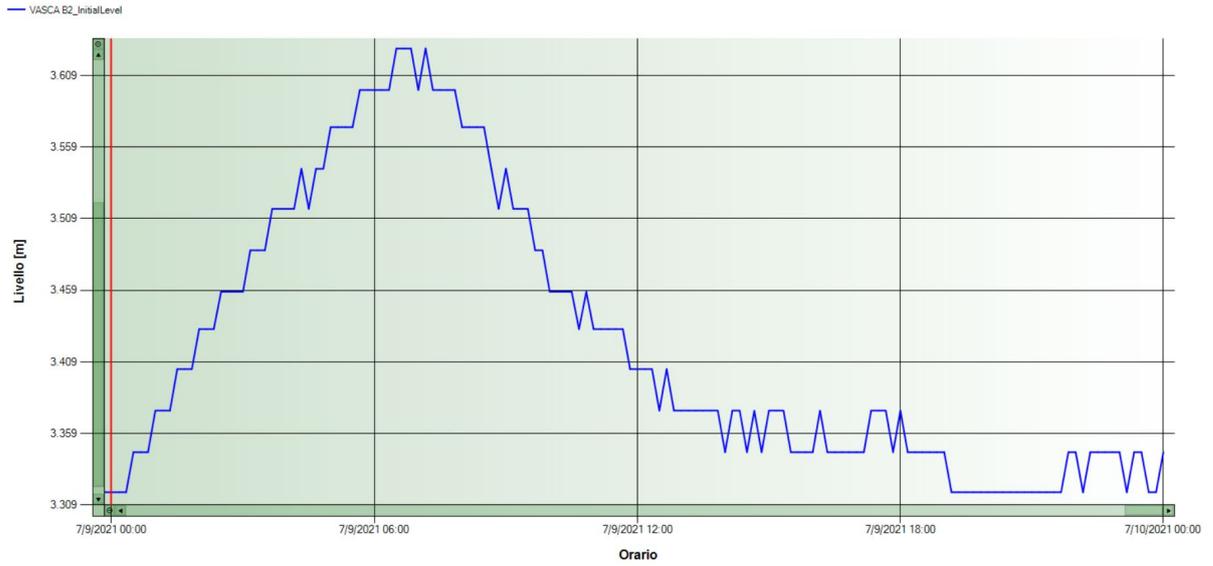


Fig. 9 Livello misurato – Vasca B2

- Vasca B3:

- Portata in ingresso misurata:

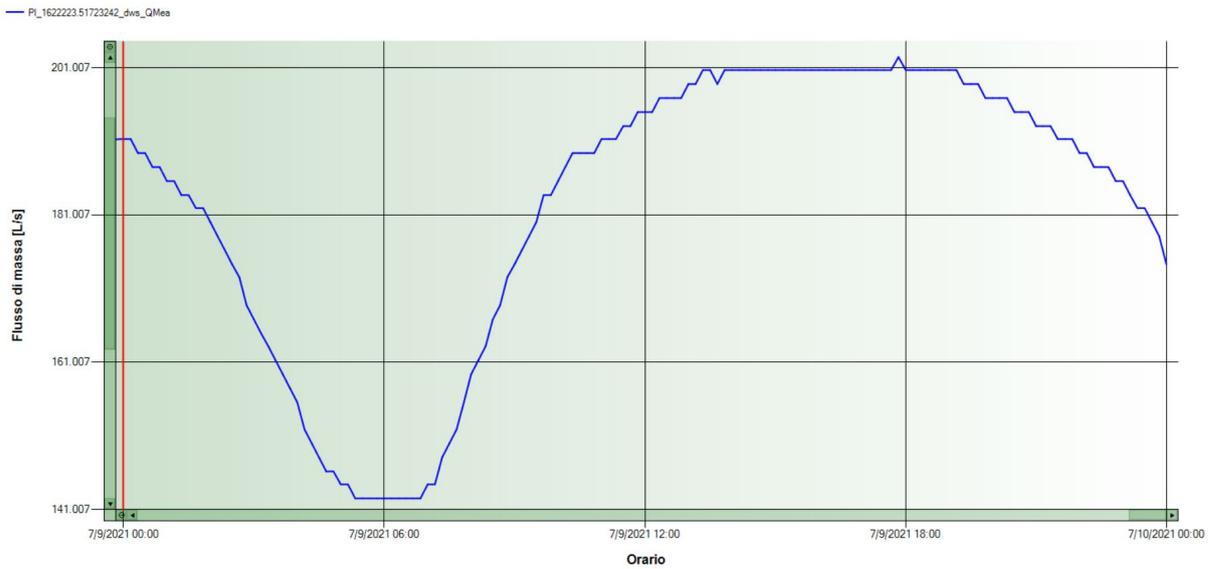


Fig. 10 Portata in ingresso misurata – Vasca B3

- Portata in uscita misurata:



Fig. 11 Portata in uscita misurata – vasca B3

- Livello vasca misurato:

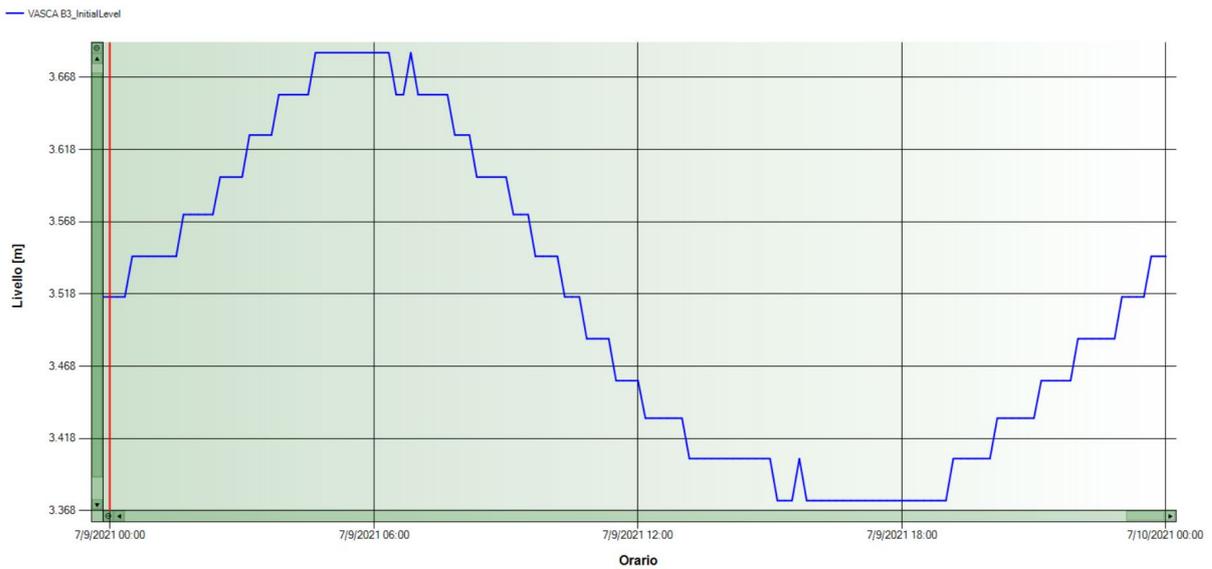
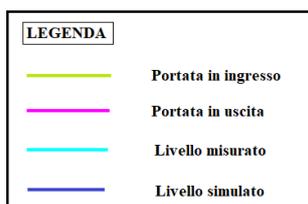


Fig. 12 Livello misurato – Vasca B3

Simulazione

Con la simulazione di AQUIS si è verificata la rispondenza tra il livello misurato e quello simulato nonché il coerente andamento in relazione alle portate in ingresso e in uscita, come evidenziato nei grafici seguenti:



- Vasca B1:



Fig. 13 Andamento livelli – Vasca B1 – Portata in ingresso (verde) – Portata in uscita (magenta)
Livello in vasca misurato (ciano) – Livello in vasca simulato (blu)

- Vasca B2:

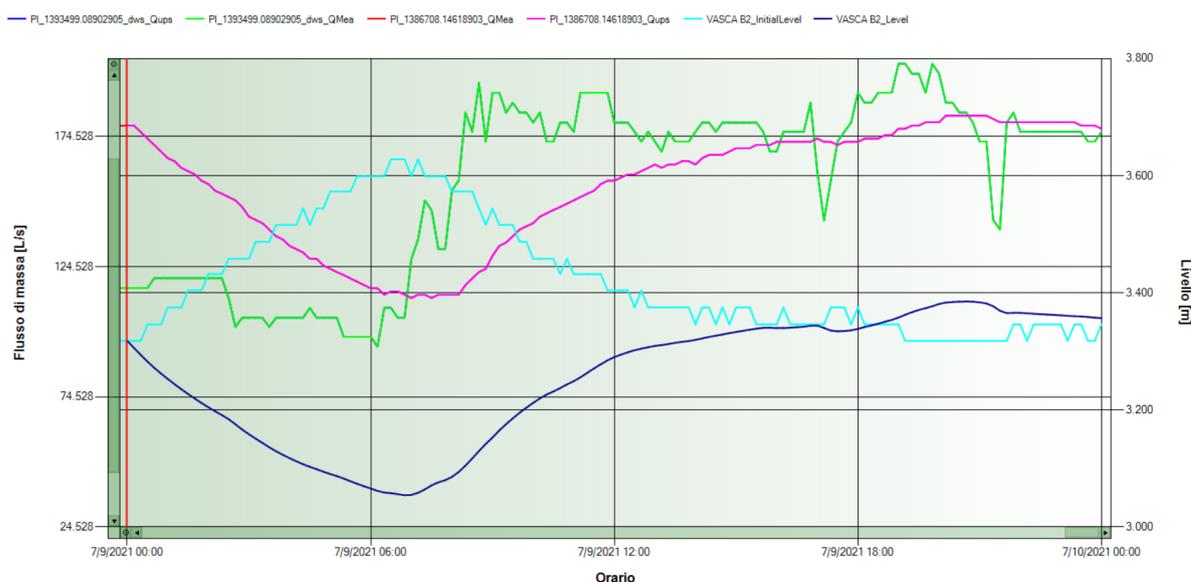


Fig. 14 Andamento livelli – vasca B2 – Portata in ingresso (verde) – Portata in uscita (magenta)
Livello in vasca misurato (ciano) – Livello in vasca simulato (blu)

Come si evince dal grafico sopra riportato il livello simulato ha un andamento speculare a quello misurato. Tuttavia l'analisi degli andamenti delle portate in ingresso ed in uscita dalla vasca B2, risultano coerenti i valori di livello simulati diversamente da quelli misurati.

- Vasca B3:

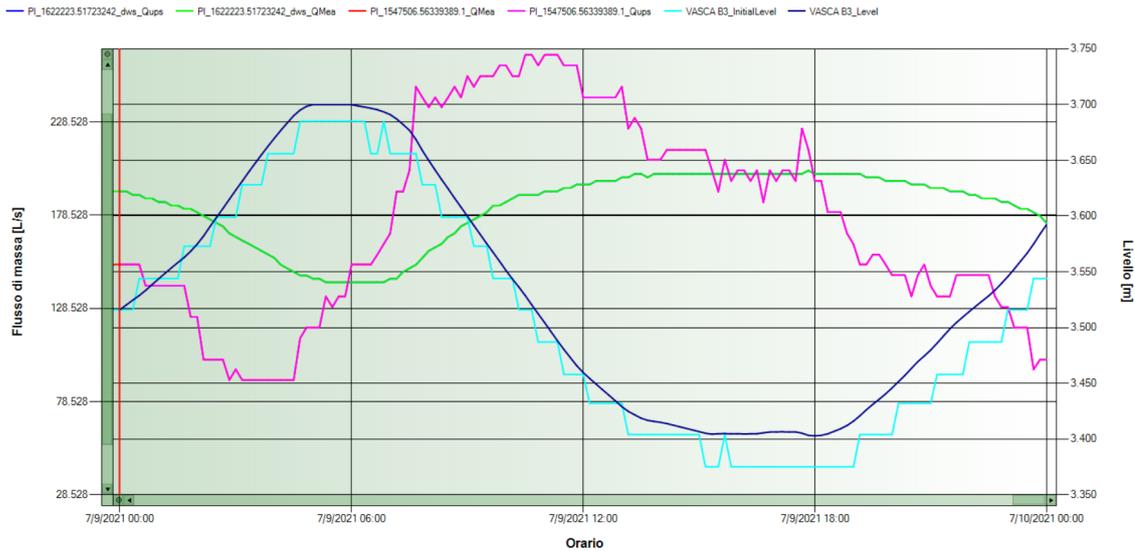


Fig. 15 Andamento livelli – Vasca B3 – Portata in ingresso (verde) – Portata in uscita (magenta)
Livello in vasca misurato (ciano) – Livello in vasca simulato (blu)

Come si evince dai grafici la simulazione ha riprodotto con buona approssimazione l'andamento dei livelli in vasca verificando il rispetto dell'equazione di continuità:

- Distribuzione delle portate sulle prese comiziali.

Di seguito si riportano i valori di portata prelevata ai nodi alle ore 12:00 AM derivanti dalla distribuzione della Net Zone Flow ai nodi applicando il coefficiente Adaption Factor (AF) come moltiplicativo dei consumi definiti inizialmente come condizioni al contorno.

	*	NO_35	NO_16	NO_121	NO_24	NO_36	NO_762	NO_25	NO_397	NO_23	NO_22	^
Pressure [barg]		2.3	0.6	3.2	4.8	1.9	1.8	3.5	1.7	4.8	3.5	
Head [m]		130.909	133.247	141.699	125.851	126.509	126.491	126.366	127.166	125.886	126.354	
Mass Flow [L/s]		35.398	35.398	22.200	21.558	21.558	21.558	21.558	21.558	21.558	21.558	
Volume Flow [m³/s]		0.035	0.035	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	

Fig. 16 Portata prelevata ai nodi – D10/B

Di seguito si riporta l'andamento della portata nell'arco delle 24 h di una singola presa comiziale (NO_35 – Presa comiziale 158 e 159) in cui si apprezza l'andamento atteso di prelievo basso nelle ore notturne e con incremento nelle ore centrali della giornata.

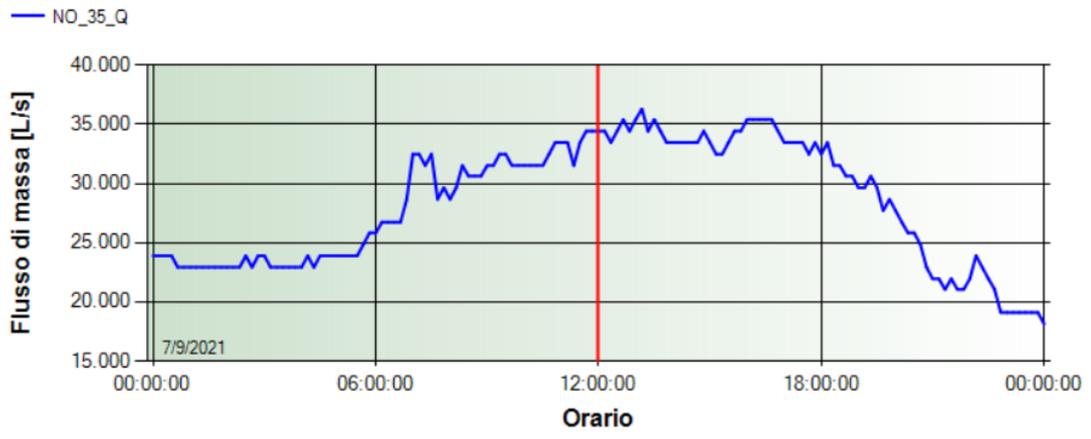


Fig. 17 Andamento giornaliero portata prelevata al nodo n.35

DISTRETTO D9

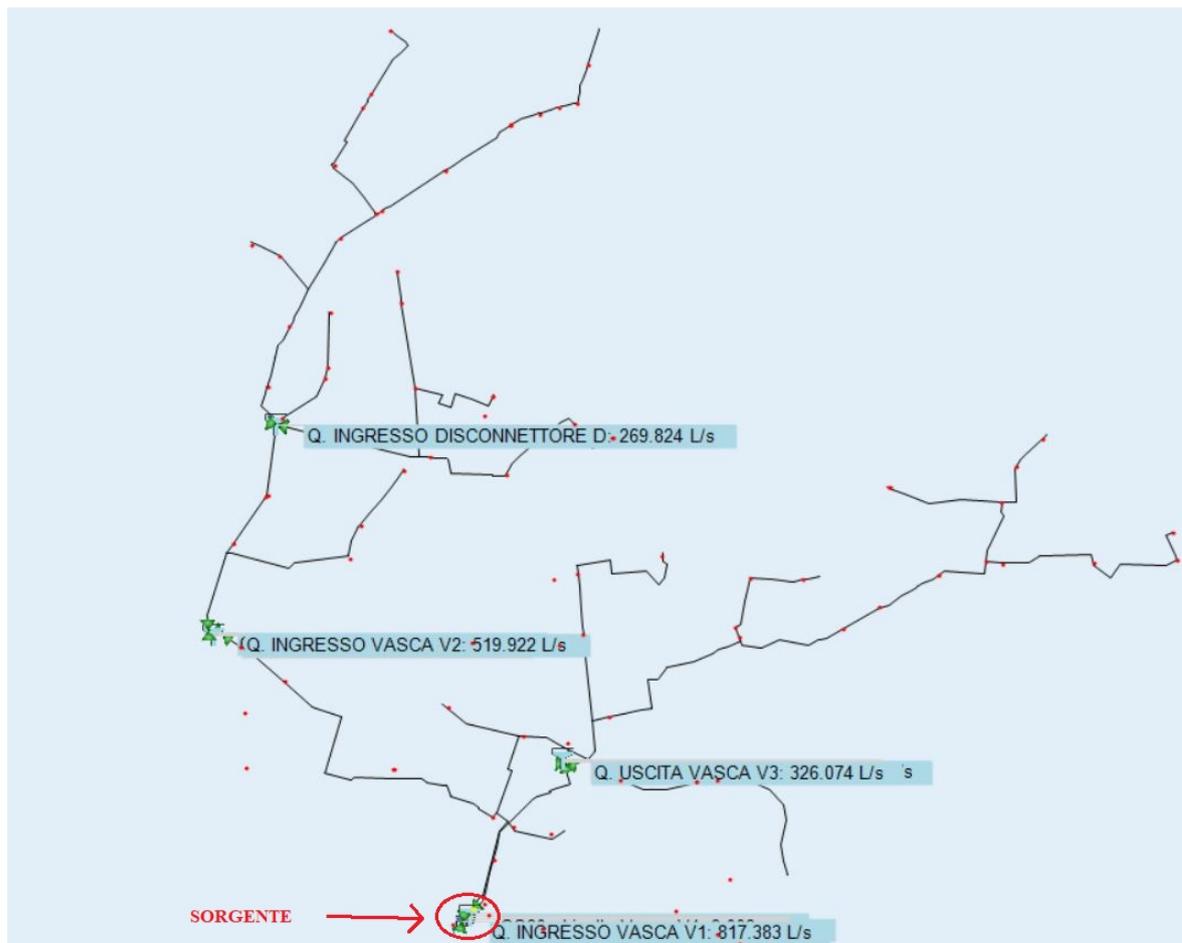


Fig. 1 Identificazione sorgente D9

Inserimento dati

Per tale distretto sono stati inseriti i seguenti dati:

- Sorgente:
quota media sul livello del mare pari a 132 m;
tirante medio misurato pari a 5 m (Controllo);

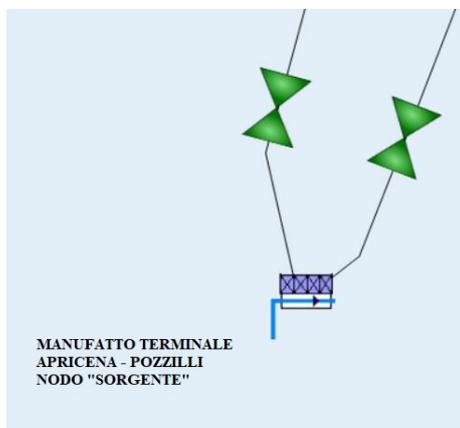


Fig. 19 Sorgente – manufatto terminale Apricena (Pozzilli)

- Portate caratteristiche prese comiziali:

	29	49	32	35	74	41	2	12	40	15
Current Node	NO_201	NO_515	NO_7	NO_612	NO_202	NO_19	NO_119	NO_25	NO_521	NO_12
SMS										
SMSFlag	<input type="checkbox"/>									
E-MAIL										
E-MAILFlag	<input type="checkbox"/>									
Ignore	<input type="checkbox"/>									
PSID	354	374	357	360	399	366	327	337	365	340
DIAMETRO	150	150	150	150	150	150	200	150	150	200
PORTAT_VEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAR_SFIATO	NO									
COMIZIO	30	50	33	36	75	43	3	13	42	16
Diametro_1	150	150	150	150	150	150	200	150	150	200
PORTAT_OUT	60	60	60	60	60	60	60	60	60	0
DISTRETTO	Fortore 09/0									

78 oggetti, (262 nascosto da DISTRETTO=Fortore 09/0)

Fig. 20 Portate caratteristiche prese comiziali

Nella figura sopra riportata sono evidenziati i valori di portata caratteristica ai singoli nodi associati alle relative prese comiziali, corrispondenti al valore massimo di capacità di portata prelevabile dalle prese stesse.

- Vasca V1:

- Portata in ingresso misurata:

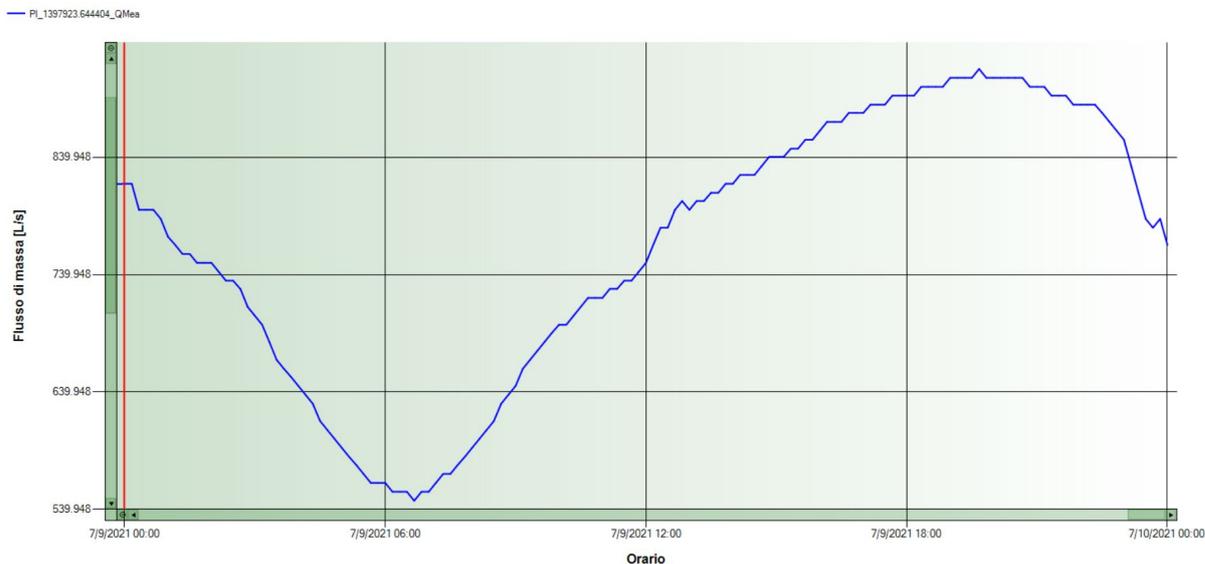


Fig. 21 Portata in ingresso misurata – Vasca V1

- Portata in uscita misurata:

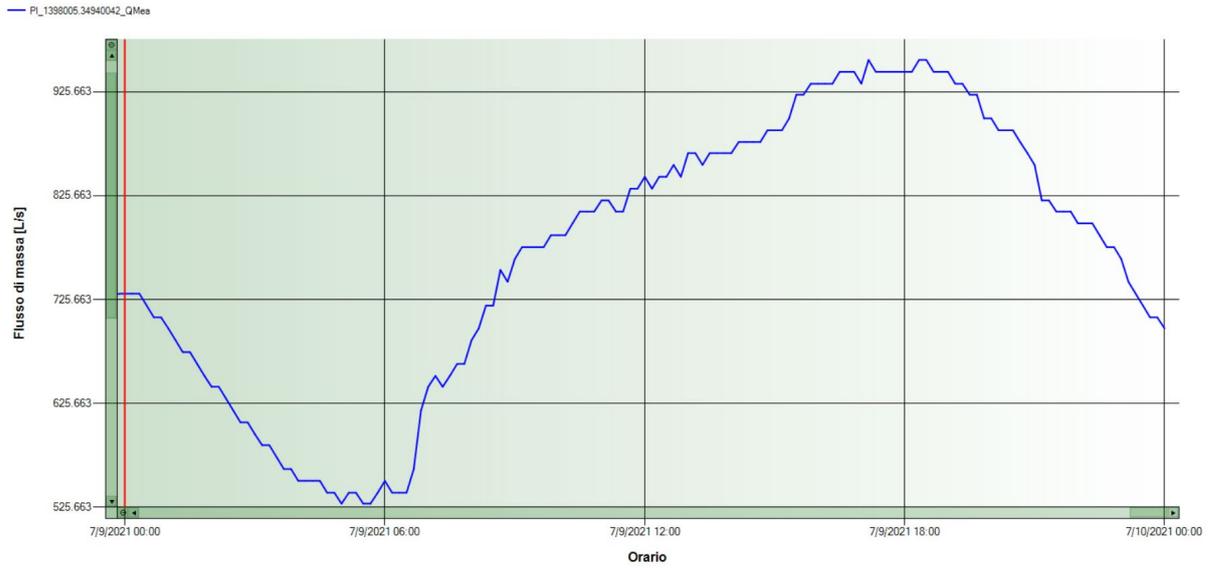


Fig. 22 Portata in uscita misurata – Vasca V1

- Livello vasca misurato:

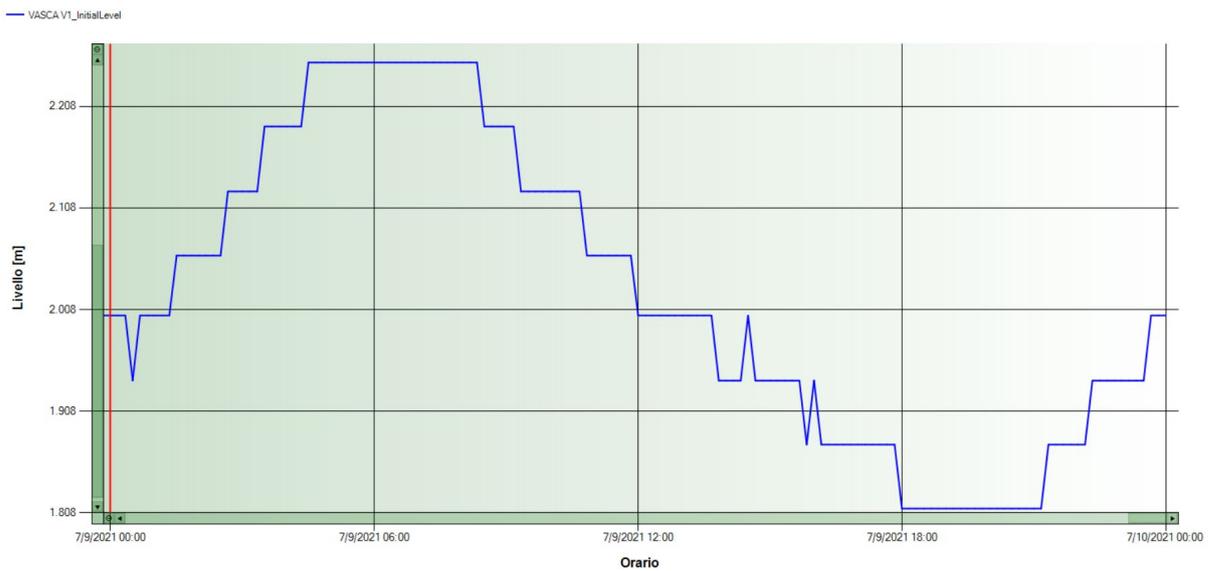


Fig. 23 Livello misurato – Vasca V1

- Vasca V2:

- Portata in ingresso misurata:

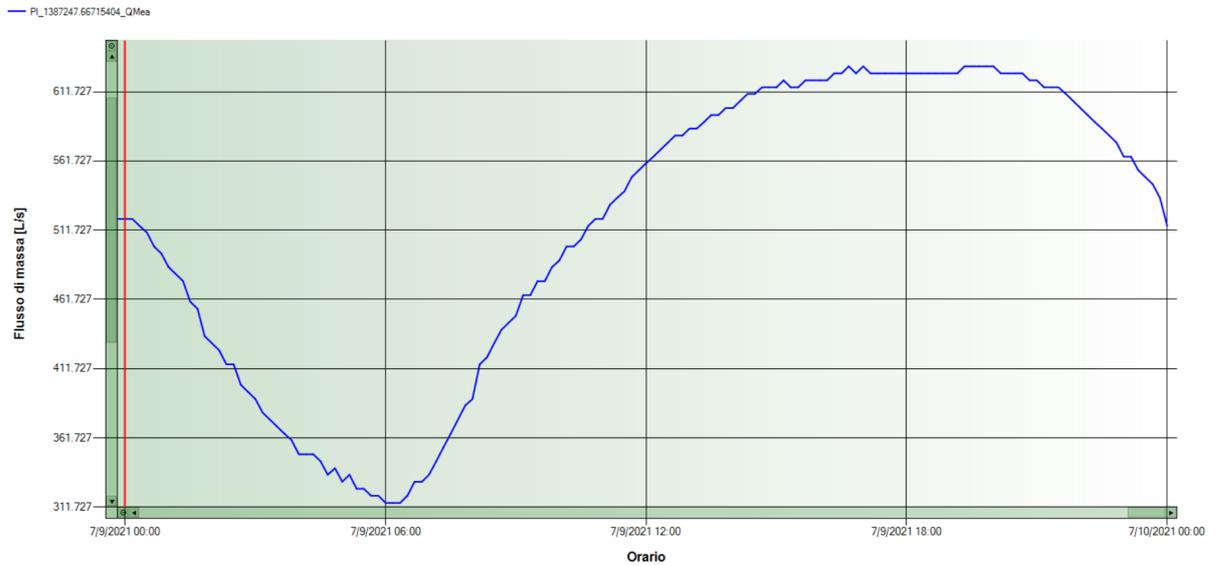


Fig. 24 Portata in ingresso misurata – Vasca V2

- Portata in uscita misurata:

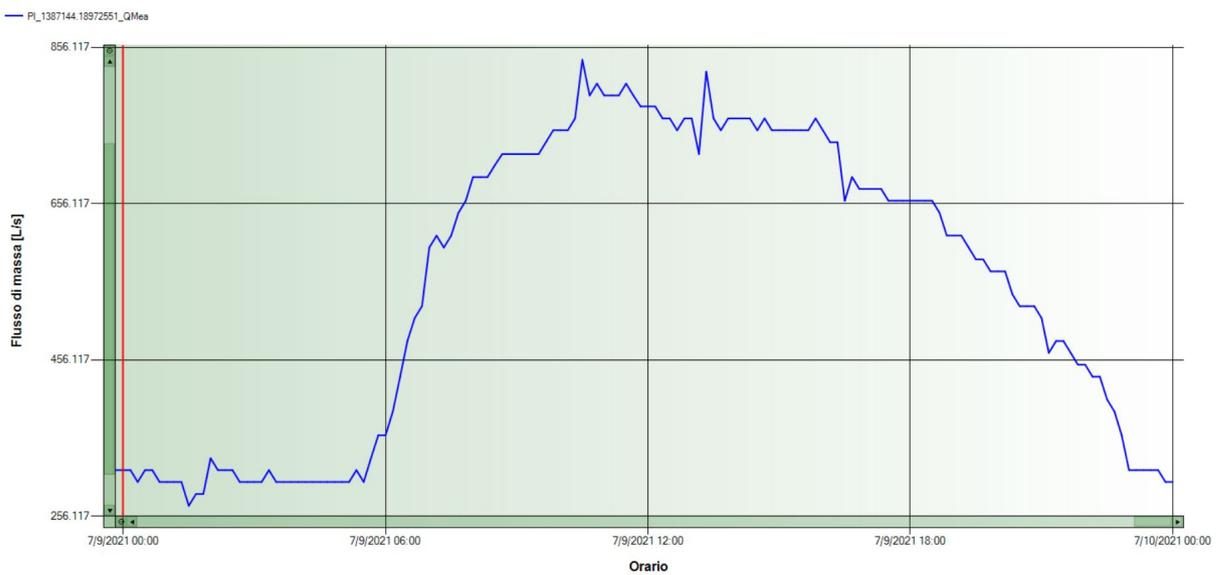


Fig. 25 Portata in uscita misurata – Vasca V2

- Livello vasca misurato:

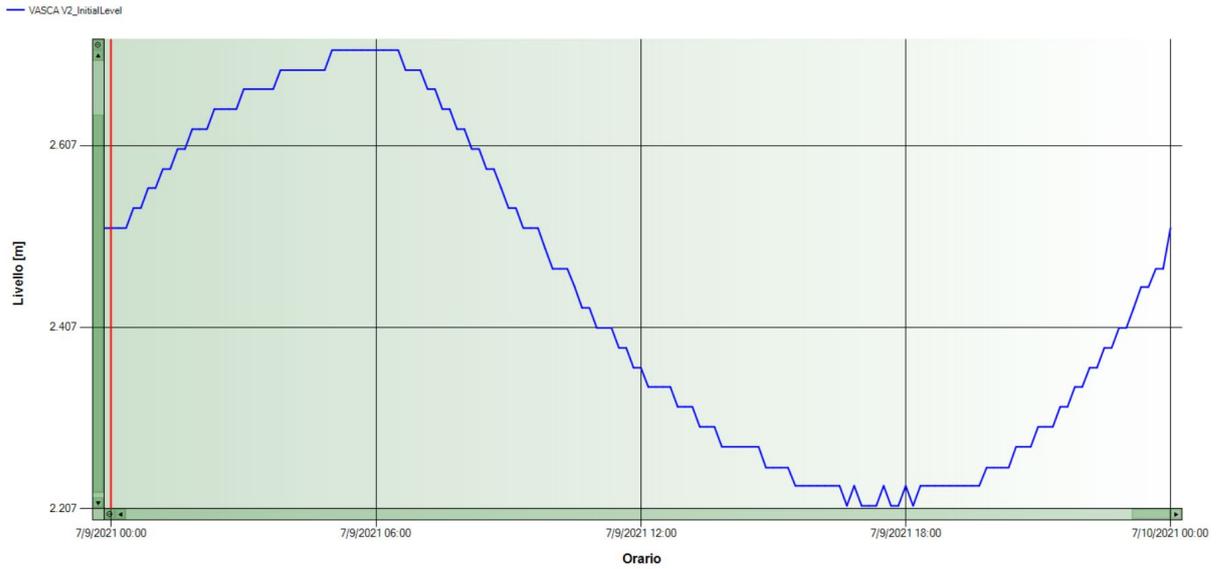


Fig. 26 Livello misurato – Vasca V2

- Vasca V3:

- Portata in ingresso misurata:

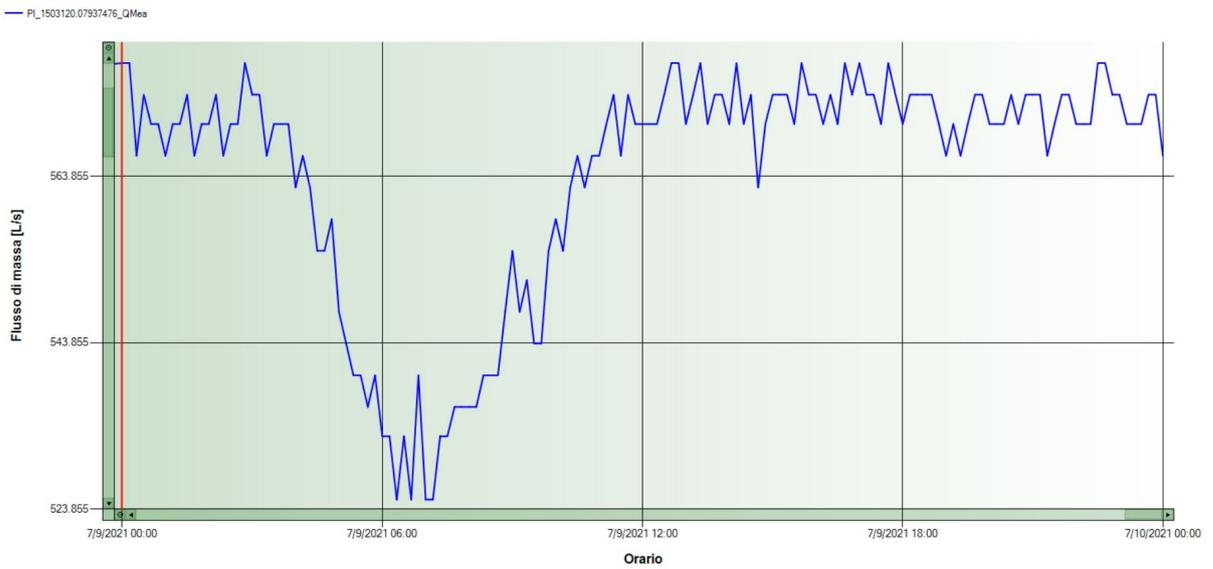


Fig. 27 Portata in ingresso misurata – Vasca V3

- Portata in uscita misurata:

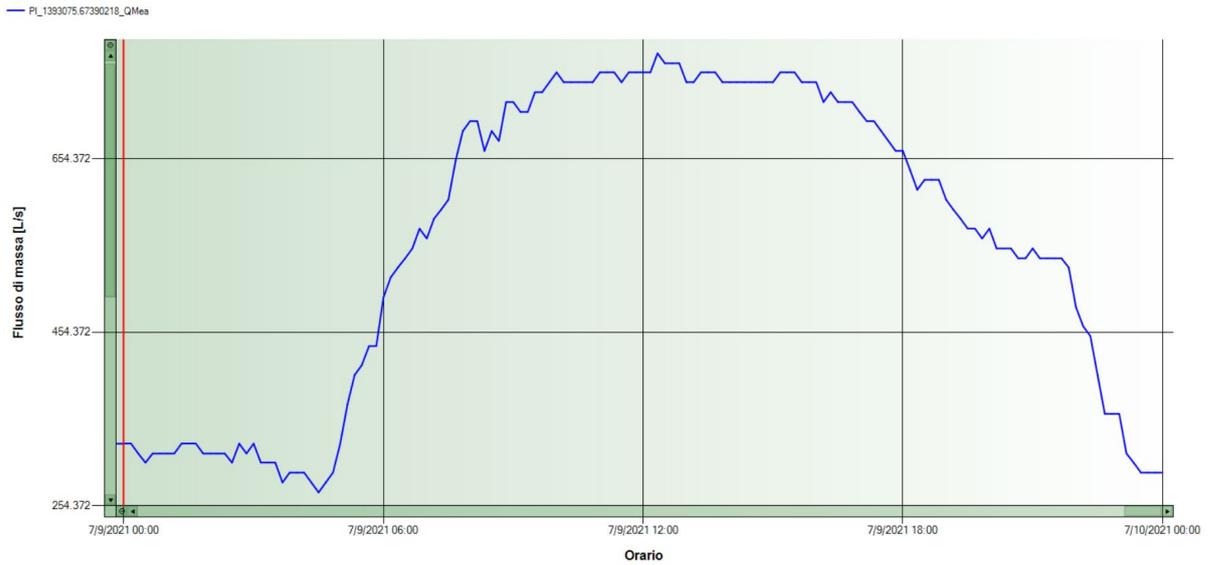


Fig. 28 Portata in uscita misurata – Vasca V3

- Livello vasca misurato:

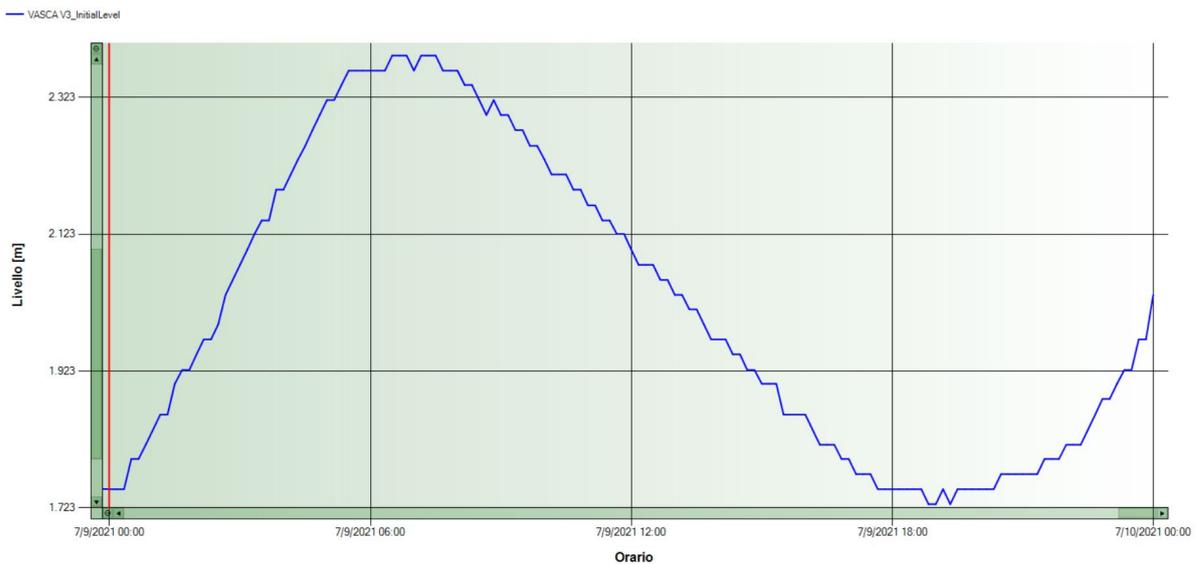
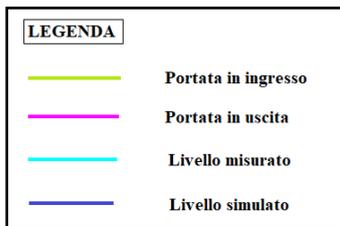


Fig. 29 Livello misurato – Vasca V3

Simulazione

Con la simulazione di AQUIS si è verificata la rispondenza tra il livello misurato e quello simulato nonché il coerente andamento in relazione alle portate in ingresso e in uscita, come evidenziato nei grafici seguenti:



- Vasca V1:

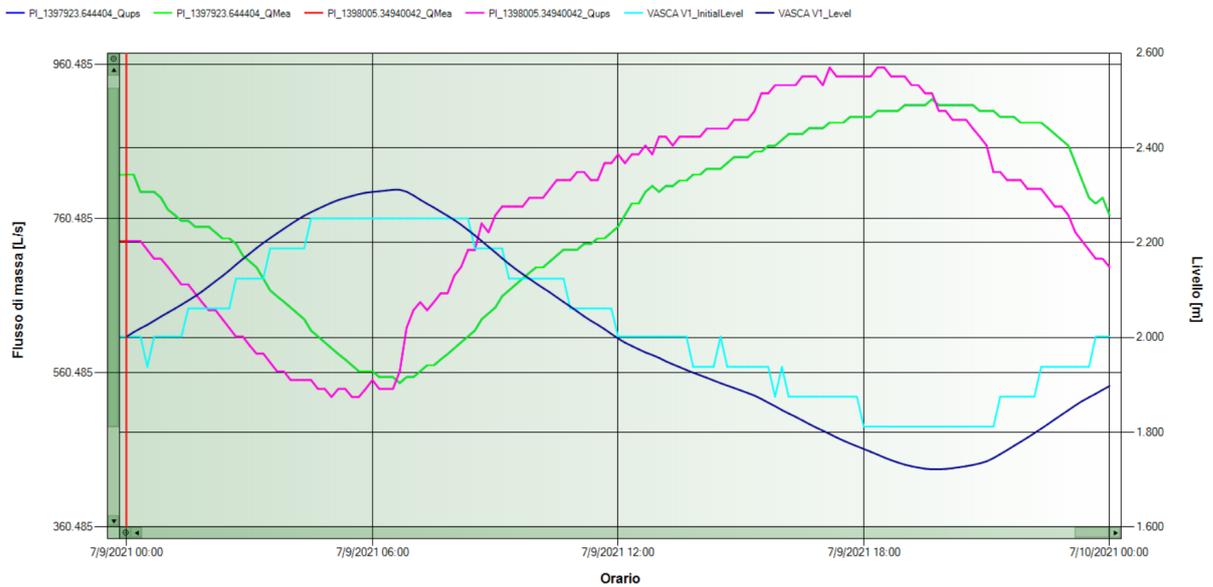


Fig. 3 Andamento livelli – Vasca V1 – Portata in ingresso (verde) – Portata in uscita (magenta) Livello in vasca misurato (ciano) – Livello in vasca simulato (blu)

- Vasca V2:

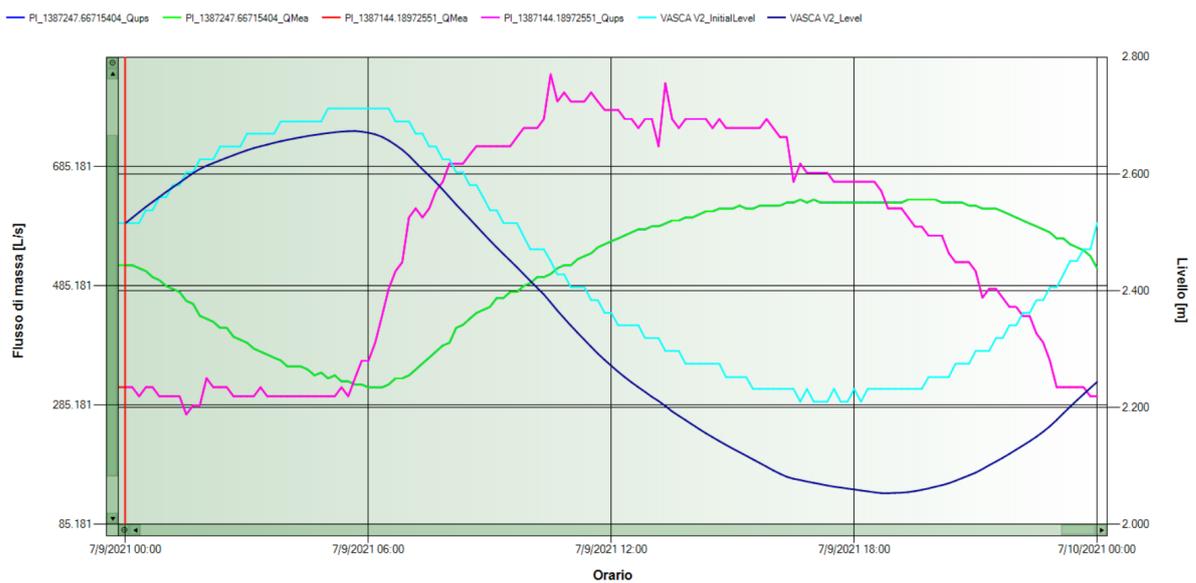


Fig. 4 Andamento livelli – Vasca V2 – Portata in ingresso (verde) – Portata in uscita (magenta) Livello in vasca misurato (ciano) – Livello in vasca simulato (blu)

- Vasca V3:

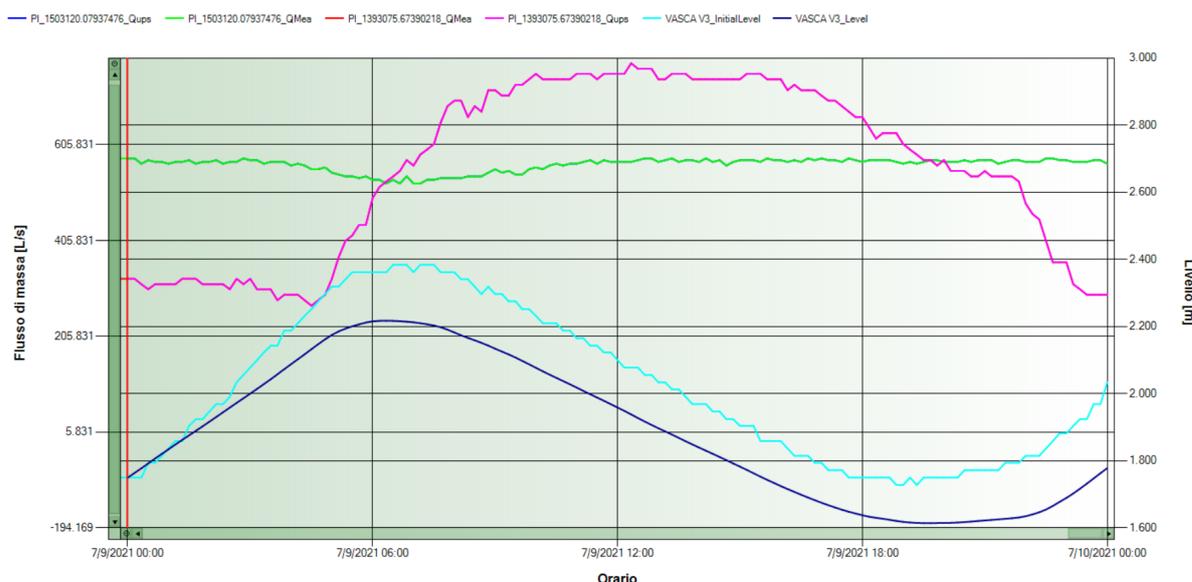


Fig. 5 Andamento livelli – Vasca V3– Portata in ingresso (verde) – Portata in uscita (magenta)
Livello in vasca misurato (ciano) – Livello in vasca simulato (blu)

Come si evince dai grafici la simulazione ha riprodotto con buona approssimazione l'andamento dei livelli in vasca verificando il rispetto dell'equazione di continuità:

- Distribuzione delle portate sulle prese comiziali.

Di seguito si riportano i valori di portata prelevata ai nodi alle ore 12:00 AM derivanti dalla distribuzione della Net Zone Flow ai nodi applicando il coefficiente Adaption Factor (AF) come moltiplicativo dei consumi definiti inizialmente come condizioni al contorno.

	*	NO_30	NO_269	NO_201	NO_627	NO_612	NO_515	NO_25	NO_113	NO_108	NO_430	NO_36
Pressure [barg]		4.5	6.2	4.5	4.1	5.6	4.9	5.9	3.5	3.7	6.1	5.9
Head [m]		72.596	67.346	60.249	55.457	59.567	56.867	126.122	129.467	125.166	68.467	74.206
Mass Flow [L/s]		62.842	62.842	39.581	39.581	39.581	39.581	37.813	37.813	37.813	31.421	31.421
Volume Flow [m³/s]		0.063	0.063	0.040	0.040	0.040	0.040	0.038	0.038	0.038	0.031	0.031

Fig. 6 Portata prelevata ai nodi D9

Di seguito si riporta l'andamento della portata nell'arco delle 24 h di una singola presa comiziale (NO_30 – Presa comiziale 54) in cui si apprezza l'andamento atteso di prelievo basso nelle ore notturne e con incremento nelle ore centrali della giornata.



Fig. 7 Andamento giornaliero portata prelevata al nodo n.38

DISTRETTO D11



Fig. 8 Identificazione sorgente D11

Inserimento dati

Per tale distretto sono stati inseriti i seguenti dati:

- Sorgente:
quota media sul livello del mare pari a 143,60 m;
tirante medio misurato pari a 2,5 m (Controllo);

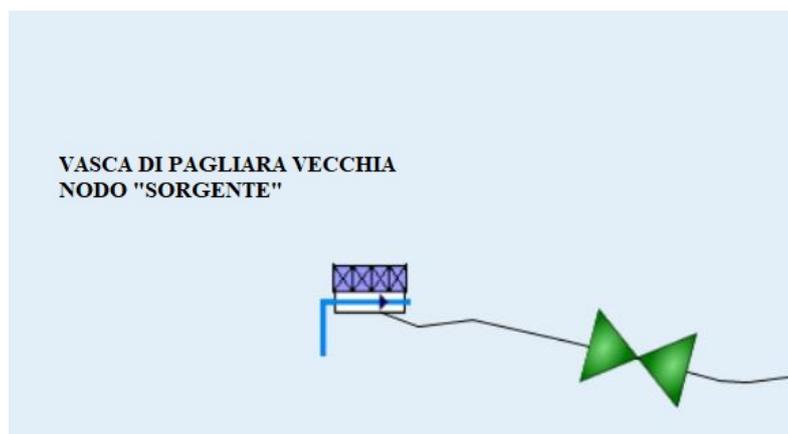


Fig. 9 Sorgente – vasca di Pagliara vecchia

- Portate caratteristiche prese comiziali:

	337	303	314	258	283	280	276	311	266	284
Current Node	NO_283	NO_55	NO_286	NO_377	NO_291	NO_18	NO_14	NO_20	NO_9	NO_256
SMS										
SMSFlag	<input type="checkbox"/>									
E-MAIL										
E-MAILFlag	<input type="checkbox"/>									
Ignore	<input type="checkbox"/>									
PSID	662	628	639	583	608	605	601	636	591	609
DIAMETRO	300	250	300	250	300	250	200	300	300	300
PORTAT_VEN	0	150	0	0	150	0	0	150	0	0
SAR_SFIATO	SI		SI	SI		SI	SI		SI	SI
COMIZIO	59	40	46	14	27	25	23	44	18	28
Diametro_1	300	250	300	250	300	250	200	300	300	300
PORTAT_OUT	200	0	200	100	0	150	200	0	200	150
DISTRETTO	Fortore 11/0									

99 oggetti, (241 nascosto da DISTRETTO='Fortore 11/0')

Fig. 10 Portate caratteristiche prese comiziali

Nella figura sopra riportata sono evidenziati i valori di portata caratteristica ai singoli nodi associati alle relative prese comiziali, corrispondenti al valore massimo di capacità di portata prelevabile dalle prese stesse.

- Impianto di sollevamento Bellantuoni:

L'impianto di sollevamento "Bellantuoni" del distretto n.11 risulta costituito da 5+1 pompe ciascuna con portata pari a 220 l/s e prevalenza pari a 57 m che alimentano la vasca di carico n.1.

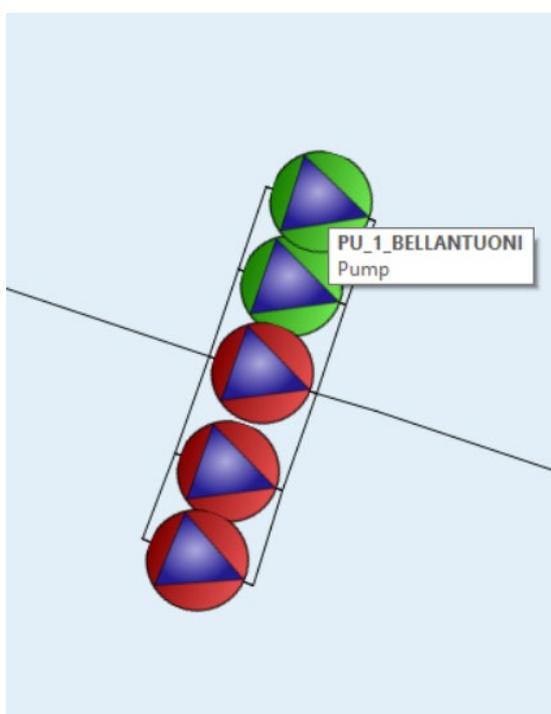


Fig. 11 Impianto di sollevamento Bellantuoni

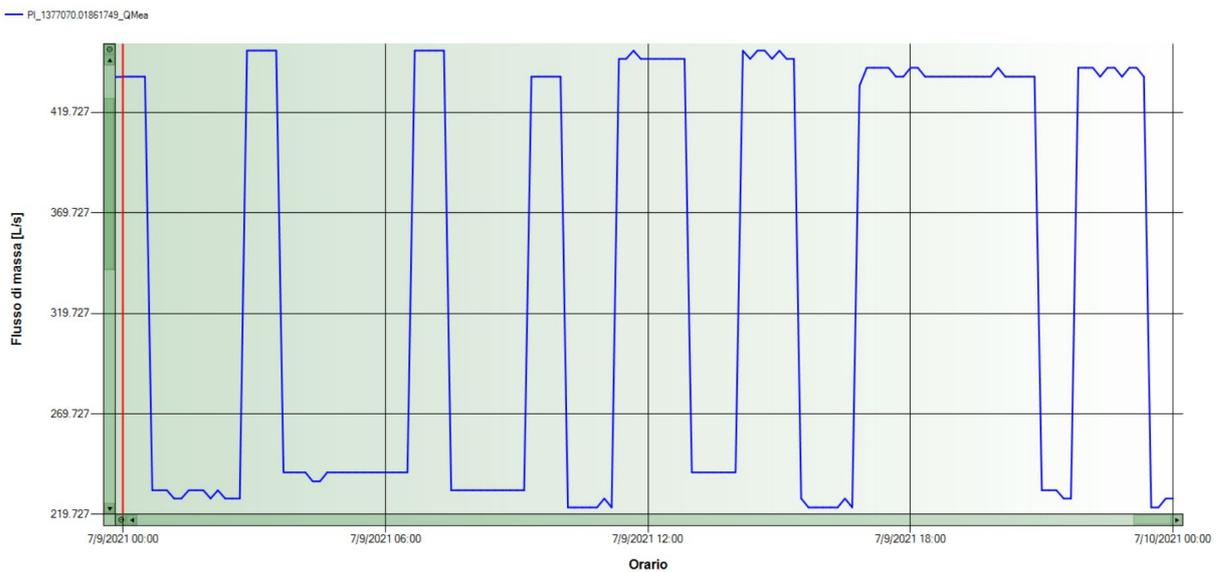


Fig. 39 Portata sollevata da impianto di sollevamento

Come si può evincere dal grafico sopra riportato, nel giorno simulato, risultano accese un numero massimo di pompe pari a 2. Ciò, poiché, come anticipato, ciascuna pompa ha una portata pari a 220 l/s e dal grafico risulta evidente una portata sollevata massima pari a 440 l/s. Nello specifico la pompa n.1 è sempre accesa, mentre la pompa n.2 si accende in determinati intervalli temporali, in funzione della variazione del livello nella vasca alimentata (vasca 1).

- Vasca 1

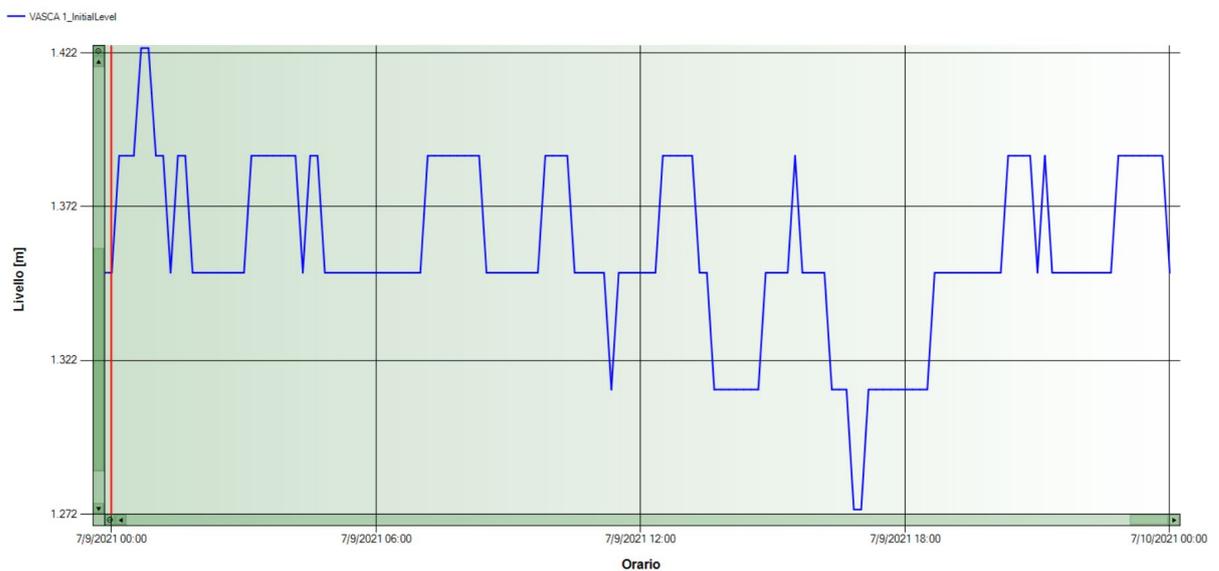


Fig. 40 Livello misurato – Vasca 1

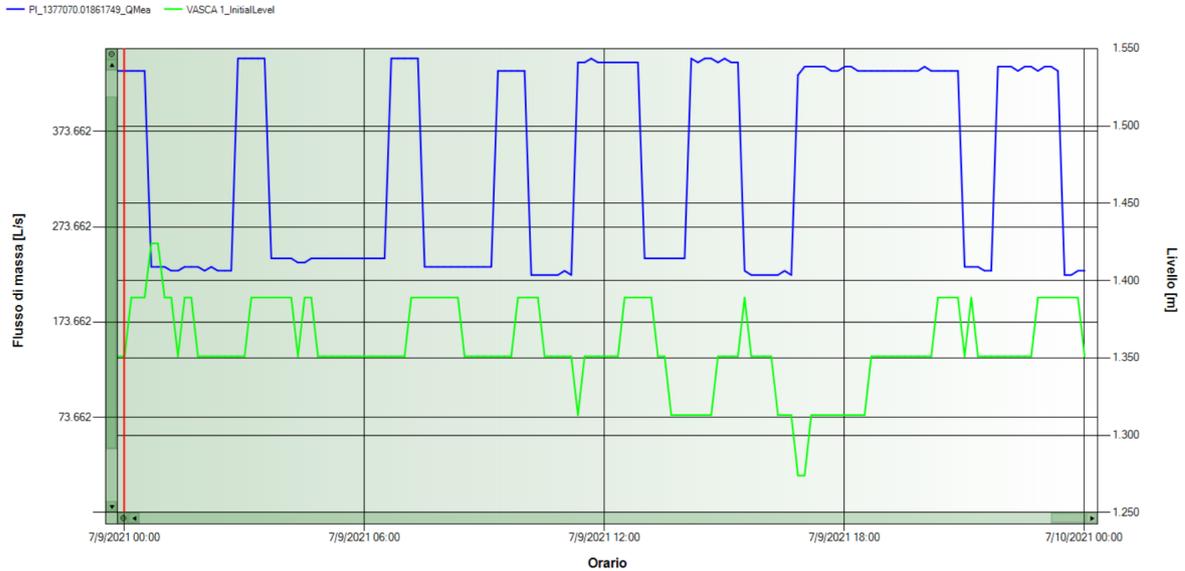
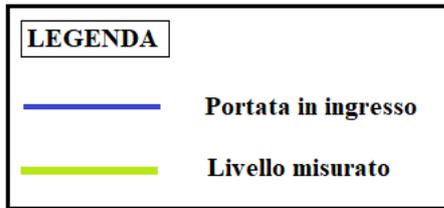


Fig. 41 Livello misurato vasca 1 – Portata misurata sollevata ‘Bellantuoni’

Dal grafico sopra riportato è evidente l’accensione della pompa n.2 nel momento in cui il livello in vasca si attesta a 1,35 m e lo spegnimento quando esso si attesta a 1,39 m.

Risultano altresì evidenti degli errori del misuratore di livello laddove si trovano i picchi di livello inferiori alla quota di accensione della pompa n.2.

Si sono dunque impostati i controlli sulla vasca alimentata, nello specifico i livelli di accensione e spegnimento di entrambe le pompe in funzione, in particolare a partire dal livello 1,39 m entra in funzione esclusivamente la pompa n.1, mentre la pompa n.2 entra in funzione quando il livello diminuisce e risulta uguale o inferiore a 1,35 m.

- Controlli

	PU_1_BELLANTUONI	PU_2_BELLANTUONI	PU_5_BELLANTUONI	PU_4_BELLANTUONI	PU_3_BELLANTUONI
DIP Control [bar]					
Divs. Pressure Control [bar]					
Ups. Pressure Control [bar]					
Flow Control [L/s]					
Pump Speed Control [rpm]	0.94	0.94	0.00	0.00	0.00
Control Node					
Node Pressure Control [bar]					
Control Reservoir	VASCA 1	VASCA 1			
Max. Reservoir Level [m]	1.500	1.390			
Min. Reservoir Level [m]	1.200	1.350			
Running Initially	True	True	True	True	True

Si riporta di seguito l’andamento della portata misurata in uscita dalla vasca 1.

- Portata in uscita misurata:

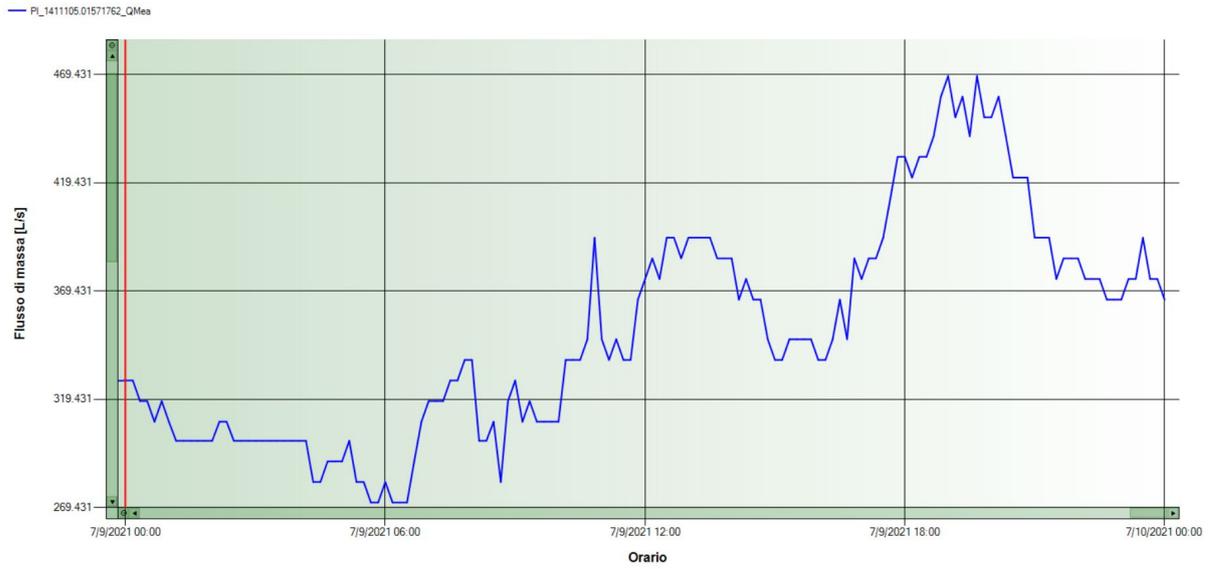


Fig. 42 Portata in uscita misurata – Vasca 1

- Vasca 2:

- Portata in ingresso misurata:

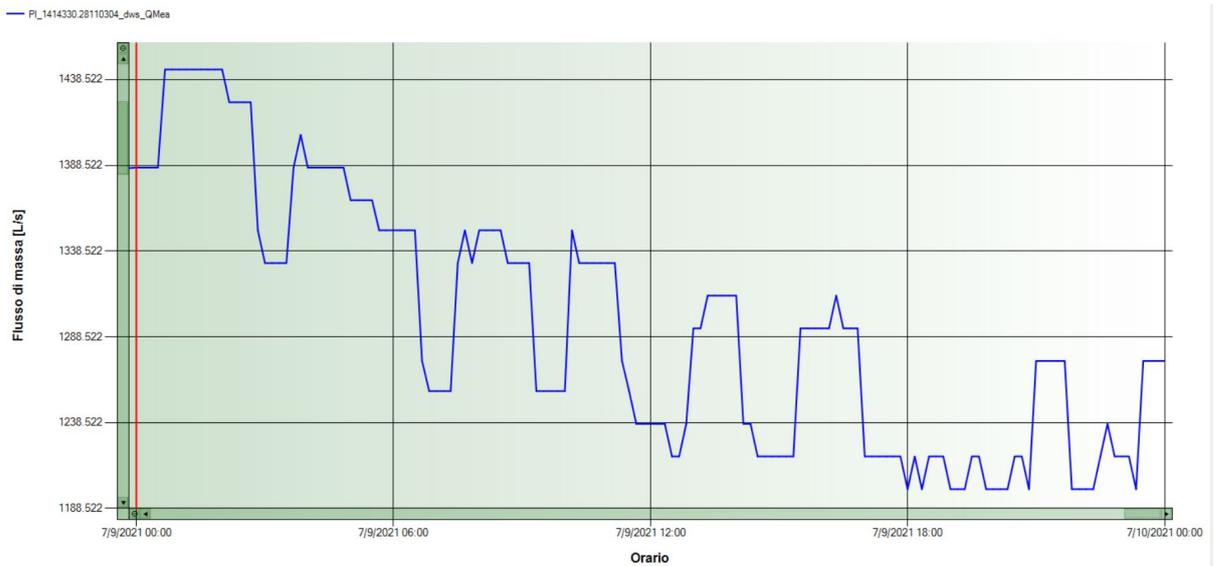


Fig. 43 Portata in ingresso misurata – Vasca 2

- Portata in uscita misurata:

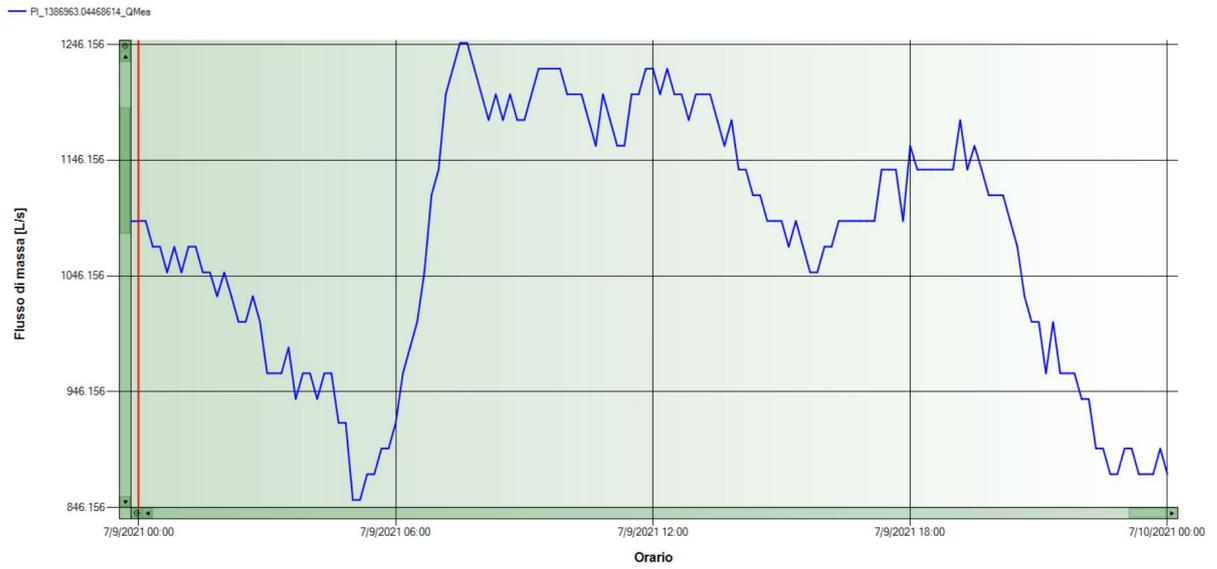


Fig. 44 Portata in uscita misurata – Vasca 2

- Livello vasca misurato:

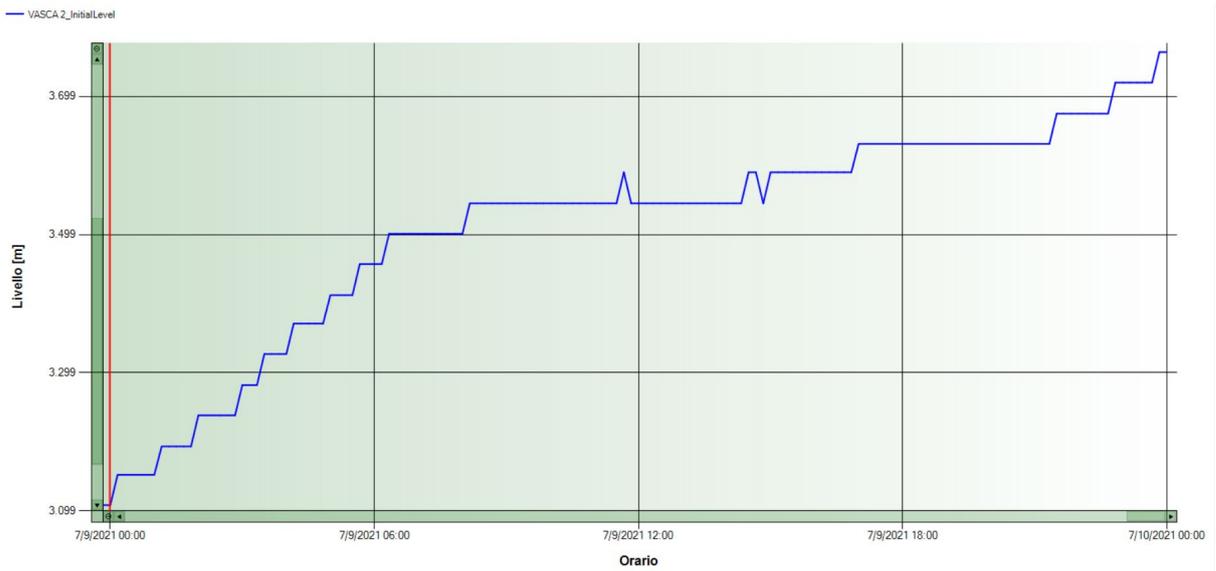


Fig. 45 Livello misurato – Vasca 2

- Vasca 3:

- Portata in ingresso misurata:

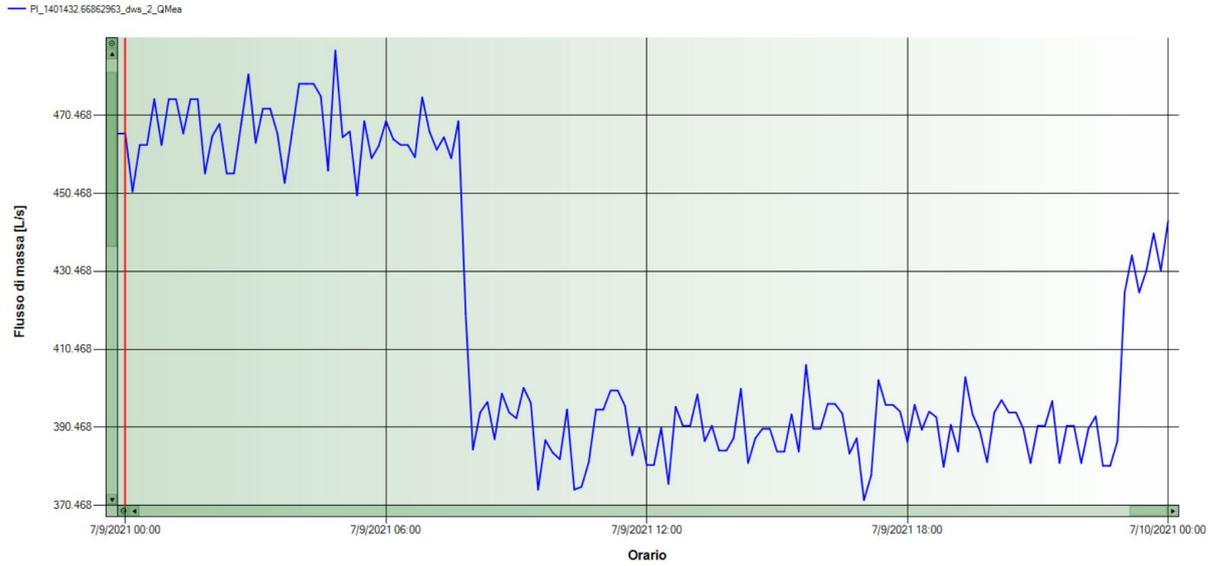


Fig. 46 Portata in ingresso misurata – Vasca 3

- Portata in uscita misurata:

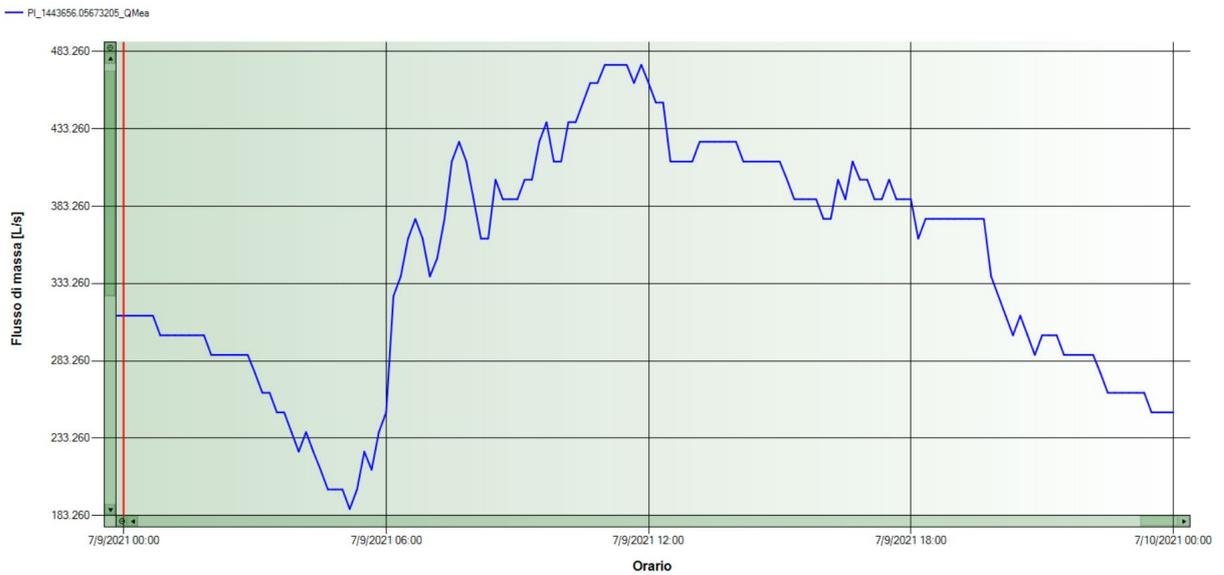


Fig. 47 Portata in uscita misurata – Vasca 3

- Livello vasca misurato:

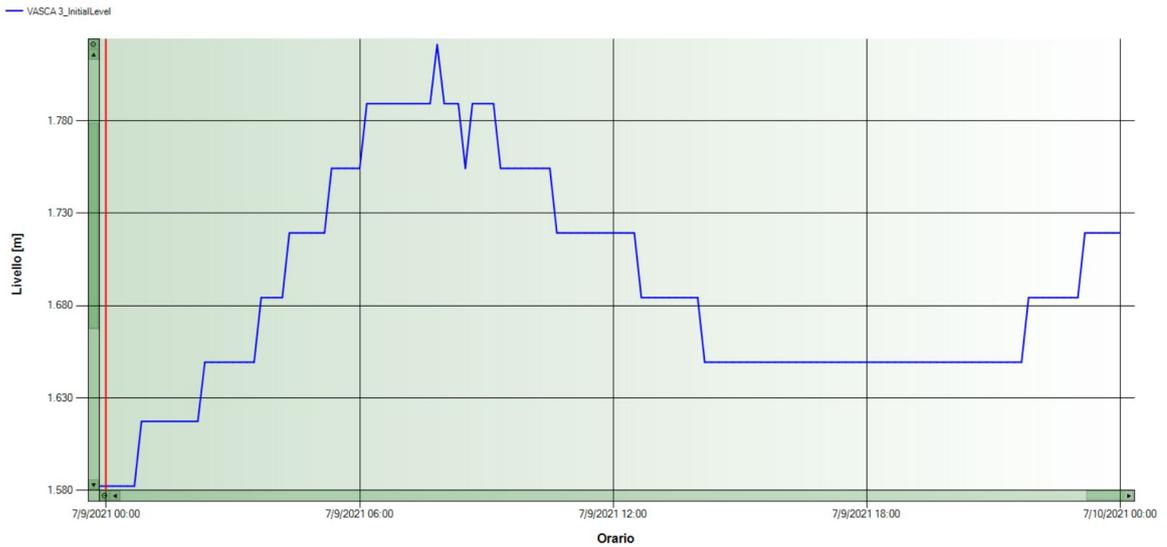
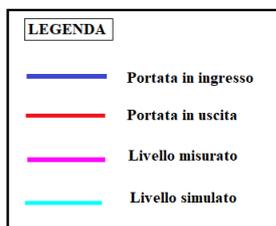


Fig. 12 Livello misurato – Vasca 2

Simulazione

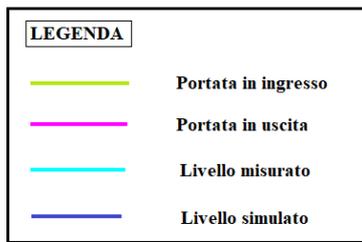
Con la simulazione di AQUIS si è verificata la rispondenza tra il livello misurato e quello simulato nonché il coerente andamento in relazione alle portate in ingresso e in uscita, come evidenziato nei grafici seguenti:



- Vasca 1:



Fig. 49 Andamento livelli – Vasca 1



- Vasca 2:

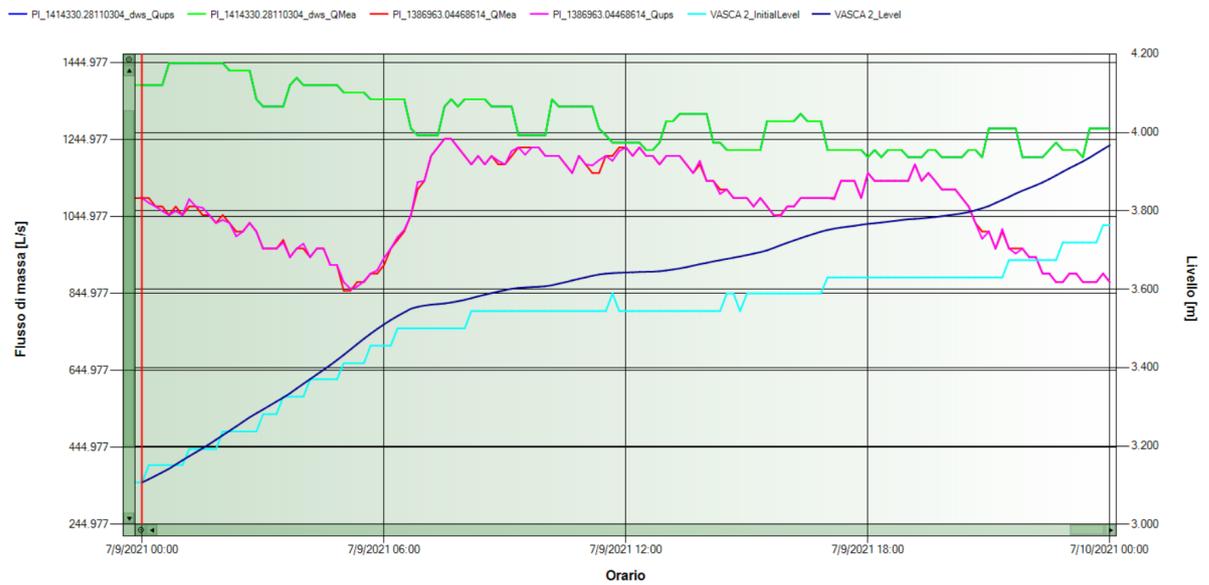


Fig. 50 Andamento livelli – Vasca 2 – Portata in ingresso (verde) – Portata in uscita (magenta)
Livello in vasca misurato (ciano) – Livello in vasca simulato (blu)

- Vasca 3:

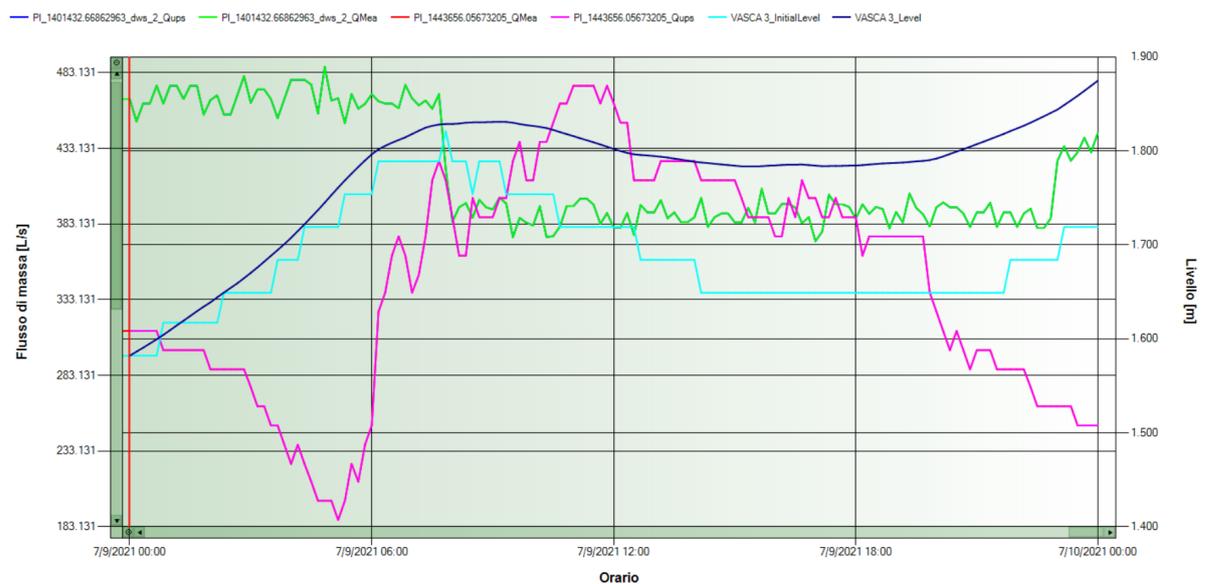


Fig. 51 Andamento livelli – Vasca 3 – Portata in ingresso (verde) – Portata in uscita (magenta)
Livello in vasca misurato (ciano) – Livello in vasca simulato (blu)

Come si evince dai grafici la simulazione ha riprodotto con buona approssimazione l'andamento dei livelli in vasca verificando il rispetto dell'equazione di continuità:

- Distribuzione delle portate sulle prese comiziali.

Di seguito si riportano i valori di portata prelevata ai nodi alle ore 12:00 AM derivanti dalla distribuzione della Net Zone Flow ai nodi applicando il coefficiente Adaption Factor (AF) come moltiplicativo dei consumi definiti inizialmente come condizioni al contorno.

	*	NO_385	NO_471	NO_3	NO_2	NO_7	NO_32	NO_283	NO_14	NO_106	NO_17	NO_48	NO_454	NO_196
Pressure [barg]		6.6	4.4	5.2	5.9	7.3	4.9	4.4	6.5	6.0	6.8	7.3	4.9	5.8
Head [m]		184.376	103.613	189.015	189.840	184.767	102.817	102.440	143.517	143.686	143.266	141.865	101.749	103.098
Mass Flow [L/s]		115.385	86.792	86.538	86.538	86.538	57.861	57.861	44.076	44.076	44.076	44.076	43.396	43.396
Volume Flow [m³/s]		0.115	0.087	0.087	0.087	0.087	0.058	0.058	0.044	0.044	0.044	0.044	0.043	0.043

Fig. 52 Portata prelevata ai nodi _D11

Di seguito si riporta l'andamento della portata nell'arco delle 24 h di una singola presa comiziale (NO_385 – Presa comiziale 254) in cui si apprezza l'andamento atteso di prelievo basso nelle ore notturne e con incremento nelle ore centrali della giornata.

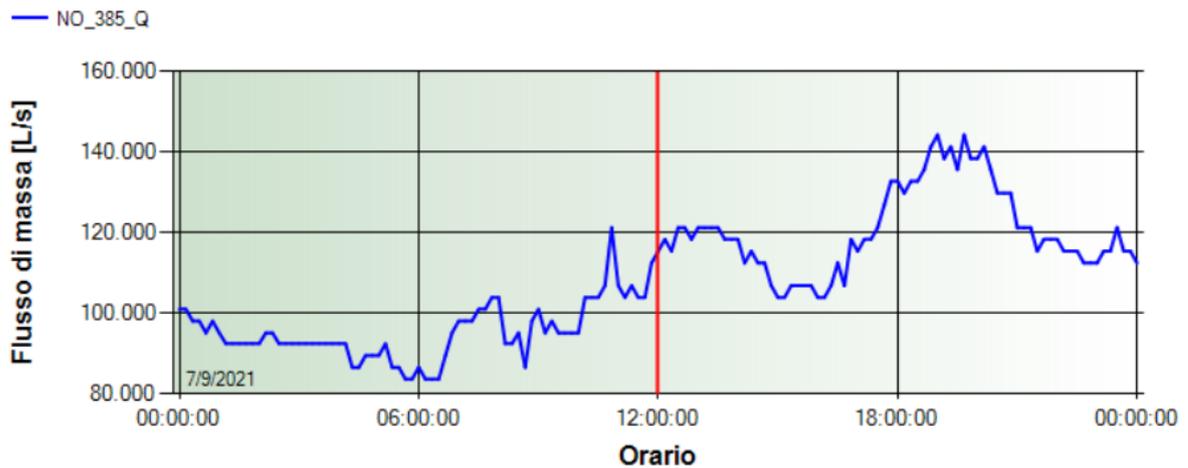


Fig. 53 Andamento giornaliero portata prelevata al nodo n.385

APPENDICE 2

SUB-DISTRETTO D10/B

VASCA B1 – VASCA B2 – VASCA B3

- Configurazione ACV:

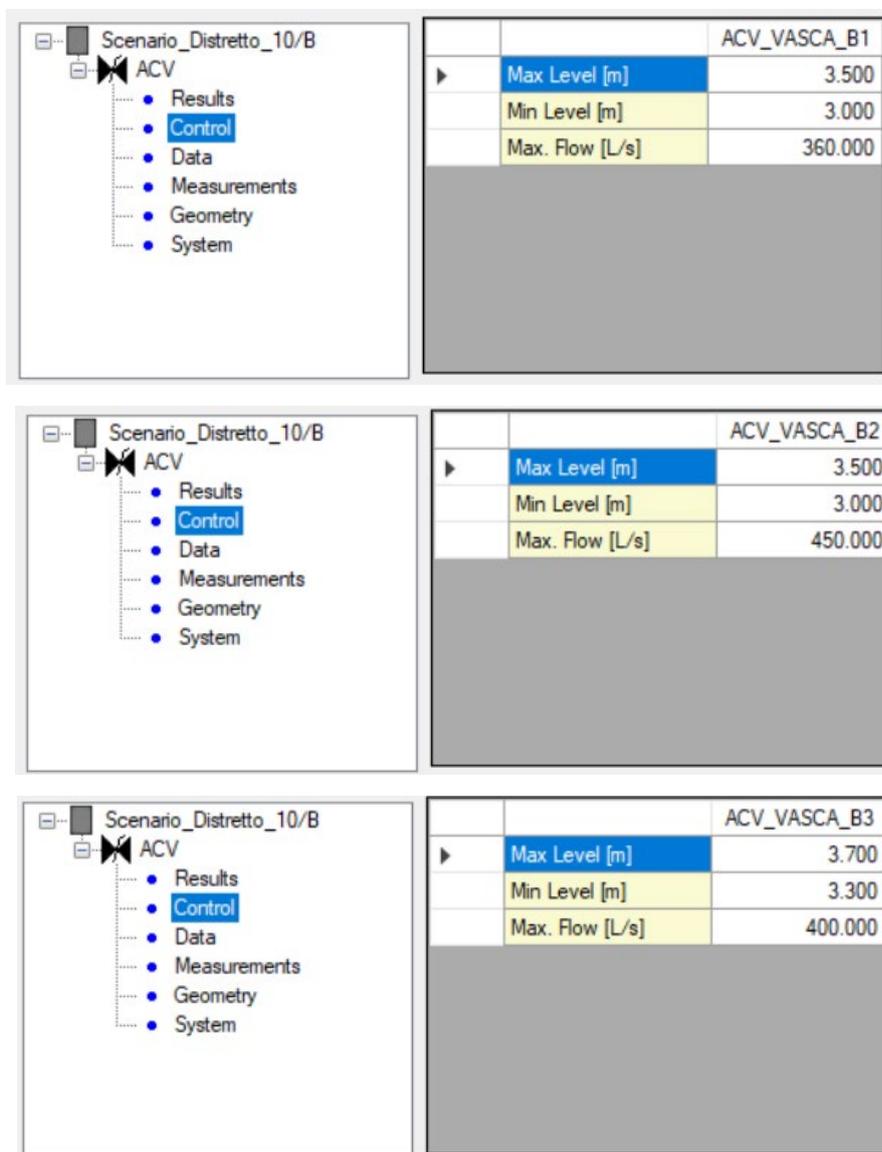


Fig. 1 Configurazione ACV – D10/B

A seguito dell'elaborazione della simulazione, si verifica innanzitutto la buona rispondenza tra l'andamento del livello simulato con quello misurato:

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – vasca B1:

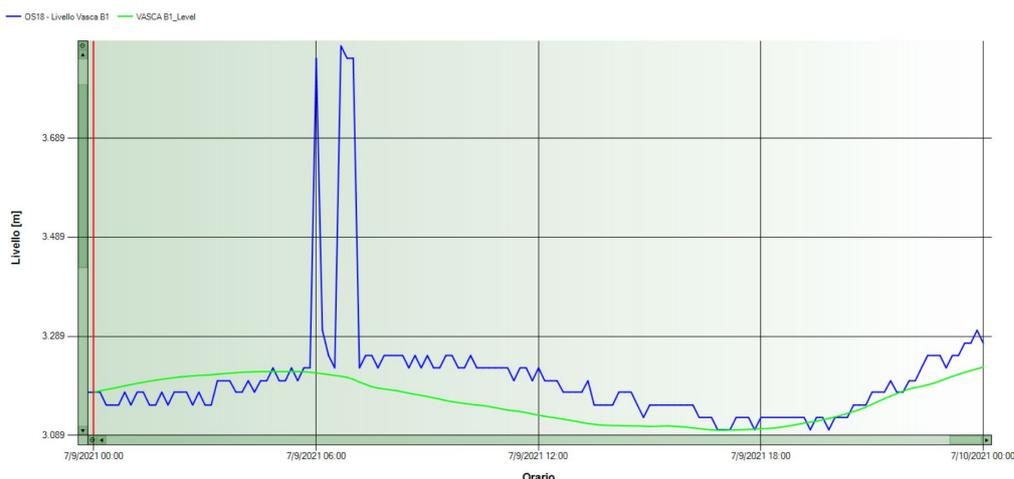


Fig. 2 Confronto livelli in vasca B1

Come si evince dal grafico sopra riportato appaiono evidenti gli errori del misuratore del livello in vasca laddove appaiono picchi massimi di livello, nello specifico attorno alle 06:00 AM.

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – vasca B2:



Fig. 3 Confronto livelli in vasca B2

Come si evince dal grafico sopra riportato l'andamento del livello simulato segue l'andamento di quello misurato seppur si distacchi al massimo di circa 25 cm.

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – vasca B3:

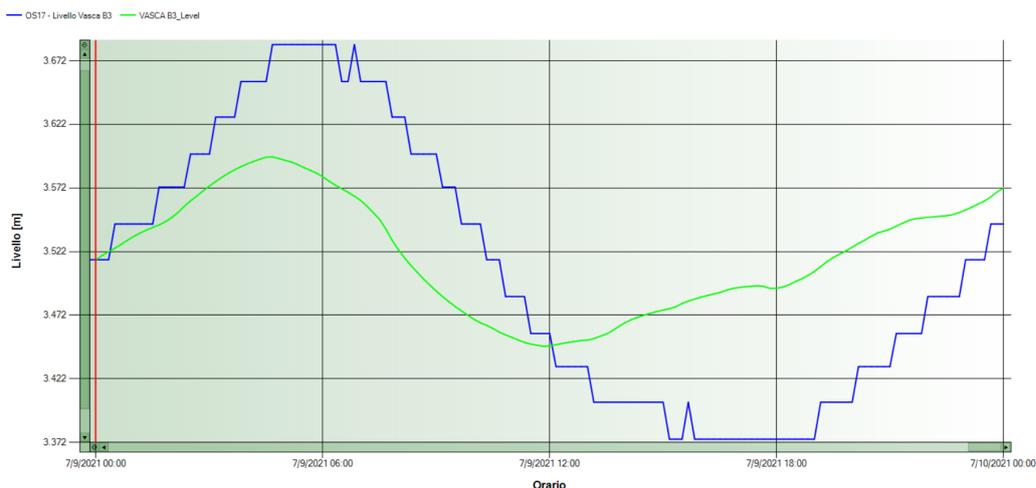


Fig. 4 Confronto livelli in vasca B3

A tali andamenti, per ciascuna vasca, a scopo di controllo, si è valutata la relazione tra grado di apertura della valvola ACV e livello d’acqua in vasca che risulta corretta in quanto si ha un grado di apertura ridotto con i livelli alti ed elevato con i livelli bassi; si riporta a titolo esemplificativo i grafici relativi alle vasche appartenenti al distretto in esame:

- Grado di apertura ACV – livello - vasca B1:

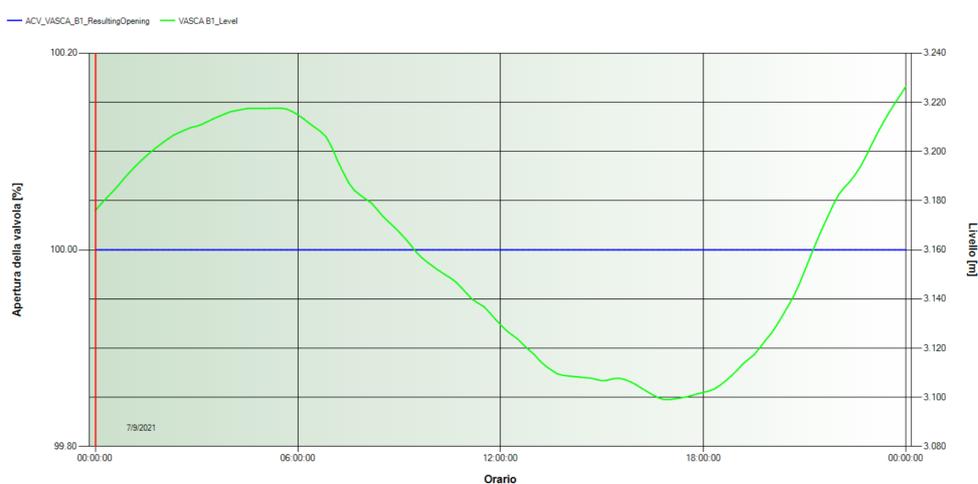


Fig. 5 Grado apertura ACV – livello vasca B1

Come si evince dal grafico sopra riportato, il grado di apertura dell’ACV posta in ingresso alla vasca B1 risulta essere pari al 100% per tutto l’arco della giornata; ciò in virtù del fatto che il livello in vasca non raggiunge mai la quota tale per cui la valvola debba chiudersi per evitare che la vasca sfiori.

- Grado di apertura ACV – livello - vasca B2:

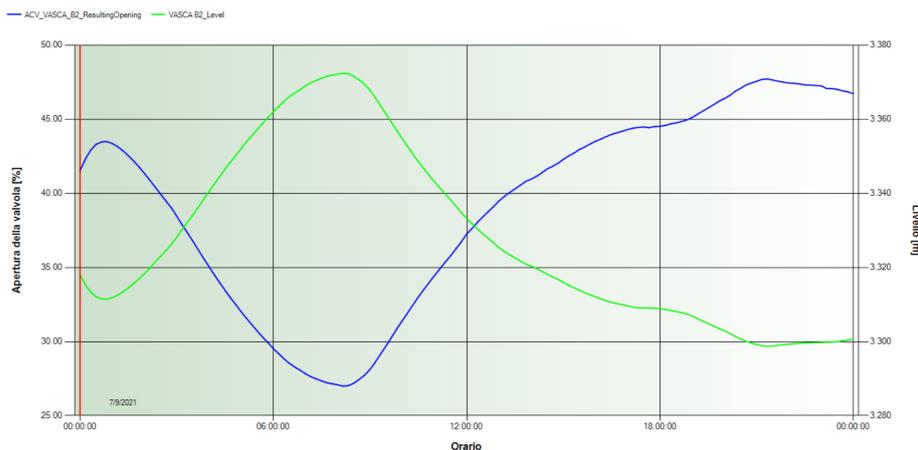


Fig. 6 Grado apertura ACV – livello vasca B2

- Grado di apertura ACV – livello - vasca B3:

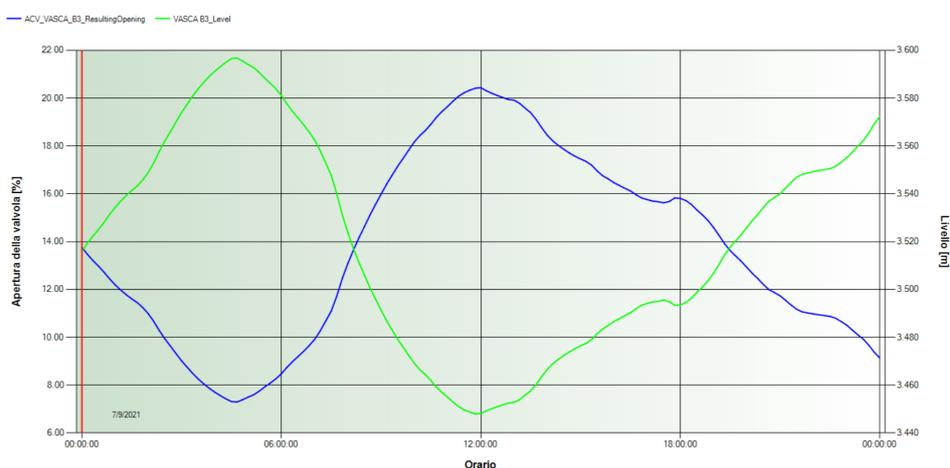
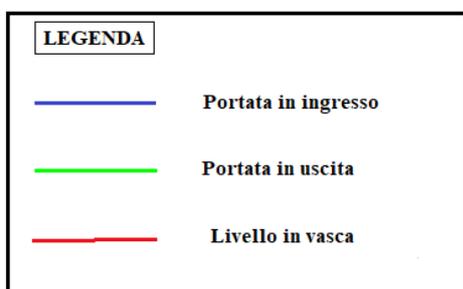


Fig. 7 Grado di apertura ACV – livello vasca B3

Si sono dunque valutati i risultati in termini di portata in ingresso e portata in uscita e la variazione di livello risultanti dalla simulazione:



- Vasca B1:



Fig. 8 Andamenti livelli e portate – vasca B1 – Portata in ingresso (blu) – Portata in uscita (verde)
Livello in vasca (rosso)

- Vasca B2:

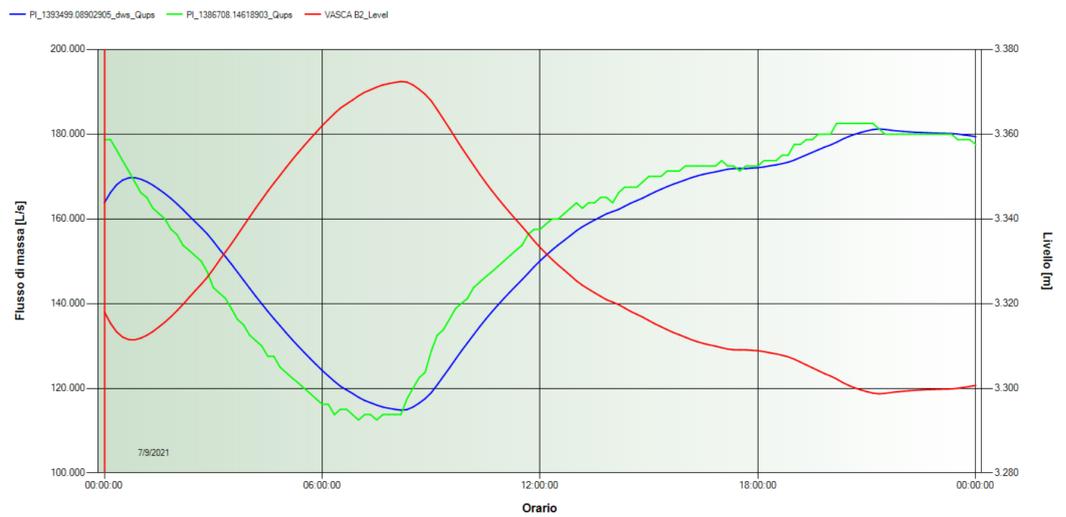


Fig. 9 Andamenti livelli e portate – vasca B2 – Portata in ingresso (blu) – Portata in uscita (verde)
Livello in vasca (rosso)

- Vasca B3:



Fig. 10 Andamenti livelli e portate – vasca B3 - – Portata in ingresso (blu) – Portata in uscita (verde)
Livello in vasca (rosso)

DISTRETTO D9

VASCA V1 – VASCA V2 – VASCA V3

- Configurazione ACV:

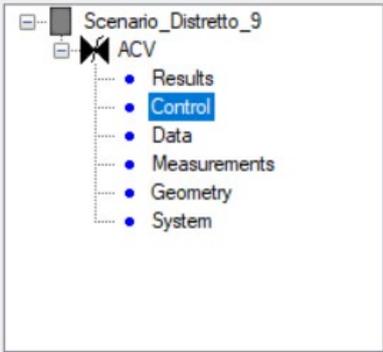
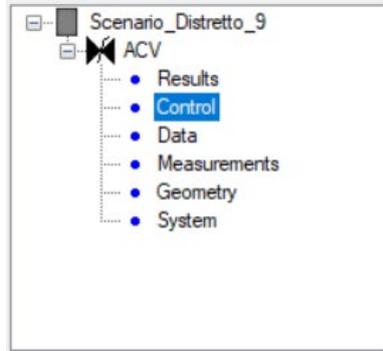
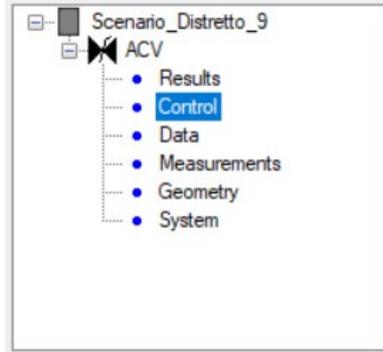
	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">ACV_VASCA_V1</th></tr></thead><tbody><tr><td>Max Level [m]</td><td>3.000</td></tr><tr><td>Min Level [m]</td><td>2.000</td></tr><tr><td>Max. Flow [L/s]</td><td>1000.000</td></tr></tbody></table>	ACV_VASCA_V1		Max Level [m]	3.000	Min Level [m]	2.000	Max. Flow [L/s]	1000.000
ACV_VASCA_V1									
Max Level [m]	3.000								
Min Level [m]	2.000								
Max. Flow [L/s]	1000.000								
	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">ACV_VASCA_V2</th></tr></thead><tbody><tr><td>Max Level [m]</td><td>3.000</td></tr><tr><td>Min Level [m]</td><td>2.400</td></tr><tr><td>Max. Flow [L/s]</td><td>700.000</td></tr></tbody></table>	ACV_VASCA_V2		Max Level [m]	3.000	Min Level [m]	2.400	Max. Flow [L/s]	700.000
ACV_VASCA_V2									
Max Level [m]	3.000								
Min Level [m]	2.400								
Max. Flow [L/s]	700.000								
	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">ACV_VASCA_V3</th></tr></thead><tbody><tr><td>Max Level [m]</td><td>3.000</td></tr><tr><td>Min Level [m]</td><td>1.800</td></tr><tr><td>Max. Flow [L/s]</td><td>1020.000</td></tr></tbody></table>	ACV_VASCA_V3		Max Level [m]	3.000	Min Level [m]	1.800	Max. Flow [L/s]	1020.000
ACV_VASCA_V3									
Max Level [m]	3.000								
Min Level [m]	1.800								
Max. Flow [L/s]	1020.000								

Fig. 11 Configurazione ACV – D9

A seguito dell'elaborazione della simulazione, si verifica innanzitutto la buona rispondenza tra l'andamento del livello simulato con quello misurato:

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – vasca V1:

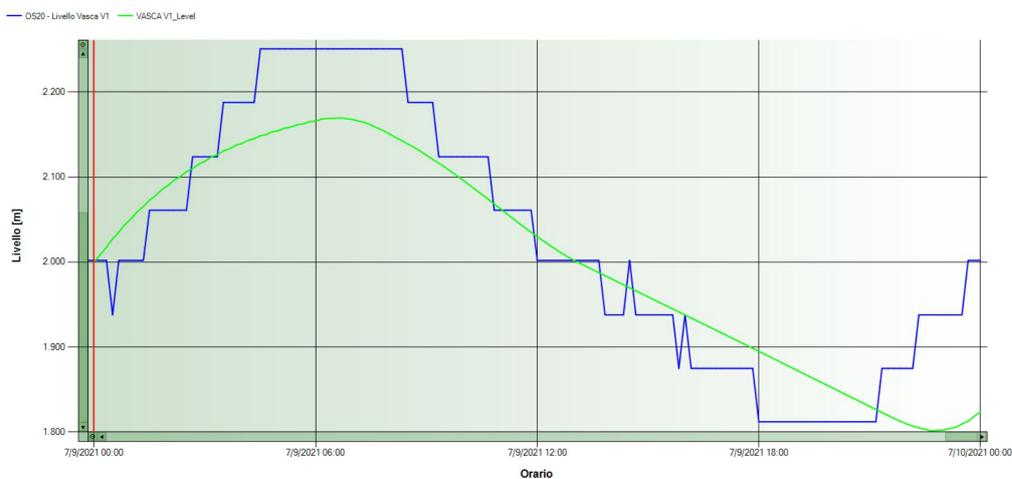


Fig. 12 Confronto livelli in vasca V1

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – vasca V2:

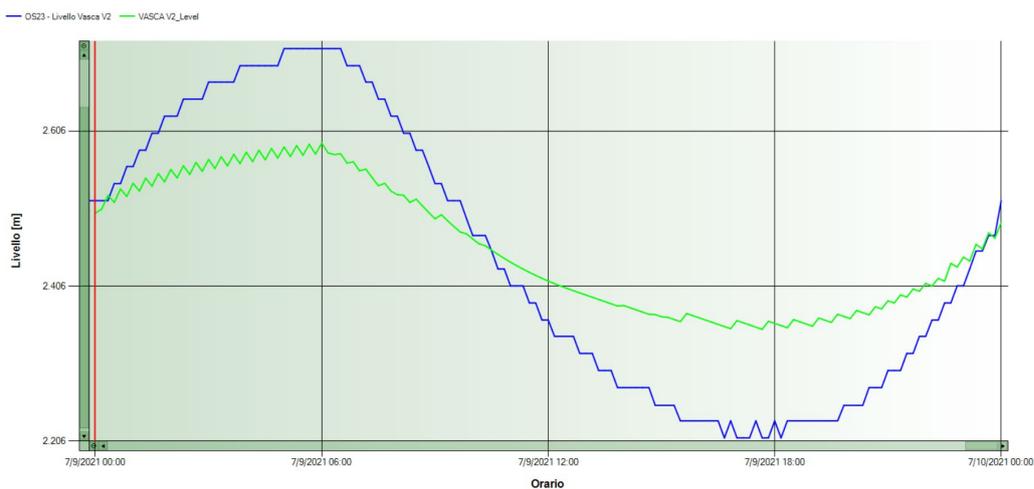


Fig. 13 Confronto livelli in vasca V2

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – vasca V3:

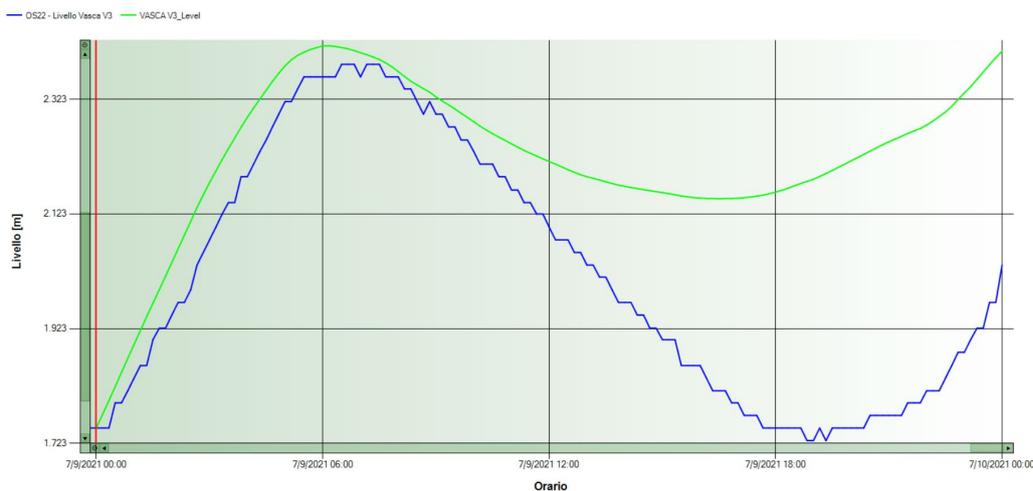


Fig. 14 Confronto livelli in vasca V3

A tali andamenti, per ciascuna vasca, a scopo di controllo, si è valutata la relazione tra grado di apertura della valvola ACV e livello d’acqua in vasca che risulta corretta in quanto si ha un grado di apertura ridotto con i livelli alti ed elevato con i livelli bassi; si riporta a titolo esemplificativo il grafico relativo alla vasca V1

- Grado di apertura ACV – livello - vasca V1:

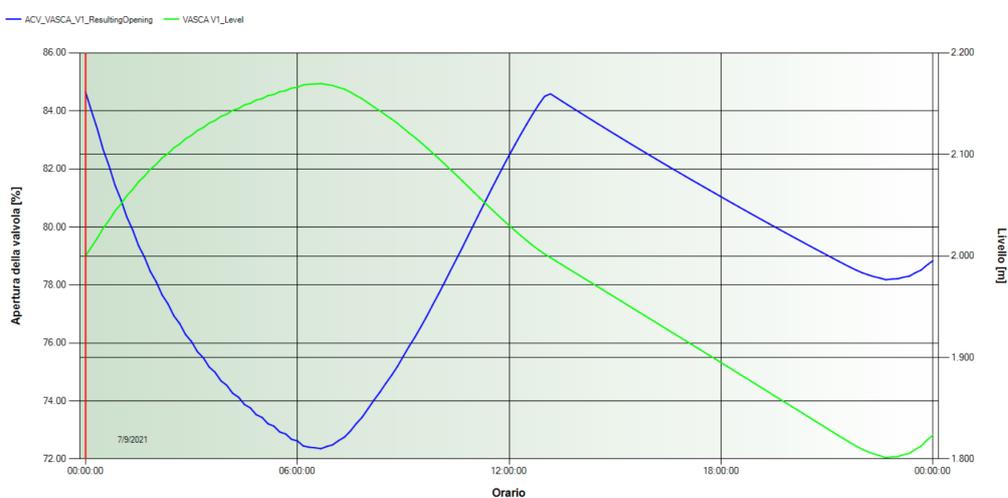
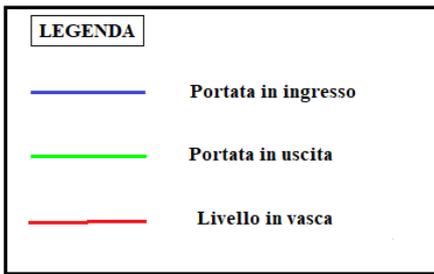


Fig. 15 Grado apertura ACV – livello vasca V1

Si sono dunque valutati i risultati in termini di portata in ingresso e portata in uscita e la variazione di livello risultanti dalla simulazione:



- Vasca V1:

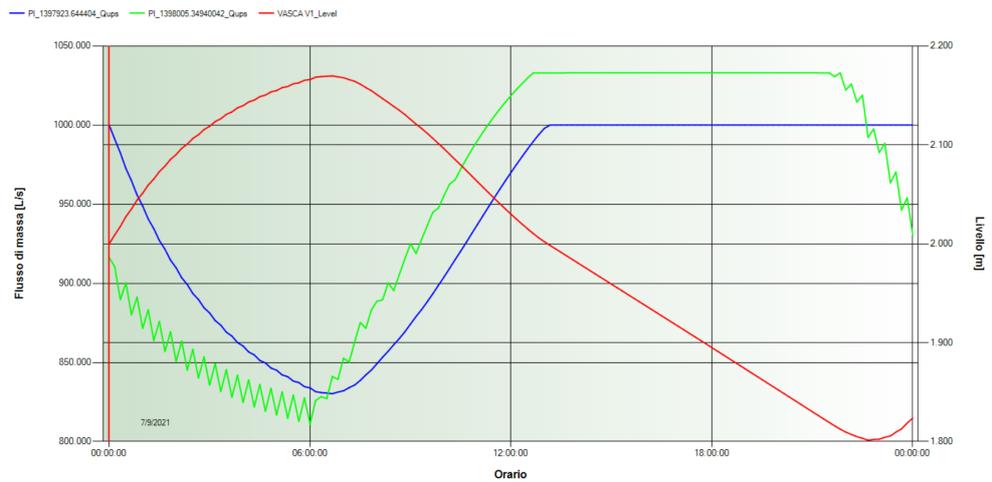


Fig. 16 Andamenti livelli e portate – vasca V1- – Portata in ingresso (blu) – Portata in uscita (verde)
Livello in vasca (rosso)

- Vasca V2:

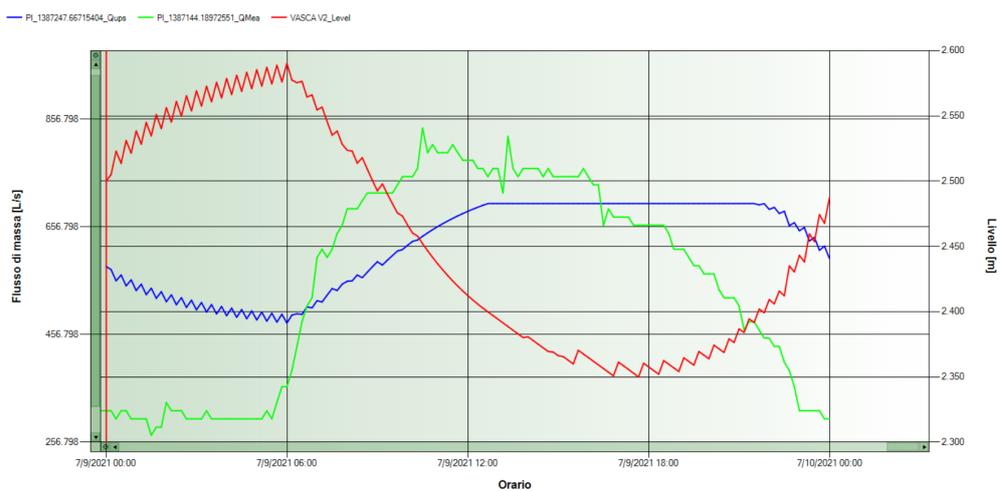


Fig. 17 Andamenti livelli e portate – vasca V2 – Portata in ingresso (blu) – Portata in uscita (verde)
Livello in vasca (rosso)

- Vasca V3:

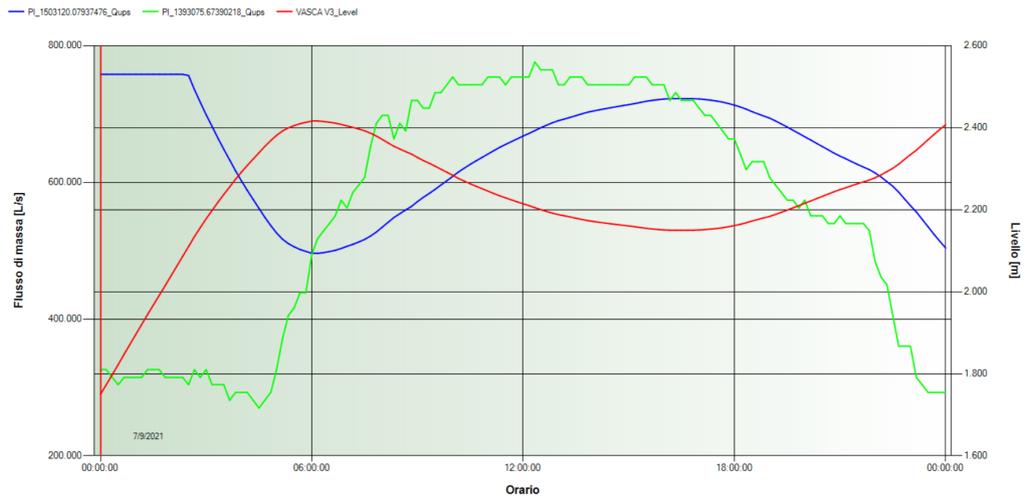


Fig. 18 Andamenti livelli e portate – vasca V3 - – Portata in ingresso (blu) – Portata in uscita (verde)
Livello in vasca (rosso)

DISTRETTO D11

VASCA 2 – VASCA 3

- Configurazione ACV:

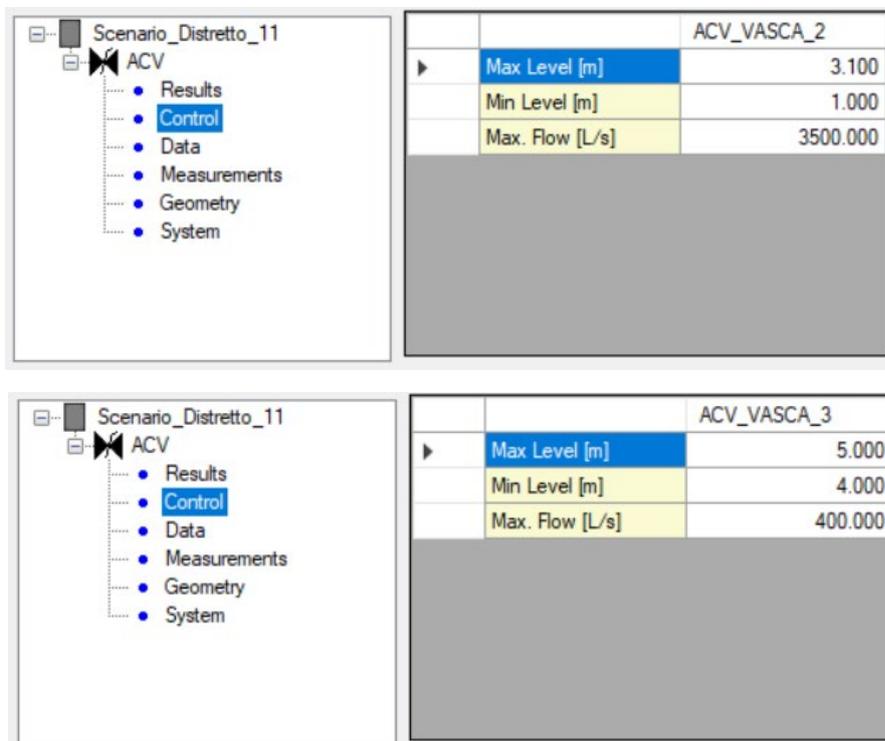


Fig. 19 Configurazione ACV – D11

A seguito dell'elaborazione della simulazione, si verifica innanzitutto la buona rispondenza tra l'andamento del livello simulato con quello misurato:

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – vasca 2:

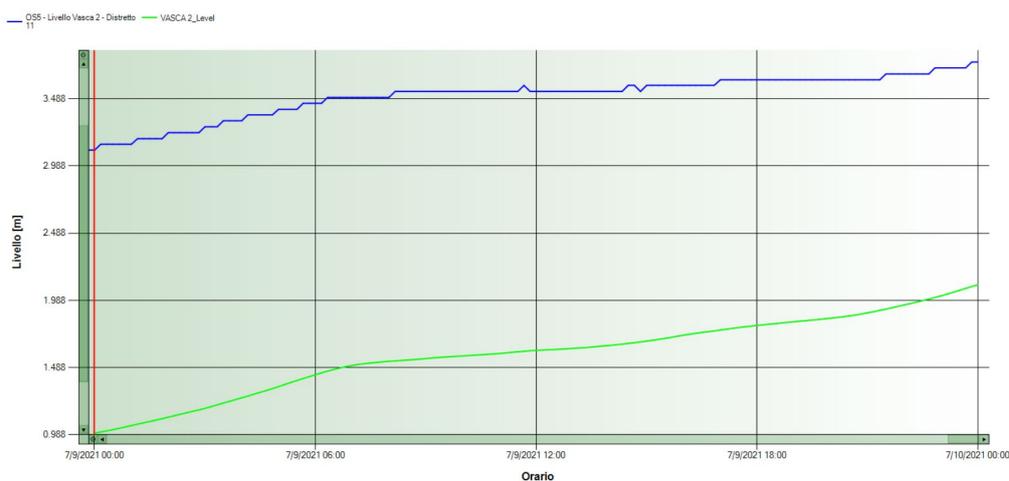


Fig. 20 Confronto livelli in vasca 2

Come si può evincere dal grafico sopra riportato, per la vasca 2, si è riuscito a riprodurre l'andamento del livello nell'arco della giornata, tuttavia con scarsa precisione, di fatti i livelli si discostano in media di circa 2 m.

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – vasca 3:



Fig. 21 Confronto livelli in vasca 3

A tali andamenti, per ciascuna vasca, a scopo di controllo, si è valutata la relazione tra grado di apertura della valvola ACV e livello d'acqua in vasca che risulta corretta in quanto si ha un grado di apertura ridotto con i livelli alti ed elevato con i livelli bassi; si riporta a titolo esemplificativo i grafici relativi alla vasca 2 ed alla vasca 3:

- Grado di apertura ACV – livello - vasca 2:

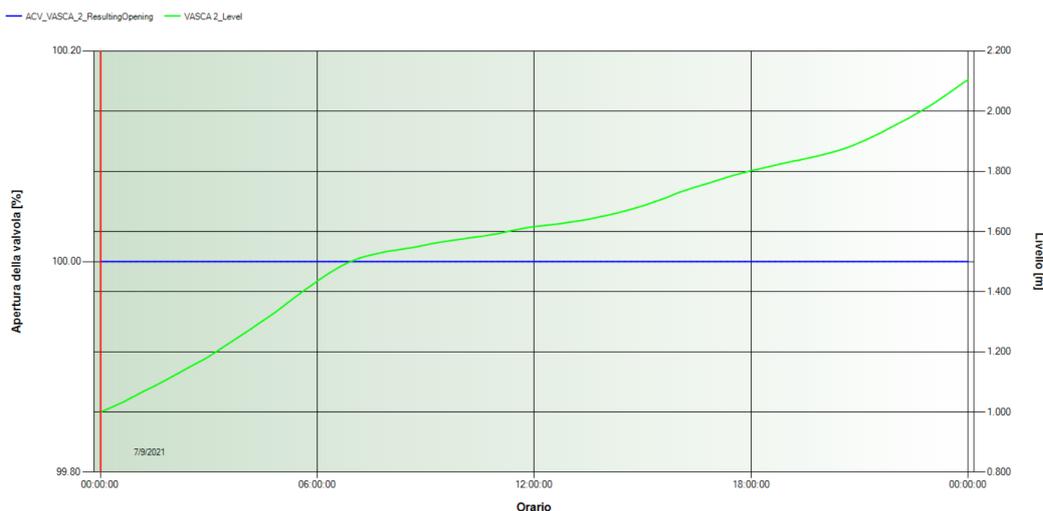


Fig. 22 Grado apertura ACV – livello vasca 2

Come si evince dal grafico sopra riportato, il grado di apertura dell'ACV posta in ingresso alla vasca 2 risulta essere pari al 100% per tutto l'arco della giornata; ciò in virtù del fatto che il livello in vasca non raggiunge mai la quota tale per cui la valvola debba chiudersi per evitare che la vasca sfiuri.

- Grado di apertura ACV – livello - vasca 3:

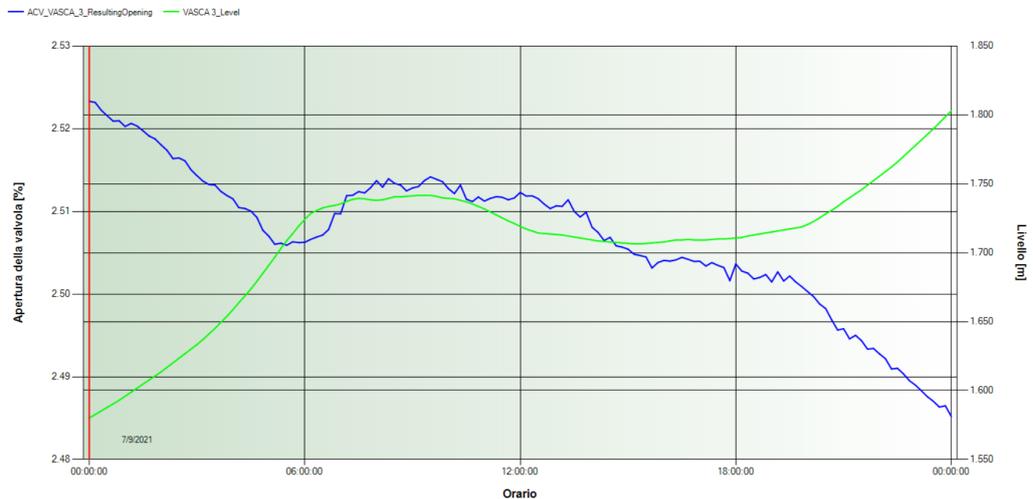
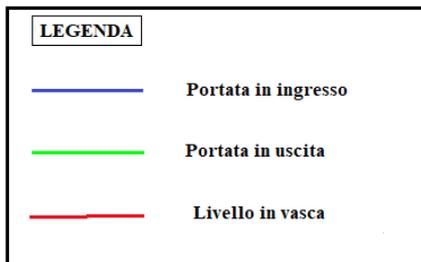


Fig. 23 Grado apertura ACV – livello vasca 3

Si sono dunque valutati i risultati in termini di portata in ingresso e portata in uscita e la variazione di livello risultanti dalla simulazione:



- Vasca 2:

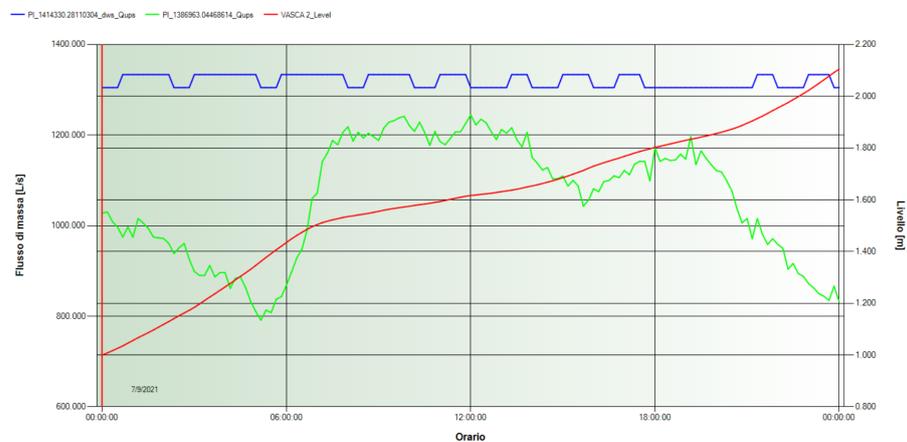


Fig. 24 Andamenti livelli e portate – vasca 2 – Portata in ingresso (blu) – Portata in uscita (verde) Livello in vasca (rosso)

- Vasca 3:



Fig. 25 Andamenti livelli e portate – vasca 3 - – Portata in ingresso (blu) – Portata in uscita (verde)
Livello in vasca (rosso)

SUB-DISTRETTO D10/D

VASCA D – DISCONNETTORI D2 – D3

Configurazione ACV:

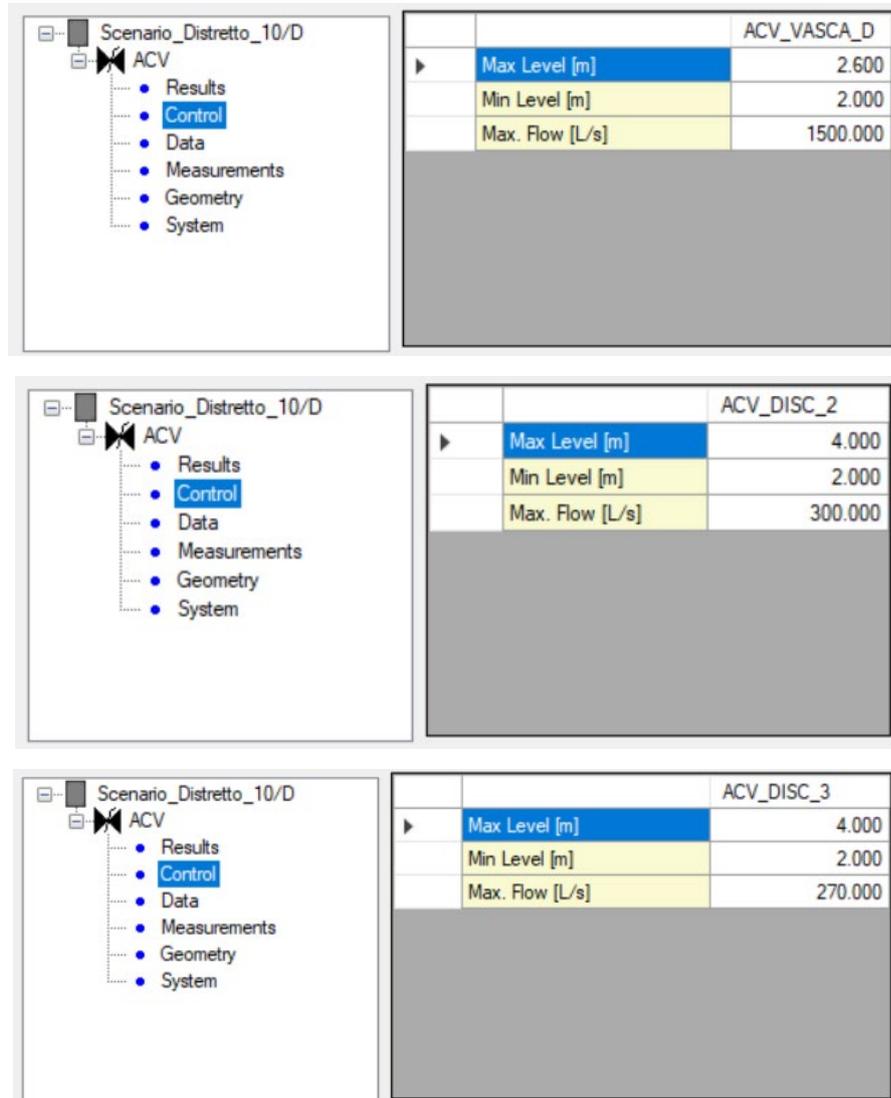


Fig. 26 Configurazione ACV – D10/D

A seguito dell'elaborazione della simulazione, si verifica innanzitutto la buona rispondenza tra l'andamento del livello simulato con quello misurato:

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – vasca D:

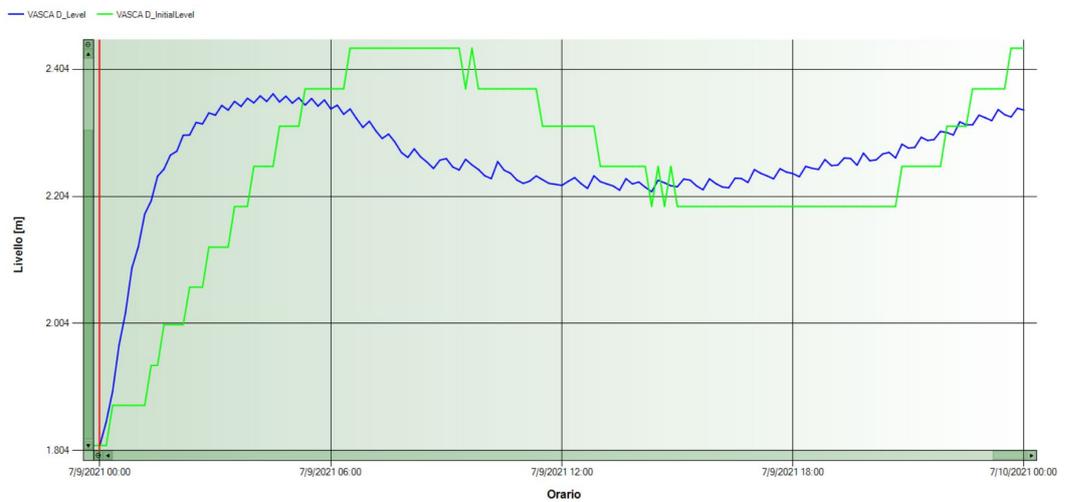


Fig. 27 Confronto livelli in vasca D

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – disconnettore D2:

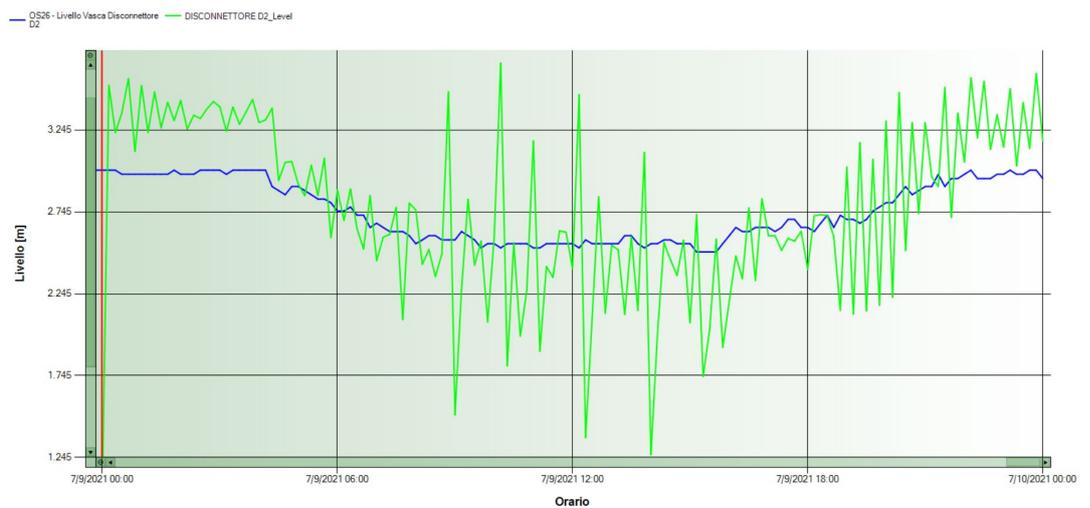


Fig. 28 Confronto livelli nel disconnettore D2

- Confronto livello misurato (blu) e simulato (verde) – disconnettore D3:

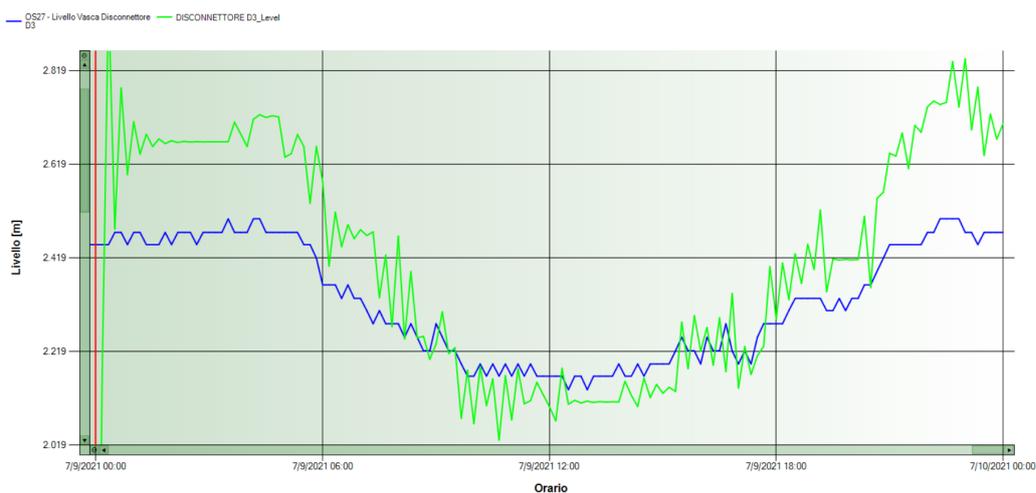


Fig. 29 Confronto livelli nel disconnettore D3

A tali andamenti, per ciascuna vasca, a scopo di controllo, si è valutata la relazione tra grado di apertura della valvola ACV e livello d'acqua in vasca che risulta corretta in quanto si ha un grado di apertura ridotto con i livelli alti ed elevato con i livelli bassi, come riportato a titolo esemplificativo per la vasca D:

- Grado di apertura ACV – livello - vasca D:

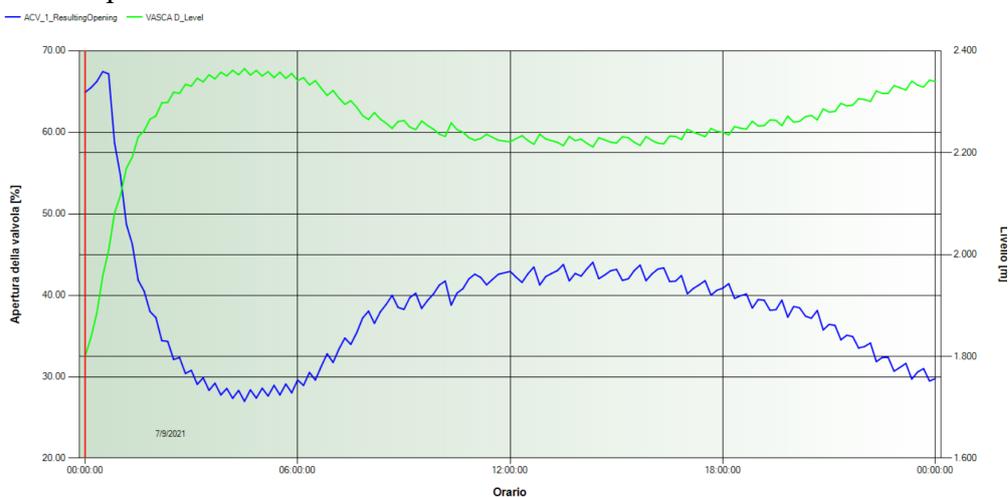
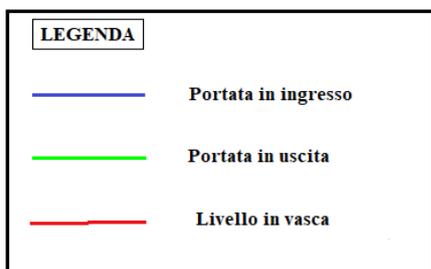
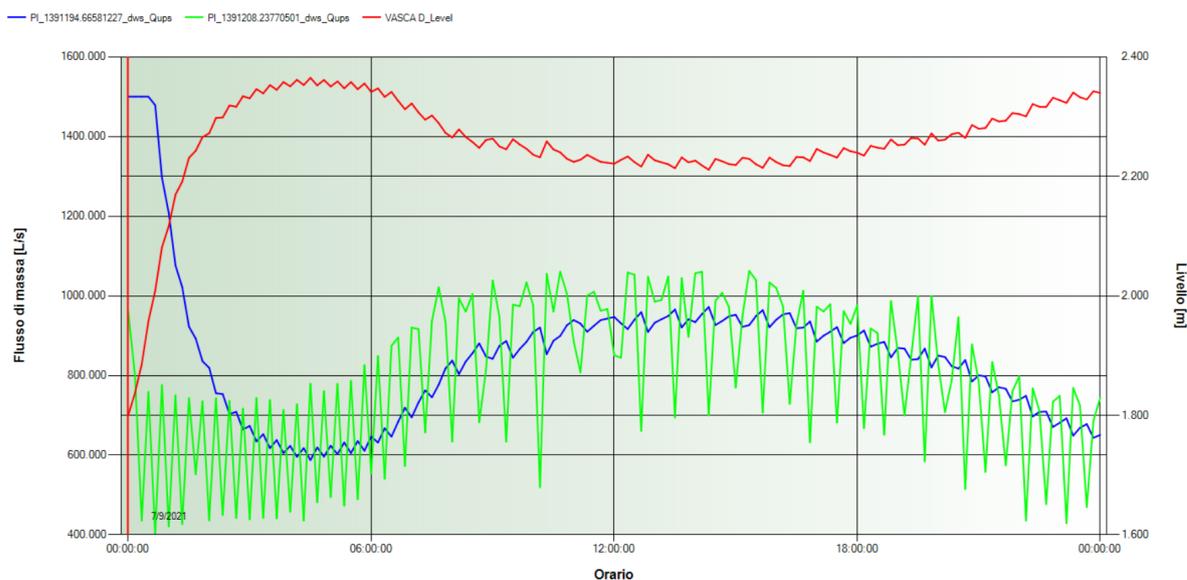


Fig. 30 Grado apertura ACV – livello vasca D

Si sono dunque valutati i risultati in termini di portata in ingresso e portata in uscita e la variazione di livello risultanti dalla simulazione. Si riportano a titolo esemplificativo quelli relativi alla vasca D.



- Vasca D



*Fig. 31 Andamenti livelli e portate – vasca D - – Portata in ingresso (blu) – Portata in uscita (verde)
Livello in vasca (rosso)*

Si ritiene che l'andamento con frequenza elevata della variazione delle grandezze è determinato, nella simulazione, dal ridotto volume dei disconnettori.

APPENDICE 3

SUB-DISTRETTO 10/B

- Identificazione nodi di interesse:

	NO_776	NO_31	NO_29	NO_15	NO_24	NO_56	NO_41	NO_43	NO_26	NO_38	NO_44
Pressure [barg]	1.3	1.3	1.4	0.9	4.7	2.1	4.7	4.7	0.9	3.8	4.6
Head [m]	136.419	138.268	139.414	136.821	125.681	140.816	109.818	109.802	109.907	109.865	109.800
Mass Flow [L/s]	11.949	11.949	11.949	11.949	22.339	11.949	11.696	11.696	11.696	11.696	11.696
Volume Flow [m³/s]	0.012	0.012	0.012	0.012	0.022	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
Mean Age [s]											
Min Age [s]											
Max Age [s]											
Sources											
Trace [-]											
Comment											

Fig. 1 Nodi associati alle prese

Risultano 37 nodi caratterizzati da un flusso di massa uscente:

	NO_776	NO_31	NO_29	NO_15	NO_56	NO_26	NO_28	NO_27	NO_36	NO_33	NO_642	NO_762
Pressure [barg]	1.3	1.3	1.4	0.9	2.1	0.9	1.5	1.6	1.9	1.7	1.9	1.8
Head [m]	136.419	138.268	139.414	136.821	140.816	109.907	139.820	140.800	126.386	136.253	136.416	126.367
Mass Flow [L/s]	11.949	11.949	11.949	11.949	11.949	11.696	11.949	11.949	22.339	11.949	11.949	22.339
Volume Flow [m³/s]	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.022	0.012	0.012	0.022
Mean Age [s]												
Min Age [s]												
Max Age [s]												
Sources												
Trace [-]												
Comment												

Fig. 2 Nodi con pressione inferiore a 2,5 bar

di cui 16 nodi, a cui sono associate le prese comiziali, caratterizzati da un valore di pressione inferiore ai 2,5 bar. Tali nodi sono individuati planimetricamente come mostrato nella figura seguente:

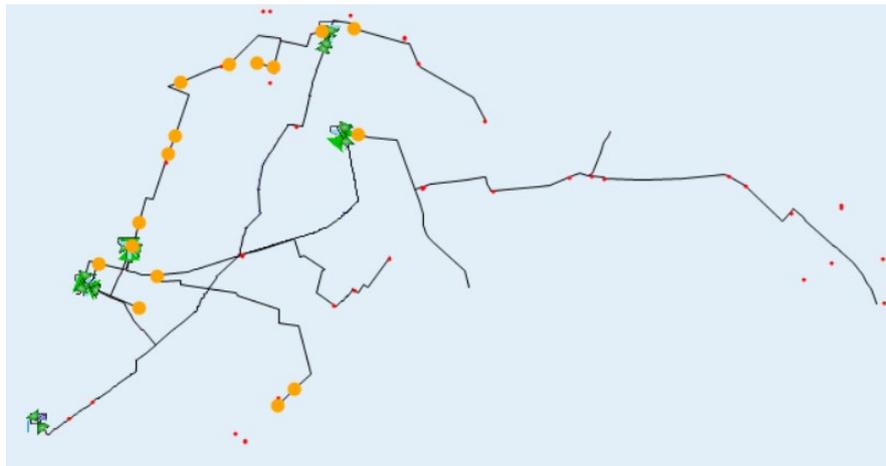


Fig. 3 Individuazione planimetrica nodi con deficit di pressione (in giallo)

Appare evidente che le prese con un valore di pressione basso si collocano in prossimità delle vasche da cui sono alimentate, considerata la limitata variazione della quota del terreno in prossimità delle stesse.

Si riporta a titolo esemplificativo l'andamento del valore di pressione sulla presa comiziale n.147 associata al nodo 26 appartenente al ripartitore in uscita dalla vasca B3.

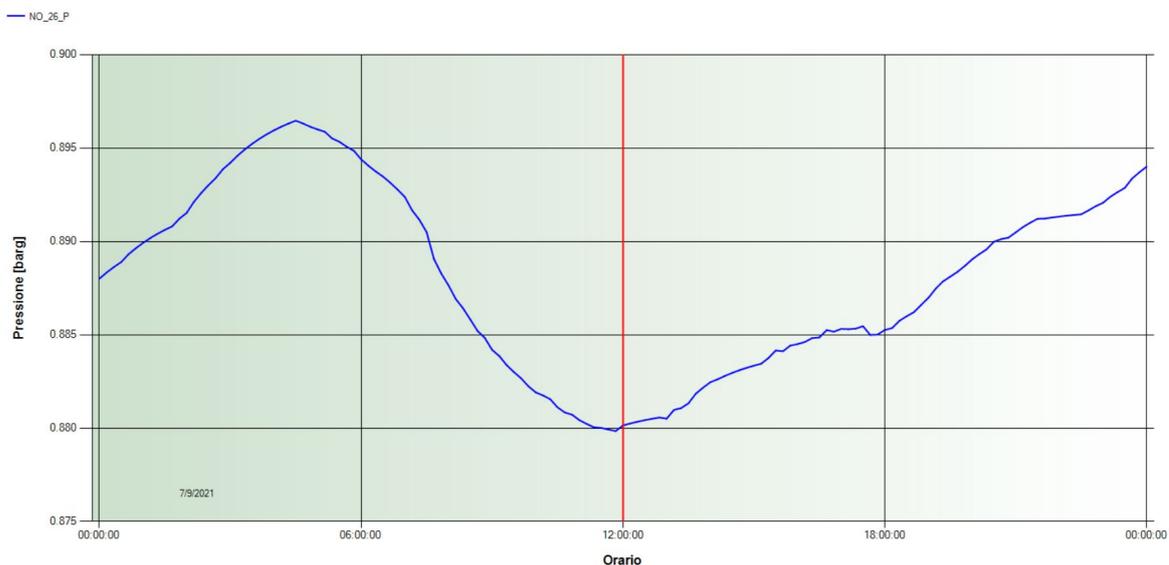


Fig. 4 Pressione su nodo n.26

Come si evince dal grafico sopra riportato l'andamento giornaliero della pressione è caratterizzato da un minimo attorno alle ore 12:00 AM a cui corrisponde il picco di prelievo massimo di portata dalla relativa presa.

Di seguito si riporta l'andamento della piezometrica tra la vasca B3 e il nodo 26:

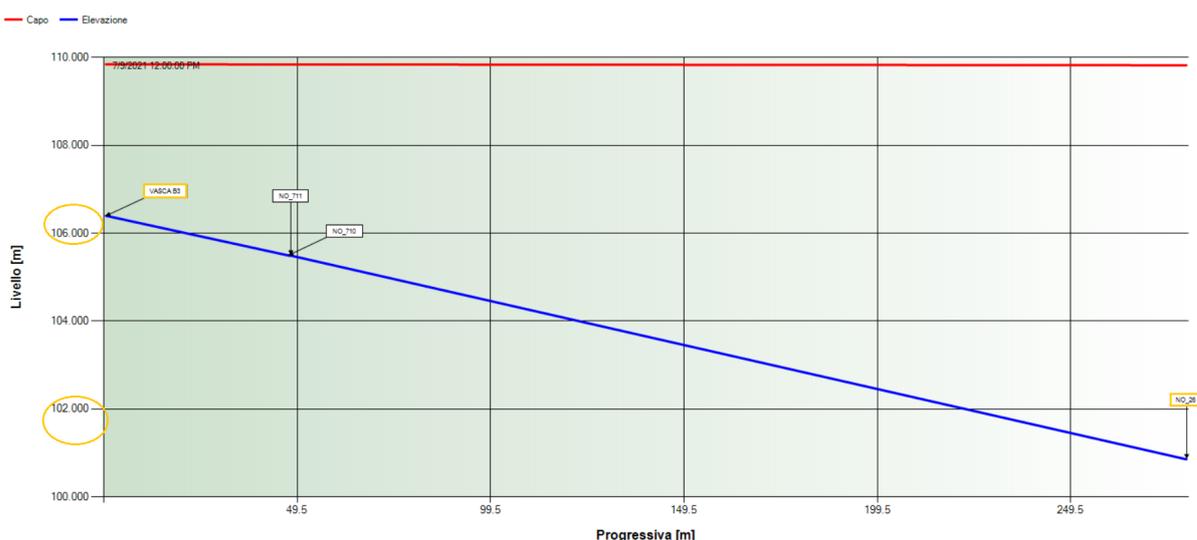


Fig. 5 Piezometrica vasca B3 - nodo n.26 ore 12:00 AM

È evidente che, in virtù della posizione altimetrica del nodo 26 a cui è associata la presa comiziale di interesse n.147, risulta impossibile garantire i 2,5 bar di pressione.

In ragione dell'orografia del territorio ed in particolare della collocazione altimetrica delle prese comiziali, il deficit di pressione potrebbe essere superato solo prevedendo dei piccoli impianti di sollevamento in uscita dalle vasche, naturalmente dopo un'analisi sia della gravità del deficit di pressione che dell'estensione delle superfici servite.

Un'altra importante funzionalità fornita dal software è la possibilità di caratterizzare le superfici del distretto in zone individuate da range di pressione differenti rappresentati graficamente con una gradazione di colore variabile, ottenendo delle "superfici isobariche".

Si riporta di seguito la mappa delle pressioni sul distretto 10/B alle ore 12:00 AM

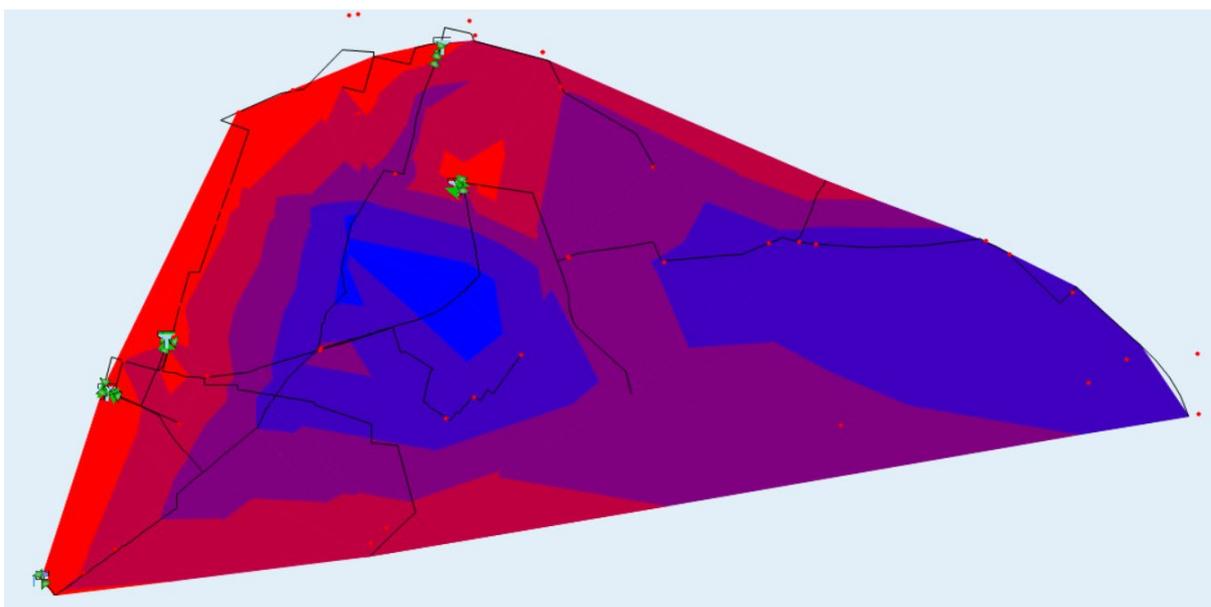


Fig. 6 Mappa delle pressioni D10/B in [bar]

Legenda:

A partire dal	A	Colore
5.4	-	Blue
4.1	5.4	Dark Purple
2.7	4.1	Purple
1.4	2.7	Red-Orange
-	1.4	Red

Dalla fig. 5 risulta ancor più evidente che, come anticipato, il deficit di pressione interessa le zone in prossimità delle vasche. Al contrario, le zone più "distanti" risultano caratterizzate da valori di pressione sufficientemente alti, in genere superiore ai 2,7 bar.

DISTRETTO D9

- Identificazione nodi di interesse:

	NO_430	NO_765	NO_36	NO_33	NO_27	NO_17	NO_25	NO_202	NO_475	NO_30	NO_201	NO_31
Pressure [barg]	7.1	6.6	6.4	5.5	3.1	5.0	5.7	5.9	7.1	5.2	4.8	4.8
Head [m]	78.613	129.038	79.707	79.236	80.742	62.227	124.011	61.630	128.992	79.404	62.699	79.859
Mass Flow [L/s]	13.586	22.200	13.586	13.586	13.586	9.304	44.400	9.304	22.200	27.173	18.609	13.586
Volume Flow [m³/s]	0.014	0.022	0.014	0.014	0.014	0.009	0.044	0.009	0.022	0.027	0.019	0.014
Mean Age [s]												
Min Age [s]												
Max Age [s]												
Sources												
Trace [-]												
Comment												

67 oggetti. (67 nascosto da [Q] > 0)

Fig. 7 Nodi associati alle prese

Risultano 67 nodi caratterizzati da un flusso di massa uscente:

	NO_773	NO_11	NO_774	NO_119
Pressure [barg]	1.6	2.3	2.0	1.7
Head [m]	130.117	92.288	129.583	130.449
Mass Flow [L/s]	22.200	22.200	22.200	22.200
Volume Flow [m³/s]	0.022	0.022	0.022	0.022
Mean Age [s]				
Min Age [s]				
Max Age [s]				
Sources				
Trace [-]				
Comment				

4 oggetti. (130 nascosto da [Q] > 0 & [P] < 2.5)

Fig. 8 Nodi con pressione inferiore a 2,5 bar

di cui solamente 4 nodi, a cui sono associate le prese comiziali, caratterizzati da un valore di pressione inferiore ai 2,5 bar. Tali nodi sono individuati planimetricamente come mostrato nella figura seguente:

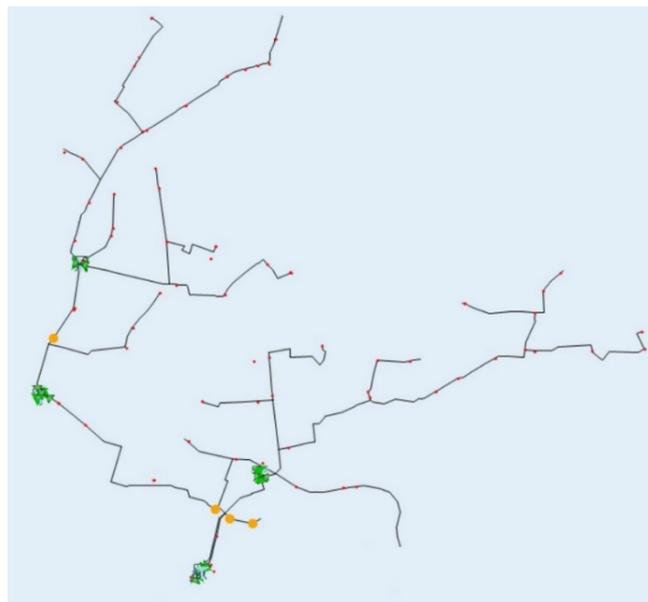


Fig. 9 Individuazione planimetrica nodi con deficit di pressione (in giallo)

Appare evidente che le prese con un valore di pressione basso si collocano in prossimità delle vasche da cui sono alimentate, considerata la limitata variazione della quota del terreno in prossimità delle stesse.

Si riporta a titolo esemplificativo l'andamento del valore di pressione sulla presa comiziale n.1 associata al nodo 773 appartenente al ripartitore in uscita dalla vasca V1.

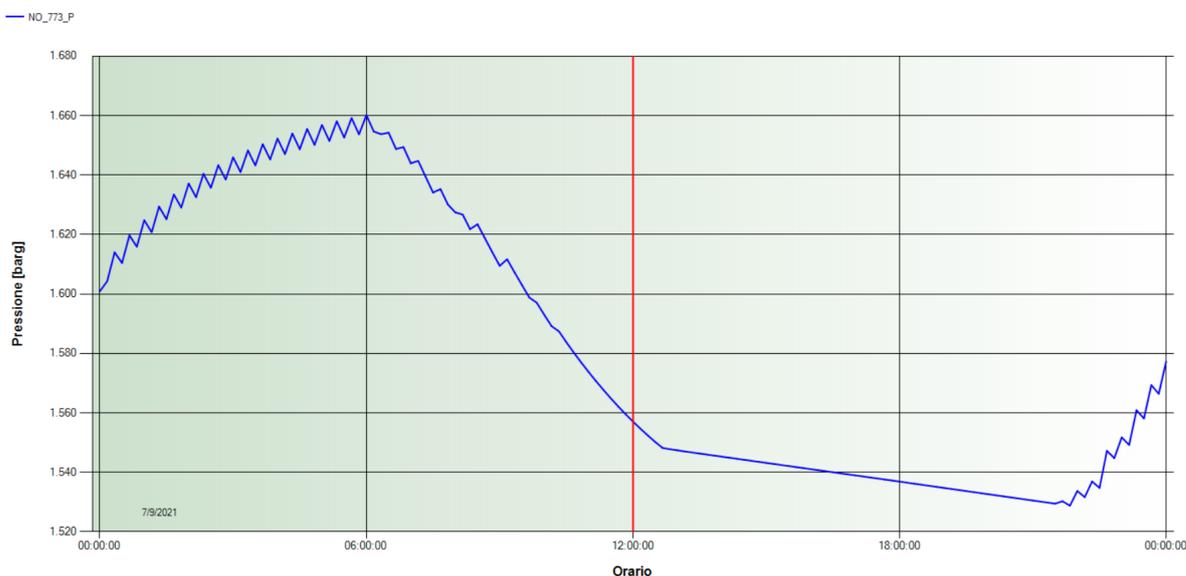


Fig. 10 Pressione su nodo n.773

Di seguito si riporta l'andamento della piezometrica tra la vasca V1 e il nodo 773:

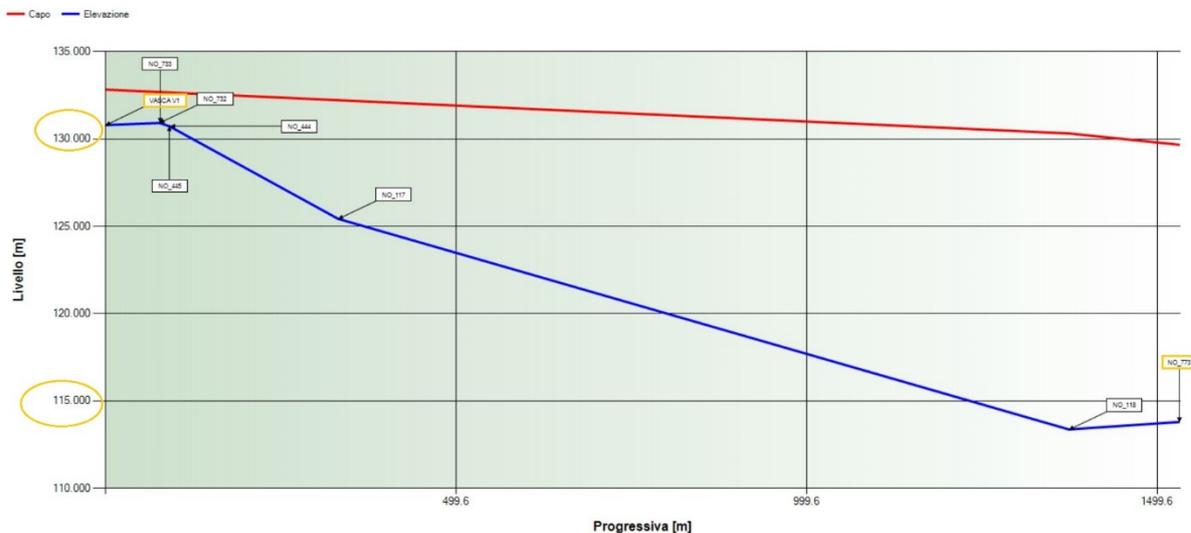


Fig. 11 Piezometrica vasca V1 - nodo n.773 ore 12:00 AM

È evidente che, in virtù della posizione altimetrica del nodo 773 a cui è associata la presa comiziale di interesse n.1, risulta impossibile garantire i 2,5 bar di pressione.

In ragione dell'orografia del territorio ed in particolare della collocazione altimetrica delle prese comiziali, il deficit di pressione potrebbe essere superato solo prevedendo dei piccoli impianti di sollevamento in uscita dalle vasche, naturalmente dopo un'analisi sia della gravità del deficit di pressione che dell'estensione delle superfici servite.

Un'altra importante funzionalità fornita dal software è la possibilità di caratterizzare le superfici del distretto in zone individuate da range di pressione differenti rappresentati graficamente con una gradazione di colore variabile, ottenendo delle “superfici isobariche”.

Si riporta di seguito la mappa delle pressioni sul distretto 9 alle ore 12:00 AM

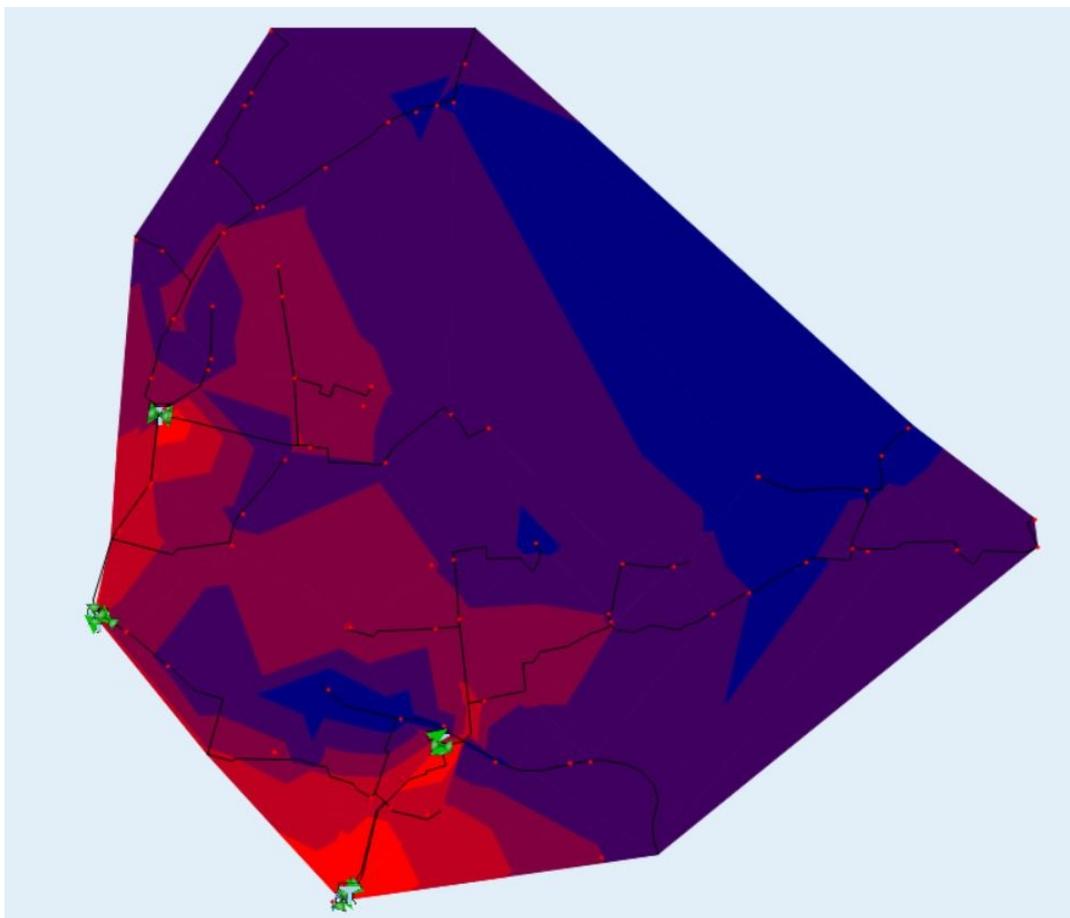


Fig. 12 Mappa delle pressioni D9 in [bar]

Legenda:

A partire dal	A	Colore
5.4	-	Blu
4.1	5.4	Viola
2.7	4.1	Purpureo
1.4	2.7	Rosso scuro
-	1.4	Rosso

Dalla fig. 12 risulta ancor più evidente che, come anticipato, il deficit di pressione interessa le zone in prossimità delle vasche. Al contrario, le zone più “distanti” risultano caratterizzate da valori di pressione sufficientemente alti, in genere superiore ai 2,7 bar.

DISTRETTO D11

- Identificazione nodi di interesse:

	NO_531	NO_286	NO_376	NO_378	NO_3	NO_454	NO_45	NO_196	NO_580	NO_192
Pressure [bar]	4.7	6.9	4.8	6.6	5.3	5.0	6.9	5.8	5.9	4.5
Head [m]	142.228	140.636	141.609	140.804	189.772	102.618	140.937	103.253	141.260	141.764
Mass Flow [L/s]	3.326	26.042	42.564	28.376	75.721	29.297	13.021	29.297	19.531	18.579
Volume Flow [m³/s]	0.003	0.026	0.043	0.028	0.076	0.029	0.013	0.029	0.020	0.019
Mean Age [s]										
Min Age [s]										
Max Age [s]										
Sources										
Trace [s]										
Comment										

Fig. 13 Nodi associati alle prese

Risultano 45 nodi con un flusso di massa uscente, di cui nessuno caratterizzato da un valore di pressione inferiore ai 2,5 bar.

Un'importante funzionalità fornita dal software è la possibilità di caratterizzare le superfici del distretto in zone individuate da range di pressione differenti rappresentati graficamente con una gradazione di colore variabile, ottenendo delle "superfici isobariche".

Si riporta di seguito la mappa delle pressioni sul distretto 11 alle ore 12:00 AM

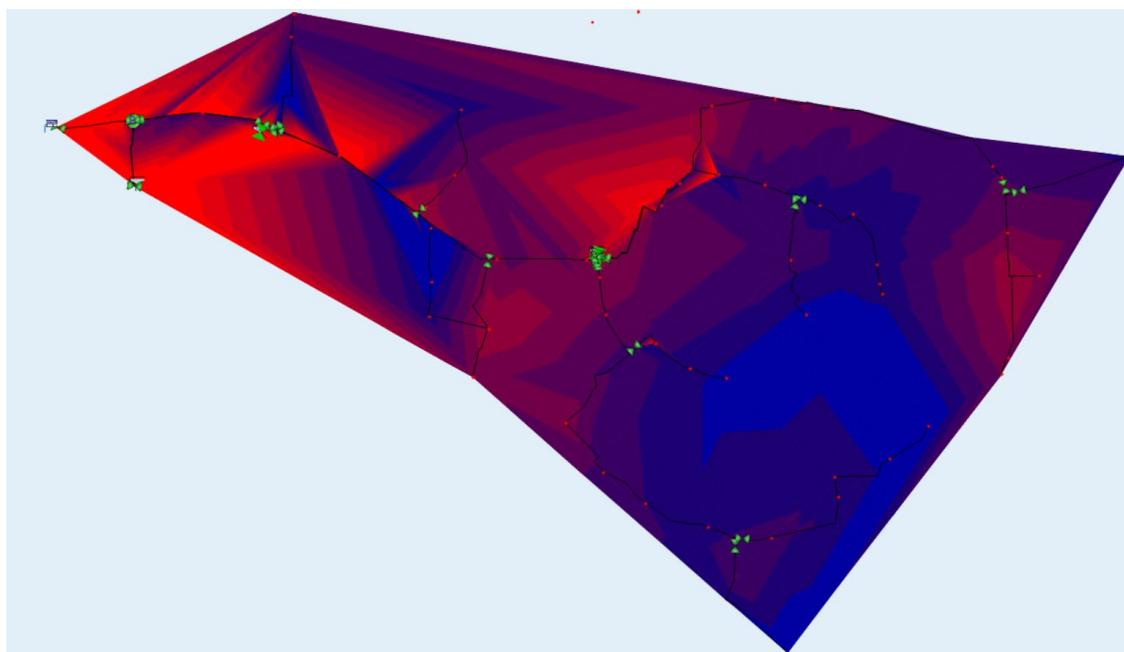


Fig. 14 Mappa delle pressioni D11 in [bar]

Legenda:

A partire dal	A	Colore
7.9	-	Dark Blue
6.7	7.9	Blue
5.5	6.7	Dark Purple
4.4	5.5	Red-Black
3.2	4.4	Red
2.0	3.2	Dark Red
0.9	2.0	Red
-	0.9	Red

SUB-DISTRETTO D10/D

- Identificazione nodi di interesse:

	NO_36	NO_7	NO_1	NO_42	NO_40	NO_8	NO_14	NO_30	NO_10	NO_598	NO_3
Pressure [barg]	3.5	4.6	0.5	4.6	4.3	4.5	3.5	4.9	3.2	5.8	2.4
Head [m]	98.314	88.318	93.996	116.316	98.528	88.415	116.328	88.313	88.566	98.271	93.949
Mass Flow [L/s]	11.667	14.990	9.756	11.111	11.667	14.990	11.111	14.990	14.990	11.667	9.756
Volume Flow [m³/s]	0.012	0.015	0.010	0.011	0.012	0.015	0.011	0.015	0.015	0.012	0.010
Mean Age [s]											
Min Age [s]											
Max Age [s]											
Sources											
Trace [-]											
Comment											

Fig. 15 Nodi associati alle prese

Risultano 46 nodi caratterizzati da un flusso di massa uscente:

	NO_1	NO_3
Pressure [barg]	0.5	2.4
Head [m]	93.996	93.949
Mass Flow [L/s]	9.756	9.756
Volume Flow [m³/s]	0.010	0.010
Mean Age [s]		
Min Age [s]		
Max Age [s]		
Sources		
Trace [-]		
Comment		

Fig. 16 Nodi con pressione inferiore a 2,5 bar

di cui solamente 2 nodi, a cui sono associate le prese comiziali, caratterizzati da un valore di pressione inferiore ai 2,5 bar. Tali nodi sono individuati planimetricamente come mostrato nella figura seguente:

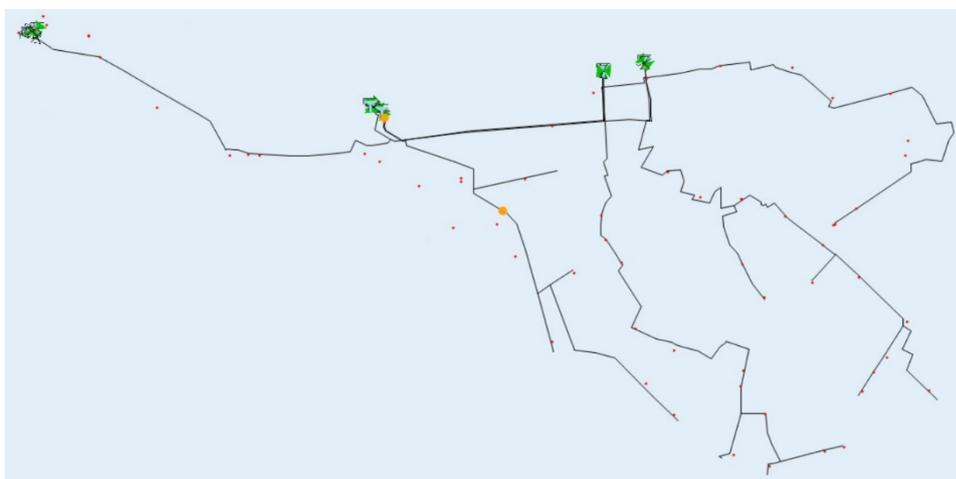


Fig. 17 Individuazione planimetrica nodi con deficit di pressione (in giallo)

Appare evidente che le prese con un valore di pressione basso si collocano in prossimità delle vasche da cui sono alimentate, considerata la limitata variazione della quota del terreno in prossimità delle stesse.

Si riporta a titolo esemplificativo l'andamento del valore di pressione sulla presa comiziale n.190 associata al nodo 1 appartenente al ripartitore in uscita dal disconnettore D2.

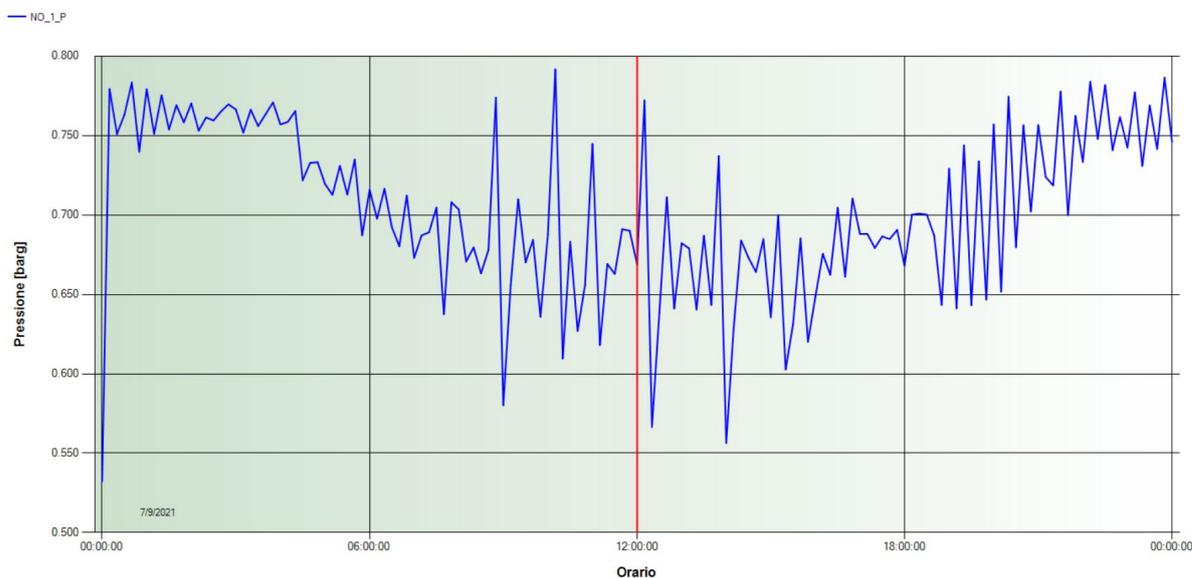


Fig. 18 Pressione su nodo n.1

Di seguito si riporta l'andamento della piezometrica tra il disconnettore D2 e il nodo 1:

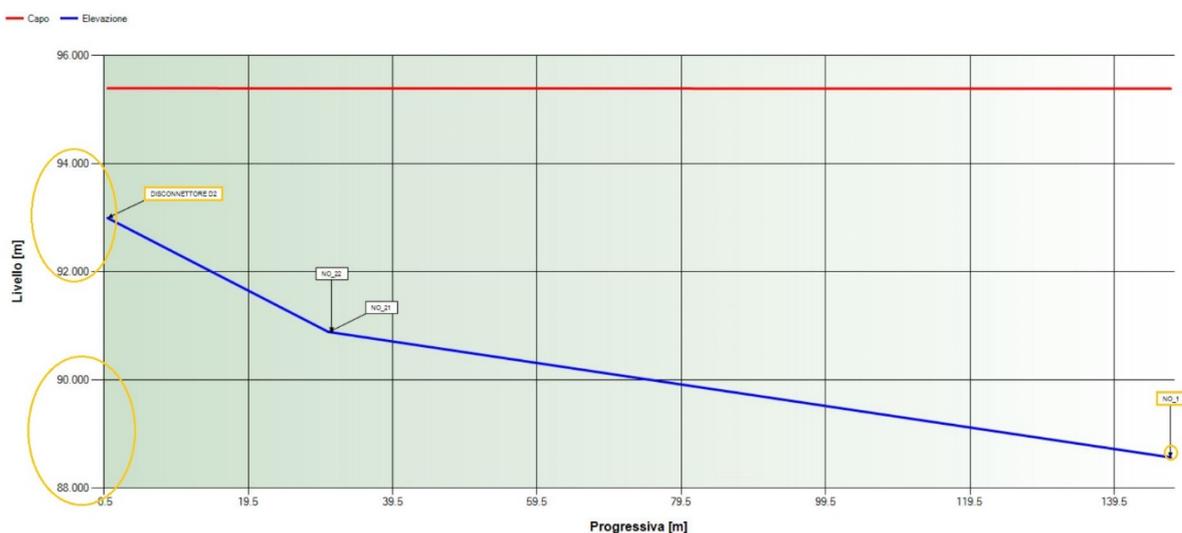


Fig. 19 Piezometrica disconnettore D2 - nodo n.1 ore 12:00 AM

È evidente che, in virtù della posizione altimetrica del nodo 1 a cui è associata la presa comiziale di interesse n.190, risulta impossibile garantire i 2,5 bar di pressione.

Un'altra importante funzionalità fornita dal software è la possibilità di caratterizzare le superfici del distretto in zone individuate da range di pressione differenti rappresentati graficamente con una gradazione di colore variabile, ottenendo delle “superfici isobariche”.

Si riporta di seguito la mappa delle pressioni sul distretto 10/D alle ore 12:00 AM

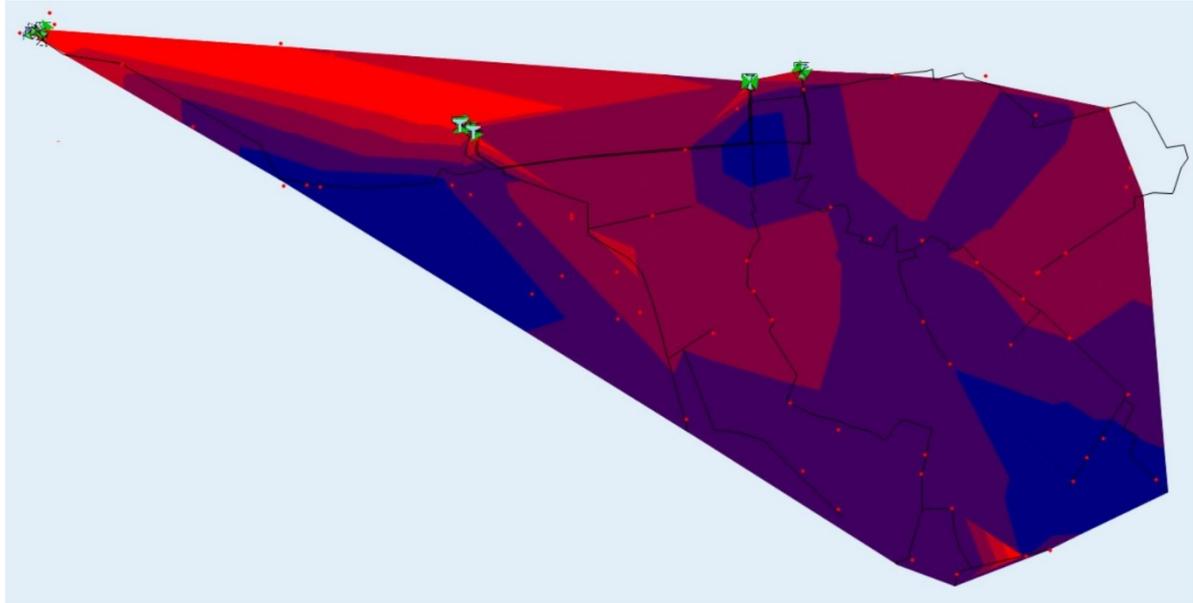


Fig. 20 Mappa delle pressioni D10/D in [bar]

Legenda:

A partire dal	A	Colore
5.50	-	Blu scuro
4.12	5.50	Purpureo
2.75	4.12	Rossiccio
1.37	2.75	Rosso
-	1.37	Rosso acceso

Dalla fig. 20 risulta ancor più evidente che, come anticipato, il deficit di pressione interessa le zone in prossimità delle vasche. Al contrario, le zone più “distanti” risultano caratterizzate da valori di pressione sufficientemente alti, in genere superiore ai 2,7 bar.

Bibliografia

- [1] Casiello, G. et al a cura di INEA (Istituto Nazionale di Economia Agraria) (2000) *Stato dell'irrigazione in Puglia*
- [2] a cura di CBC Quaderni 4.06 (2006) *Il Consorzio per la Bonifica della Capitanata: attività e territorio*, Foggia, Claudio Grenzi ed.
- [3] Zucaro, R. a cura di INEA, ANBI (2012) *Bonifica idraulica, impianti e reti irrigue: da 150 anni insieme all'Italia*, Roma, pp.127-144
- [4] Di Cataldo, M. a cura di CBC (2015) *Bacino idrografico del fiume Fortore Invaso di Occhito Istanza concessione di derivazione*, Foggia
- [5] a cura di CBC *L'utilizzazione idrica del Fortore e le principali opere idrauliche*, Foggia
- [6] Santovito, D. Bergamin, G. Modugno, C. (1966) a cura di ENTE IRRIGAZIONE PUGLIA E LUCANIA *Utilizzazione irrigua delle acque del Fortore: relazione tecnica distretti n.9 n.10*, Foggia
- [7] Santovito, L. Malossi, D (1974) a cura di CBC *Utilizzazione irrigua delle acque del Fortore: relazione tecnica distretto n.11*, Foggia
- [8] Mambretti S. Zuccoli A. a cura di ABB (2009), *Moderne tecnologie per gli acquedotti*, Delfino ed.
- [9] Cascetta F. a cura di ANIE (2008), *Moderne tecnologie per gli acquedotti*, Franco Angeli ed.
- [10] Autori vari a cura di AVR (2008), *Capitolato tipo per valvole e accessori per reti idriche*, Franco Angeli ed.
- [11] Autori vari a cura di CBC Quaderni 2.05 (2005), *Sistema di telecontrollo, teleregolazione ed automazione dell'impianto irriguo del comprensorio Nord Fortore, in Ammodernamento e innovazione tecnologia nelle reti irrigue e delle opere di bonifica*, Foggia, Claudio Grenzi ed.
- [12] Caiaffa, E. a cura di ENEA (2006) *Sistemi informativi geografici*, Roma
- [13] Pilati S., Todini E. (2014), *A Gradient Algorithm for the Analysis of Pipe Networks*, in B. Coulbeck, C. Orr in *Computer Applications in Water Supply*, Letchworth, Hertfordshire, England, Research studies press LTD, pp. 1-20.
- [14] a cura di AVEVA Group (2019) *Aquis Water Network Management User Guide*, Cambridge
- [15] Autori vari a cura di Adam Strafacci (2003) *Advanced water distribution modeling and manage*, Waterbury (USA), Haestad press