

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

DISTART

TESI DI LAUREA

in

Tecnica dei Lavori Idraulici LS

**MISURE DI MITIGAZIONE DEGLI EFFETTI DELLA CARENZA
IDRICA NEI SISTEMI ACQUEDOTTISTICI**

CANDIDATO
Fabrizio Ferri

RELATORE:
Chiar.mo Prof. Ing. Sandro Artina

CO-RELATORI
Dott. Ing. Cristiana Bragalli
Dott.ssa Rosanna Bissoli

Anno Accademico 2007-2008

Sessione I

PAROLE CHIAVE

SICCITA'

RIDUZIONE DELLE PRESSIONI

INFOWORKS WS

SARACINESCA

PRV

INDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUZIONE | 5 |
| CAPITOLO 1..... | 7 |
| Linee guida per la gestione della siccità: il progetto MEDROPLAN..... | 7 |
| Introduzione..... | 8 |
| 1.1 La componente organizzativa..... | 9 |
| 1.2 La componente metodologica..... | 10 |
| 1.2.1 Caratterizzazione e monitoraggio della siccità..... | 11 |
| 1.2.2 Valutazione del rischio..... | 13 |
| 1.2.3 Valutazione della vulnerabilità..... | 15 |
| 1.3 Componente operativa..... | 15 |
| 1.4 Analisi multicriteriale..... | 17 |
| CAPITOLO 2..... | 18 |
| Misure di prevenzione e mitigazione della siccità | 18 |
| Introduzione..... | 19 |
| 2.1 Misure di prevenzione e di mitigazione..... | 20 |
| 2.2 Stato di emergenza idrica in Emilia Romagna nel 2007..... | 23 |
| CAPITOLO 3..... | 27 |
| Simulazione numerica delle reti di distribuzione guidata dalla pressione in | |
| InfoWorks WS | 27 |
| Introduzione..... | 28 |
| 3.1 Simulazione guidata dalla pressione..... | 29 |
| 3.2 Curve PRD..... | 32 |
| 3.3 Analisi di sensitività..... | 38 |
| 3.3.1 Caratteristiche della rete..... | 38 |
| 3.3.2 Analisi di sensitività..... | 41 |
| CAPITOLO 4..... | 53 |
| Effetti della riduzione delle pressioni in rete | 53 |
| Introduzione..... | 54 |
| 4.1 Simulazione della rete in condizioni di normale funzionamento..... | 56 |
| 4.2 Simulazione della rete con riduzione della pressione..... | 64 |
| 4.2.1 Simulazione del 1° scenario di riduzione della pressione..... | 65 |
| 4.2.2 Simulazione del 2° scenario di riduzione della pressione..... | 79 |
| 4.2.3 Simulazione del 3° scenario di riduzione della pressione..... | 94 |

| | |
|--|------------|
| 4.3 Confronto tra gli scenari di riduzione della pressione | 108 |
| CONCLUSIONI | 112 |
| BIBLOGRAFIA..... | 113 |

INTRODUZIONE

Lo studio è stato focalizzato sulle misure di mitigazione degli effetti indotti dalla carenza idrica nei sistemi acquedottistici ed, in particolare, sulle modalità di risparmio idrico ottenibile da diverse modalità di riduzione della pressione nella rete di distribuzione, inserendosi quindi in quella componente operativa individuata dalle “Linee guida per la gestione della siccità” del Progetto MEDROPLAN, a cui ci si è ispirati come approccio metodologico.

Il condizionamento della possibilità di prelievo da parte dell’utenza idropotabile attraverso il controllo della pressione rappresenta una misura di mitigazione interessante, perché, soprattutto nelle fasi di pre-allerta e di allerta, può porsi come valida alternativa alla pratica di sospensione dell’erogazione in alcune ore della giornata, misura che può generare atteggiamenti difensivi da parte dell’utente, con accumulo di volumi temporanei di acqua nelle case (inutilizzati nel momento in cui riprende l’erogazione), che possono compromettere l’efficacia del provvedimento.

I benefici, in termini di volume recuperato che si possono ottenere dall’abbassamento della pressione in rete, rispetto alla condizione di normale funzionamento, sono però fortemente condizionati dalla modalità scelta ovvero dal valore imposto alla pressione, organi idraulici utilizzati e criteri di settaggio delle valvole. Lo studio analizza in dettaglio i differenti effetti conseguenti all’utilizzo di saracinesche e di valvole riduttrici di pressione PRV su una porzione di rete di distribuzione. L’analisi è stata sviluppata su diversi scenari utilizzando il modello di simulazione InfoWorks WS (HR Wallingford, UK) che utilizza modalità avanzate per la rappresentazione della domanda e delle perdite idriche in funzione della pressione. Ne è emerso il differente comportamento delle saracinesche e delle PRV in termini di volume giornaliero recuperato, di efficienza del servizio e di comportamento idraulico della rete.

Lo studio dell’efficacia delle misure di mitigazione che si possono adottare in condizioni di scarsità idrica risulta particolarmente importante anche alla luce di situazioni di emergenza che si sono verificate nelle regioni del centro e nord Italia, generalmente interessate solo marginalmente da tali problemi. Ne è prova lo stato di emergenza che ha colpito la Regione Emilia Romagna nel 2007, in particolare la

parte orientale, a cui ha fatto seguito il Piano degli interventi urgenti dell’Agenzia Regionale di Protezione Civile e della Direzione Generale Ambiente Difesa del Suolo e della Costa; che tra le varie misure individuate prevedeva anche interventi di riduzione delle pressioni.

CAPITOLO 1

Linee guida per la gestione della siccità: il progetto MEDROPLAN

Introduzione

La siccità è un fenomeno che si verifica frequentemente nei Paesi mediterranei con conseguenze pesanti sulle attività economiche sia agricole che industriali e può portare a deficit nell' approvvigionamento idrico urbano. Le cause di una tale situazione sono di natura meteorologica (carenza di precipitazioni), sociale (crescita della popolazione), economiche. Per difendersi da tale calamità naturale molte nazioni hanno sviluppato molte esperienze e appositi Piani per la gestione della siccità.

All' interno di queste problematiche si colloca il progetto MEDROPLAN [Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning] frutto della collaborazione di centri di ricerca e di enti gestori operanti in Cipro, Grecia, Italia, Marocco, Spagna e Tunisia. Questo progetto ha sviluppato delle Linee Guida a cui si è cercato di attenersi nello sviluppo della tesi, in relazione allo specifico campo di studio dei sistemi acquedottistici.

Il tradizionale approccio alla siccità è quello reattivo, consistente nel cercare di ideare e attuare misure di emergenza nel momento stesso in cui il problema si presenta; ma tale comportamento non porta a buoni risultati poiché le decisioni devono essere prese frettolosamente, tenendo in scarsa considerazione le opinioni dei diretti interessati e con possibile scarso coordinamento istituzionale, tutto ciò porta all' attuazione di azioni poco efficienti.

L'approccio migliore è quello preventivo basato sulla preparazione all'evento e sulla pianificazione delle strategie di difesa distinguendo le azioni legate al breve periodo e quelle legate al lungo periodo. Tale approccio migliora la qualità delle misure prese ed è composto dalle seguenti fasi: valutazione disponibilità e fabbisogni idrici, valutazione dei rischi e della vulnerabilità, preparazione dei Piani in base ai livelli di gravità, monitoraggio continuo e preannuncio, attuazione dei Piani.

Un aspetto importante nell'approccio preventivo è quello di mettere in risalto il colloquio con i portatori di interesse e proprio in tale ottica di confronto vengono fornite all'intero delle Linee Guida MEDROPLAN una serie di definizioni per identificare univocamente le diverse condizioni di ridotta disponibilità idrica qui di seguito visualizzate in Tabella 1.1.

| Cause | Naturale | Antropico |
|------------|-----------|---|
| Temporaneo | • Siccità | • Carenza idrica |
| Permanente | • Aridità | • Scarsità idrica • Desertificazione |

Tabella 1.1 Definizioni; Linee Guida MEDROPLAN.

Inoltre la siccità è ulteriormente classificabile in: siccità meteorologica (deficit di precipitazione), agricola (deficit di umidità del terreno), idrologica (deficit dei deflussi), operativa (deficit del sistema di approvvigionamento idrico).

Nell' affrontare il problema della gestione della siccità le Linee Guida propongono un percorso da seguire per ottimizzare le modalità di gestione e prevenzione della siccità:

- Componente organizzativa: è la fase in cui si raccolgono più informazioni possibili sui portatori d'interesse, sull'organizzazione istituzionale e giuridica e si individuano le unità geografiche a cui i Piani devono fare riferimento;
- Componente Metodologica: questa parte ha il compito di fornire dati oggettivi e semplici a supporto della pianificazione di misure di prevenzione e mitigazione;
- Componente Operativa: vengono individuate le misure a lungo e breve termine e le modalità di realizzazione;
- Revisione pubblica.

1.1 La componente organizzativa

La componente organizzativa della gestione delle siccità serve a definire il quadro giuridico istituzionale specifico in cui si collocano le azioni per prevenire e/o mitigare gli impatti della siccità. In questa fase si cerca di capire l'unità territoriale di riferimento, quali sono i portatori di interesse e quali sono le istituzioni competenti.

L'unità geografica di riferimento varia a seconda del tipo di azione o programmazione che si sta considerando; in generale MEDROPLAN propone (classificazione tratta dalle Linee Guida di MEDROPLAN):

- Bacino idrografico per la quale si richiede un piano per l'utilizzo di risorse idriche, che includa anche criteri specifici per la gestione del rischio di siccità;

- Territori interessati da sistemi di approvvigionamento idrico interconnessi, per i quali bisogna definire misure preventive per evitare situazioni di emergenza idrica all'interno del Piano di gestione del sistema di approvvigionamento idrico;
- Regioni, provincie o comuni per i quali deve essere preparato un Piano di Emergenza delle Siccità.

Un altro punto importante è l'identificazione, a seconda della particolari situazioni e aree prese in considerazione, dei possibili portatori di interesse e di quali possono essere le loro aspettative; per esempio, gli agricoltori e gli allevatori sono interessati a mantenere un buon livello di affidabilità nell'erogazione; le utenze urbane e industriali vorrebbero vedere assicurati standard di qualità e quantità. Vi sono poi molti altri portatori di interesse: Autorità di bacino, gestori del servizio idrico, uffici meteorologici, Ministeri dell'Agricoltura o dell'Ambiente, compagnie assicurative e banche, istituzioni di ricerca e organizzazioni non governative.

Per completare la fase organizzativa si deve analizzare la struttura istituzionale e all'interno progetto MEDROPLAN viene proposto un metodo che, oltre a ricostruire il quadro giuridico-istituzionale del Paese, raccoglie informazioni intervistando coloro che prendono parte alla pianificazione e alla attuazione. Inoltre vengono valutati i punti di forza e di debolezza dell'intero sistema proponendo eventuali migliorie. Tale metodologia ha lo scopo di descrivere i legami, le distribuzioni di responsabilità e le gerarchie tra istituzioni, ma anche di informare sulle esperienze passate, sui Piani ora in vigore e sui sistemi di monitoraggio, per poter apportare miglioramenti dove si notano punti deboli.

1.2 La componente metodologica

La componente metodologica deve definire i metodi per ricavare i dati e le valutazioni a supporto della pianificazione e attuazione delle misure di prevenzione e mitigazione della siccità. Tali dati devono essere oggettivi e semplice, da un lato per favorirne la confrontabilità e dall'altro per agevolarne la comprensione anche da parte di tutti i soggetti coinvolti.

Questa fase può essere scomposta in tre parti caratterizzate da diversi obiettivi dello studio e sono: caratterizzazione e monitoraggio della siccità, valutazione del rischio di siccità e valutazione della vulnerabilità alla siccità.

1.2.1 Caratterizzazione e monitoraggio della siccità

La caratterizzazione della siccità punta ad individuare le caratteristiche delle passate siccità in termini probabilistici in modo da poterne studiare i tempi di ritorno; la fase del monitoraggio invece è basilare per poter prevenire i danni attuando le necessarie misure precauzionali nei momenti più opportuni.

Entrambe i due sistemi di analisi dei dati si basano su un set di indici prefissati che variano a seconda del tipo di siccità e dall'area geografica considerata, nonché dell'arco temporale di riferimento e della disponibilità dei dati.

Tutti gli indici per essere utili devono possedere alcuni requisiti: essere rappresentativi del tipo di siccità, disponibili in relazione all'attuale sistema di monitoraggio, consentire la valutazione della severità di un evento in relazione alle serie storiche, essere definibile in termini probabilistici e valutabile su una scala standardizzata (per poter essere confrontato).

Tra gli indici più usati vi è quello di Palmer (PDSI) che basandosi su un bilancio agricolo a scansione mensile studia la siccità meteorologica ma con risulta essere particolarmente utile anche per quella agricola. Questo indice prende in considerazione l'evapotraspirazione, l'incremento o il decremento del contenuto idrico del terreno e il deflusso su scala mensile. Poi si deve elaborare un'analisi sul lungo periodo delle serie storiche e individuare le precipitazioni climaticamente appropriate da confrontare con quelle osservate nel mese in esame; utilizzando i dati ottenuti la valutazione della siccità è definita con la posizione su una scala predefinita. Questo metodo tenendo conto di molti aspetti riesce a dare una rappresentazione compiuta del fenomeno ma risulta complesso e la scala di valutazione è arbitraria a discapito dell'oggettività della valutazione stessa.

Un altro indice molto diffuso è la precipitazione standardizzata (SPI) utilizzata nel monitoraggio della siccità meteorologica e su scala temporale variabile a seconda della particolare variabile idrologica da analizzare. Si considerano le precipitazioni nei K-1 mesi precedenti al mese in esame e le si confronta con le serie storiche già adattate ad una distribuzione normale di probabilità; il risultato è sempre identificato da una posizione all'interno di una scala.

I vantaggi di questo metodo risiedono nella semplicità di utilizzo e nella visione probabilistica del problema, ma in condizioni di bassa precipitazioni piccole variazioni meteorologiche possono generare eccessivi sbalzi all'interno della scala di valutazione.

Altri indici sono di largo uso per il controllo della siccità meteorologica come il Decili e l'RDI; per quanto concerne i nuovi metodi di studio si può notare l'indice

NDVI per l'analisi della siccità agricola, esso sfrutta le tecniche di telerilevamento sulla base di immagini da satellite. Di seguito viene riportata la Tabella 1.2 degli indici, i relativi dati necessari per la formulazione dell'indice stesso e i campi di applicazione a seconda che si studi una siccità agricola, meteorologica o idrologica.

| Indici di siccità | Dati necessari | Campo di applicazione |
|---|---|--|
| Decili | Precipitazione | Meteorologica |
| Standardized Precipitation Index (SPI) | Precipitazione | Meteorologica, utilizzato per il monitoraggio e la previsione della siccità |
| Rainfall Anomaly Index | Precipitazione | Meteorologica, sensibile a eventi estremi |
| Reconnaissance Drought Index (RDI) | Precipitazione, evapotraspirazione potenziale | Meteorologica |
| Run Analysis | Precipitazione, deflusso superficiale | Meteorologica e idrologica, per un'analisi spazio-temporale di eventi storici |
| Palmer Drought Severity Index (PDSI) | Precipitazione, Temperatura, Umidità del suolo | Meteorologica, efficace in agricoltura, utilizzato nelle analisi storiche e nelle analisi di rischio |
| Palmer Hydrological Drought Severity Index (PHDI) | Precipitazione, Temperatura, Umidità del suolo | Idrologica, per il monitoraggio |
| Palmer Mixture Anomaly Index (Z-Index) | Precipitazione, Temperatura, Umidità del suolo | Agricola |
| Surface Water Supply Index (SWSI) | Neve, Pioggia, Deflussi, Volumi invasati nei serbatoi | Idrologica, efficiente quando la componente nevosa è importante |
| Crop Moisture Index (CMI) | Precipitazione, Temperatura, Umidità del suolo | Agricola |
| Soil Mixture Anomaly Index (SMAI) | Umidità del suolo, Evapotraspirazione potenziale, Flusso potenziale | Agricola |
| Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) | Immagini da satellite | Risorse naturali, agricola |

Tabella 1.2 Indici di siccità; Linee Guida “MEDROPLAN”

In alternativa all'utilizzo degli indici, si possono classificare le siccità passate tramite il “Metodo dei run”. Tale metodo confronta una serie temporale discreta di una variabile idrologica con una soglia di riferimento, tale soglia è fissa se considero un periodo di riferimento annuale o variabile se il periodo di riferimento è mensile/trimestrale.

Per ogni evento il “Metodo dei run” mi fornisce la durata della siccità, il deficit cumulato e l'intensità; si può anche estendere il ragionamento su regione vasta valutando il deficit in tante sottoaree e confrontando il deficit totale con una soglia

su base regionale. I vantaggi di tale metodo risiedono nella semplicità e nella immediata comprensione del significato fisico; lo svantaggio è che non può essere utilizzato per il monitoraggio ma solo per la caratterizzazione di eventi passati.

1.2.2 Valutazione del rischio

L'obiettivo di questa fase della componente metodologica è quello di fornire metodi per la valutazione del livello di rischio associato alle potenziali conseguenze della siccità in diversi settori e sistemi (Linee Guida 'Medroplan'). La valutazione del rischio dipende dal sistema in esame e considera sia gli aspetti qualitativi definiti tramite la consultazione dei portatori di interesse sia gli aspetti quantitativi legati alla probabilità di occorrenza dei danni. I sistemi interessati da questo tipo di valutazioni sono quelli agricolo, civile, industriale e ambientale; mentre gli impatti che può avere una siccità si dividono in tre categorie: economici ambientali e sociali (Tabella 1.3).

| Settore | Impatto |
|------------|--|
| ECONOMICO | <ul style="list-style-type: none"> Diminuzione della produzione nell'agricoltura, silvicoltura, pesca, energia idroelettrica, turismo, industria, e attività finanziarie che dipendono da questi settori Disoccupazione a seguito della diminuzione della produzione Danno economico per la ridotta navigabilità di fiumi e canali Danno nel settore turistico dovuto alla ridotta disponibilità idrica nell'approvvigionamento idrico e/o nei corpi idrici Pressione sulle istituzioni finanziarie (maggiori rischi nella concessione di prestiti, diminuzioni di capitali, ecc) Riduzione delle entrate per le aziende idriche dovute a ridotte erogazioni Costi delle misure di emergenza per incrementare le risorse e ridurre le domande (costi aggiuntivi per il trasporto e il trasferimento dell'acqua, costi di campagne di informazione per ridurre i consumi, ecc) |
| AMBIENTALE | <ul style="list-style-type: none"> Diminuzione dell'approvvigionamento idrico e peggioramento della qualità d'acqua di superficie o sotterranea Danni agli ecosistemi fluviali, biodiversità e malattie (erosione del suolo, polvere, ridotta copertura vegetativa) Aumento di incendi Mancanza di acqua potabile Aumento della concentrazione salina (in corsi d'acqua, falde sotterranee, aree irrigue) Danni nei laghi naturali e artificiali (pesci, paesaggio, ecc) Danni ai fiumi e agli ecosistemi (flora, fauna) Peggioramento della qualità dell'aria (per esempio polveri inquinanti) |
| SOCIALE | <ul style="list-style-type: none"> Rischi per la salute e la sicurezza pubblica, a causa di aria inquinata e della qualità dell'acqua o dell'aumento degli incendi Aumento dell'inequità sociale, penalizzando diversi gruppi socio-economici Tensioni all'interno della pubblica amministrazione e dei gruppi interessati Cambiamenti nelle prospettive politiche Disagi dovuti al razionamento dell'approvvigionamento idrico Impatti sugli stili di vita (disoccupazione, ridotta capacità di risparmio, difficoltà a mantenere un'adeguata igiene personale, riutilizzo di acqua nelle case, divieto al lavaggio di auto e strade, incertezze sul futuro, diminuzione di attività ricreative, perdita di proprietà) Iniquità nella distribuzione degli impatti della siccità e delle misure di mitigazione Abbandono delle attività ed emigrazione (in casi estremi) |

Tabella 1.3 Impatti; Linee Guida 'Medroplan'.

Per quanto riguarda l'ambito agricolo il rischio è legato alla variabile produzione agricola e per valutarlo bisogna identificare la tipologia di agricoltura in esame, definire le variabili rappresentative e le loro relazioni con gli indici integrando il tutto con una analisi statistica delle relazioni stesse. Viene quindi definita una funzione di rischio che misura la probabilità di superamento di un determinato raccolto; infine si effettua una valutazione di vulnerabilità del sistema.

Se invece si stanno studiando gli effetti della siccità su un sistema d'approvvigionamento idrico l'analisi del rischio è più complessa poiché entrano in gioco diversi elementi e le loro interazioni. In generale nella gestione dei sistemi acquedottistici il problema della siccità è affrontato definendo un livello di rischio accettabile, cioè individuando una percentuale ragionevole di domanda non soddisfatta in condizioni particolarmente sfortunate; infatti cercare il soddisfacimento totale in tutte le condizioni risulterebbe antieconomico. Tale soglia di soddisfacimento parziale si valuta in base alla probabilità, entità e durata del deficit e sui possibili impatti economici.

Vi sono inoltre “semplici indicatori che forniscono informazioni preliminari sul grado di esposizione al rischio di siccità di un sistema di approvvigionamento sono:

- Rapporto tra la domanda idrica e l'afflusso medio al serbatoio. Esso fornisce informazioni sul grado di sviluppo del sistema. Rapporti prossimi a 1 significano probabili incapacità del sistema a soddisfare la domanda, a causa della variabilità interannuale o stagionale delle serie idrologiche.
- Rapporto tra domanda idrica e capacità di accumulo di un serbatoio. Questo indice fornisce informazioni sulla quantità di acqua che il sistema è in grado di fornire.
- Rapporto tra capacità del serbatoio e afflusso medio. Fornisce informazioni sulla capacità del sistema di superare la variabilità dei deflussi (per esempio nei periodi di siccità).
- Rapporto tra domanda idrica annuale e volume correntemente invasato nel serbatoio. Questo indice rappresenta il tempo medio di insuccesso, espresso in anni, qualora vengano trascurati

i deflussi futuri. Fornisce informazioni sul margine di operatività del sistema.”
(Linee Guida ‘Medroplan’)

Studiare il rischio significa inoltre confrontare i miglioramenti ottenibili dall’implementazione di varie misure di mitigazione o prevenzione; in questo tipo di studi si distingue tra lungo e breve periodo. Sul lungo periodo si confronta il rischio relativo allo sviluppo di diverse alternative per ridurre la vulnerabilità del sistema e l’analisi viene effettuata a prescindere dalle condizioni attuali del sistema. Invece nel breve periodo il confronto è tra differenti misure di mitigazione degli implementare quando la siccità sarà già in atto e l’analisi va effettuata a partire dalle condizioni attuali del sistema; per tale ragione vanno sempre aggiornate le condizioni del sistema per rendere affidabile il preannuncio delle siccità.

1.2.3 Valutazione della vulnerabilità

In questa fase si cerca di individuare quali siano le parti del sistema più sensibili ad un eventuale deficit idrico, risulta fondamentale per legare la valutazione degli impatti e le politiche di mitigazione, cioè per indirizzare gli sforzi verso quei settori che sono più a rischio.

I fattori causa di rischio possono essere legati a vari aspetti: infrastrutturali, gestionali, tecnologici, economici, ambientali e sociali. Questi fattori entrano nel calcolo di un indice di vulnerabilità e sono rappresentati da una serie di variabili scelte caso per caso in relazione al sistema in esame.

1.3 Componente operativa

la componente operativa ha lo scopo di identificare le misure a lungo e breve termine da implementare e di definire le modalità attuative; essa comprende vari aspetti: monitoraggio e preannuncio, priorità degli usi, distinzione tra differenti livelli di gravità e relativi obiettivi di gestione, definizione delle misure di mitigazione e implementazione delle misure.

Il monitoraggio e il preannuncio devono fornire un insieme di informazioni aggiornate e affidabili utili per l’identificazione e la previsione di future situazioni deficit idrico. In generale (anche in Italia) la max priorità in condizioni di siccità è garantire un adeguato approvvigionamento idrico per usi domestici, poi si cerca di minimizzare gli impatti sull’economia , sull’ambiente e sul benessere sociale. Le Linnee Guida ‘Medroplan’ propongono una scala di tre differenti livelli di gravità basati sulla valutazione del rischio: pre-allerta, allerta e emergenza. La pre-allerta è

una condizione di rischio moderato che le riserve idriche non siano sufficienti a far fronte alle domande; si è quindi all' inizio di una siccità e si cerca di fronteggiarla con la sensibilizzazione delle utenze. Lo stato di allerta è caratterizzato da un significativo rischio e dalla inevitabilità di futuri danni; in questa situazione si studiano misure di mitigazione degli impatti. Il livello più grave è quello dell'emergenza in cui gli indicatori di siccità mostrano il verificarsi degli impatti ed è a rischio l'approvvigionamento idrico; in questa condizione le misure di mitigazione risultano più costose e restrittive.

Le misure di prevenzione e mitigazione possono essere classificate secondo tre categorie e suddivise tra breve e lungo termine così come mostra la Tabella 4.

| Categoria | Breve termine |
|--|---|
| Riduzione delle domande | Campagne di sensibilizzazione al risparmio idrico |
| | Limitazione di usi urbani (lavaggio auto, irrigazione giardini) |
| | Limitazione dell'irrigazione di colture annuali |
| | Manovre tariffarie |
| | Razionamento delle erogazioni |
| Incremento delle risorse | Incremento dell' efficienza dei sistemi idrici esistenti (ricerca perdite, regole di esercizio, etc.) |
| | Uso di fonti d'emergenza (risorse aggiuntive di scarsa qualità e/o di alto costo) |
| | Sovrasfruttamento acquiferi (uso di riserve strategiche) |
| | Uso di risorse destinate in condizioni normali a scopi ricreativi o ecologici |
| | Cessione temporanea di cessioni idriche |
| Minimizzazione degli effetti della siccità | Riallocazione temporanea delle risorse idriche |
| | Indennizzi pubblici per i danni |
| | Sgravi fiscali (riduzione o rinvio pagamenti) |
| | Programmi di riabilitazione |

| Categoria | Lungo termine |
|--|--|
| Riduzione delle domande | Incentivi per il risparmio idrico |
| | Sistemi di irrigazione e tecniche agronomiche per ridurre i consumi |
| | Introduzione di colture meno idroesigenti o trasformazioni in asciutte |
| | Rete duale di approvvigionamento civile |
| | Riciclo nell' industria |
| Incremento delle risorse idriche | Collegamenti bidirezionali tra sistemi acquedottistici |
| | Riutilizzo di acque reflue depurate |
| | Trasferimenti idrici tra bacini idrografici |
| | Nuovi serbatoi di regolazione o incremento di capacità |
| | Uso di acquiferi come riserve di acqua sotterranee |
| | Dissalazione di acque salate o salmastre |
| | Controllo delle perdite di evaporazione |
| Minimizzazione degli effetti della siccità | Campagne di informazione per migliorare la preparazione alla siccità |
| | Riallocazione delle risorse sulla base di requisiti di qualità |
| | Sviluppo di sistemi di preannuncio monitoraggio |
| | Sviluppo di Piano di emergenza e Piani di gestione di crisi idriche |
| | Assicurazione volontaria |

Tabella 1.4 Misure di mitigazione e prevenzione; Linee Guida 'Medroplan'.

L'attuazione delle misure deve basarsi sulla coordinazione degli enti coinvolti e deve trovare riscontro in una precedente pianificazione sviluppata per fronteggiare situazioni di siccità. Seguendo uno schema proposto dalle Linee Guida 'Medroplan' le Autorità di bacino dovrebbero sviluppare un Piano delle misure a lungo termine per abbassare la vulnerabilità del sistema di approvvigionamento; le Regioni dovrebbero formulare un Piano di Emergenza della siccità e Gli Enti gestori un Piano di prevenzione dell'emergenza idrica entrambi da implementare nel breve periodo e da aggiornare tramite dati di monitoraggio ogni volta che una siccità è incipiente.

1.4 Analisi multicriteriale

L'analisi multicriteriale trova applicazione nella scelta delle misure di lungo e breve periodo da implementare poiché tiene in considerazione anche il consenso dei diretti interessati che risulta di fondamentale importanza nell'ottica di una futura implementazione delle misure.

La prima fase dell'analisi multicriteriale consiste nel valutare la vulnerabilità del sistema nelle sue condizioni attuali, tale valutazione viene effettuata sulla base di serie idrologiche storiche o generate. Successivamente si formulano delle combinazioni di misure a breve e lungo termine in base anche a quelle proposte negli anni precedenti da istituzioni e Enti coinvolti. Tramite delle simulazioni si ordinano le varie alternative sulla base di criteri economici, sociali e ambientali, tale valutazione si basa su una precedente scelta di indici di performance. A questo punto le alternative vengono valutate dai portatori di interesse e si crea così una classificazione delle alternative basata sul maggior consenso. Le combinazioni di misure da implementare si ottengono intersecando i due ordinamenti, quello legato a criteri economico-sociali-ambientali e quello legato al consenso pubblico.

CAPITOLO 2

Misure di prevenzione e mitigazione della siccità

Introduzione

Le linee guida del progetto MEDROPLAN indicano quale deve essere l'organizzazione istituzionale e la pianificazione che serve per prepararsi ad affrontare una condizione di carenza idrica. Descrivono anche quali siano le possibili misure per prevenire i danni o per mitigare gli effetti di una siccità già in atto. In tale ottica vengono distinte misure di lungo o breve periodo.

Ma non è l'unica distinzione possibile, infatti le misure possono riguardare vari settori: agricolo, industriale, ambientale o civile. I decisori devono quindi avere una visione complessiva del problema riguardo a tutto il territorio toccato dall'emergenza, ai settori colpiti e alla gravità della situazione.

Sono necessari Piani che stabiliscano quali misure bisogna prendere a seconda delle informazioni derivanti dal monitoraggio o dai portatori di interesse.

In condizioni non critiche le misure riguardano soprattutto i settori agricolo e industriale, cercando di non creare disagi alle utenze civili. Ma in situazioni più gravi vengono predisposte azioni finalizzate al controllo dell'utilizzo della risorsa idrica da parte dell'utenza; tali azioni possono essere sia legate all'informazione che costrittive.

La recente condizione di carenza idrica che ha interessato l'Emilia Romagna nell'autunno 2007 ha dimostrato come anche in questa parte del territorio sia possibile arrivare a condizioni tali da obbligare i decisori a implementare misure di mitigazione piuttosto pesanti; tra queste vi sono state le riduzioni delle pressioni in alcuni acquedotti al fine di limitare i consumi.

Il progetto MEDROPLAN considera, tra le possibili misure, anche la riduzione delle pressioni nelle reti di distribuzione tra le azioni finalizzate a controllare i consumi.

Questa modalità è particolarmente interessante perché apre delle prospettive di recupero dei volumi, almeno in una fase iniziale in cui il livello di crisi idrica è ancora contenuto, che siano meno impattanti sull'utenza rispetto alla turnazione sia in termini di disagio, sia nel senso di generare comportamenti difensivi quale l'accumulo nelle case di acqua, che finiscono per limitare l'efficacia del provvedimento stesso.

Il controllo della pressione può avvenire con gradualità e può essere effettuato con organi idraulici differenti, ai quali corrispondono risposte diverse da parte della rete e un diverso recupero del volume.

Vista anche la recente esperienza emiliano romagnola, la tesi analizza su base modellistica le modalità con cui si possono ridurre le pressioni, prendendo come

esempio un settore della rete di distribuzione della città di Forlì, in cui nel 2007 era stata programmata la riduzione delle pressioni per l'emergenza siccità.

2.1 Misure di prevenzione e di mitigazione

Il progetto MEDROPLAN oltre a descrivere l'organizzazione più adatta ad affrontare una siccità descrive quali sono le misure da implementare a seconda che si consideri il breve o il lungo periodo.

Nella Tabella 2.1 sono riportate le azioni da implementare con riferimento alle finalità e al sistema a cui si applicano.

| Strategia | Sistema | Azione |
|-----------------------------------|---|---|
| MISURE DI LUNGO PERIODO | | |
| Gestione della domanda | Sistemi di manutenzione e di gestione Pratiche di risparmio idrico e di gestione | L'adozione di orari di erogazione in sistemi in pressione Prezzi dell'acqua |
| | Risparmio idrico in agricoltura | Legislazione e regolamentazione Informazione e educazione Riciclaggio delle acque Coltura resistenza a stress idrico e poco idroesigenti Gestione delle colture Gestione del suolo Migliorare l'irrigazione di superficie Migliorare i sistemi di irrigazione Sistemi di microirrigazione Irrigazione programmata L'adozione prezzi dell'acqua che inducano gli agricoltori a risparmiare Informazione agli utenti e agli agricoltori La partecipazione degli agricoltori nelle decisioni per modificare gli orari di consegna dettati dalla fornitura limitata |
| Gestione degli impatti | Pianificazione di contingenza Azioni di emergenza per mitigare gli impatti della siccità | Sistemi di allarme rapido Assicurazione di sviluppo |
| Gestione degli approvvigionamenti | Ravvenamento artificiale di tutti i corpi idrici | Terrazzamenti Piccole dighe (azienda agricola di stagni) Valorizzazione del runoff Raccolta del runoff |
| | Alimentazione di emergenza per la siccità di mitigazione | Sviluppare l'uso congiunto |

| | | |
|--|--|---|
| | | Rafforzare l'uso di acque non convenzionali Previsioni idrologiche e sistemi di monitoraggio della siccità Ravvenamento delle acque sotterranee Aggiornamento del monitoraggio dei serbatoi Applicazione di ottimizzazione, rischio, decisione e modelli Necessità di serbatoi Gestione di un unico grande serbatoio |
| Usò delle acque sotterranee e ricaricare Migliorare il funzionamento dei serbatoi | | |
| Gestione dei serbatoi | | |
| Conservazione di acqua, sistemi di manutenzione e di gestione | | Migliorare i sistemi di distribuzione e di trasporto Il monitoraggio e la misurazione nei sistemi di approvvigionamento idrico e di distribuzione L'uso dei sistemi di informazione e delle tecnologie moderne Manutenzione urbana di sistemi di approvvigionamento idrico Reti di distribuzione duali di alta qualità e per il trattamento delle acque riutilizzabili Migliore regolamentazione e controllo Automazione e controllo remoto nel canale di gestione L'adozione di distribuzioni a bassa pressione Fornitura basata sugli orari di consegna Stoccaggio intermedio Sistemi di informazione Applicazione di strumenti di ottimizzazione per l'assegnazione dell'acqua e per pianificare le consegne Sistemi efficaci di manutenzione Misurazione dell'acqua Monitoraggio La valutazione delle prestazioni del sistema Formazione del personale per gli interventi, la manutenzione e la gestione Misure di conservazione dell'acqua per la prepararsi alla siccità |

MISURE DI LUNGO/BREVE PERIODO

Gestione degli approvvigionamenti Uso di risorse non convenzionali Trasferimenti di acqua

MISURE DI BREVE PERIODO

Gestione della domanda Pratiche di risparmio idrico e di gestione Incentivi e sanzioni
Immediata campagna per il

| | | |
|-----------------------------------|--|--|
| | | risparmio idrico Restrizioni nell'utilizzo dell'acqua |
| Gestione degli impatti | Indennità per la perdita di reddito Aiuti pubblici Riduzione fiscale e pagamento rimborsi Riassegnazione temporanea di acqua | |
| Gestione degli approvvigionamenti | Stoccaggi di acqua alternativi Controllo delle perdite di acqua Alimentazione di emergenza per la mitigazione della siccità Uso delle acque sotterranee e ricaricare Uso non di risorse non convenzionali Conservazione di acqua, sistemi di manutenzione e di gestione La raccolta di acqua | Serbatoi Rilevamento delle perdite e riparazione Posizione delle perdite Trasferimento di diritti sull'acqua Uso di acqua di bassa qualità e il riutilizzo delle acque reflue Uso delle acque sotterranee / sovrasfruttamento La raccolta di acqua Riduzione delle perdite di acqua Raccolta delle acque piovane Vincoli sull'uso ricreativo o di rilassamento ecologico Riduzione dell'evaporazione Cambiare attrezzature di rilascio dai serbatoi Canale con fianchi |

Tabella 2.1 Misure contro la siccità. Linee Guida “MEDROPLAN”

Dalla Tabella 2.1 si nota come le misura riguardino diversi settori e come la loro implementazione debba unire conoscenze scientifiche, sociali, economiche, ambientali e politiche dell'area in esame.

Molta importanza è data alla relazione tra pubblico e privato, cioè al dialogo tra le due parti e soprattutto alle modalità di diffusione delle informazioni. Infatti il rischio è che le utenze cerchino di raggiungere i loro scopi senza avere una visione comunitaria e senza percepire correttamente l'approssimarsi di una situazione di carenza idrica; per favorire un corretto comportamento dei privati è quindi necessario informali della necessità di risparmiare acqua; in particolare soprattutto le azioni preventive necessitano dell'appoggio del utenza.

Fondamentale per evitare condizioni di crisi è la manutenzione delle condotte e una corretta gestione della risorsa anche in periodi di normalità meteorologica. Queste misure preventive, così come l'interconnessione sistemi idrici, il contenimento dei livelli di perdita idrica, il corretto dimensionamento degli accumuli, rivelano la loro utilità in condizioni di emergenza.

Nel caso in cui la carenza d'acqua sia pesante non basta però solo un comportamento consapevole e corretto delle utenze, ma si deve ricorrere a misure più drastiche. Nel caso dei sistemi di distribuzione di acqua potabile tali azioni possono essere:

- innalzamento delle tariffe;
- divieto di lavare auto o innaffiare giardini;
- utilizzo di nuove fonti;
- utilizzo di fonti dismesse;
- realizzazione di nuove infrastrutture, come serbatoi o condotte;
- controllo delle pressioni in rete;
- turnazione.

Ogni tipo di intervento produce riflessi diversi variazioni sulla quantità e qualità dell'acqua e va studiato a seconda delle necessità di risparmio e delle caratteristiche della rete.

Per scegliere un buon mix di misure di lungo e breve periodo non si ci può affidare a soli confronti economici, ma bisogna utilizzare analisi multicriteriali che prendano in considerazione anche gli impatti socio-ambientali. Per poter effettuare un'analisi consistente è inoltre necessario in generale migliorare la conoscenza dei sistemi idrici, relativamente alla domanda idropotabile ed al comportamento idraulico della rete.

Il progetto MEDROPLAN considera tra le possibili misure di riduzione della domanda idropotabile anche la riduzione delle pressioni nelle reti di distribuzione quale azione finalizzata a controllare i consumi, un tipo di misura costringitiva, ma che se attuata coscientemente può non infastidire troppo le utenze e al contempo garantire buoni guadagni in termini di volumi recuperati.

Sulla base di tali indicazioni, si è scelto di analizzare su base modellistica gli effetti della riduzione di pressioni di un settore della rete di distribuzione di Forlì, Vecchiazzano, dotato di un sistema di telelettura che permette di avere una ottima conoscenza della domanda.

2.2 Stato di emergenza idrica in Emilia Romagna nel 2007

Il 4 maggio 2007 è stato dichiarato lo stato di emergenza per la regione Emilia Romagna ed è stato predisposto un Piano di interventi per far fronte alla crisi idrica e limitare i danni da essa causati.

La scarsità d'acqua può essere collegata alle scarse precipitazioni negli ultimi tre mesi del 2006 e al perseverare di una condizione meteorologica che non ha permesso la normale ricarica delle falde e degli invasi; il risultato è stata un deficit del 30/40 % della risorsa idrica.

In effetti, le siccità hanno origine e si sviluppano lungo archi temporali sempre pluriennali, caratterizzati da scarsa piovosità; questa condizione, unita alla crescita della domanda, rende i sistemi acquedottistici molto vulnerabili.

Grazie al sistema di monitoraggio sono stati raccolti molti dati relativi alle condizioni idro-meteorologiche della Regione, utilizzati per calcolare indici come SPI, Decili, 'acqua disponibile' e deficit traspirativo. Sul fronte dei deflussi, sono state inoltre monitorate le portate del Po in diverse sezioni, quelle del Reno a Casalecchio e i livelli degli invasi, in particolare quello di Ridracoli che assicura l'approvvigionamento idropotabile ad ampie zone della Romagna.

Per avere una visione più chiara della dislocazione geografica delle aree in deficit idrico si ci avvale di rappresentazioni come quelle riportate in Figura 2.1 e 2.2.

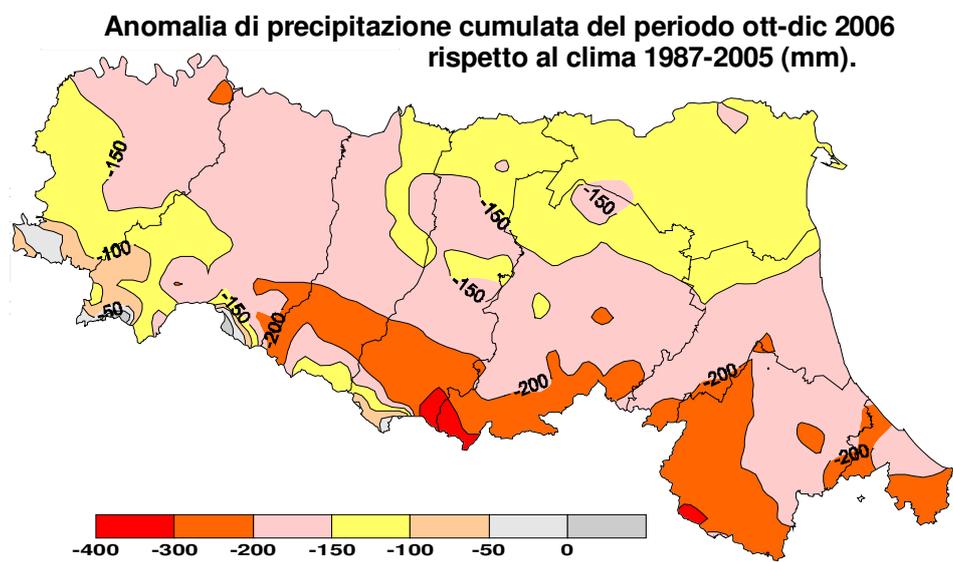


Figura 2.1 Anomalia di precipitazione. Piano degli interventi urgenti per fronteggiare la crisi idrica 15 Giugno 2007 (Agenzia Regionale di Protezione Civile e Direzione Generale Ambiente Difesa del Suolo e della Costa).

**Standardized Precipitation Index - 12 mesi
- Giugno 2007**

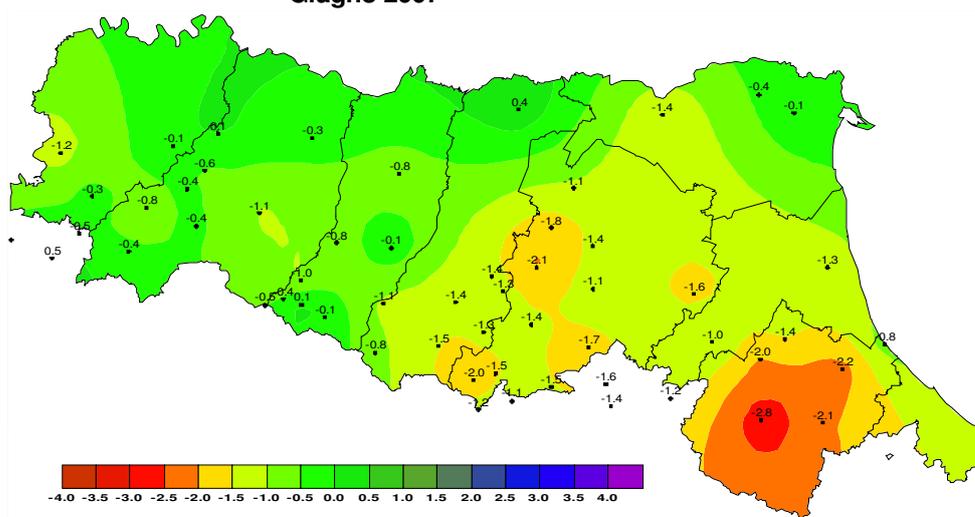


Figura 2.2 Indice SPI. Piano degli interventi urgenti per fronteggiare la crisi idrica 15 Giugno 2007 (Agenzia Regionale di Protezione Civile e Direzione Generale Ambiente Difesa del Suolo e della Costa).

Anche solo grazie ai due grafici riportati ci si accorge di quali siano state le aree più colpite, cioè quelle orientali e quelle appenniniche.

Nelle zone appenniniche le situazioni peggiori si registrano nelle comunità poste a maggiore altitudine dove gli acquedotti sono riforniti da deboli sorgenti senza serbatoi molto vulnerabili alle variazioni di piovosità.

L'area di Ferrara è rifornita principalmente da acqua prelevata dal po' che nel 2007 ha fatto registrare portate particolarmente basse limitando quindi la portata derivabile. Le aree più critiche sono state comunque quelle romagnole come Ravenna, Rimini, Cesena e Forlì anche per l'afflusso turistico molto rilevante in estate. Queste zone sono rifornite principalmente dall'invaso di Ridracoli che in quel periodo era al di sotto del minimo storico come mostra la Figura 2.3.

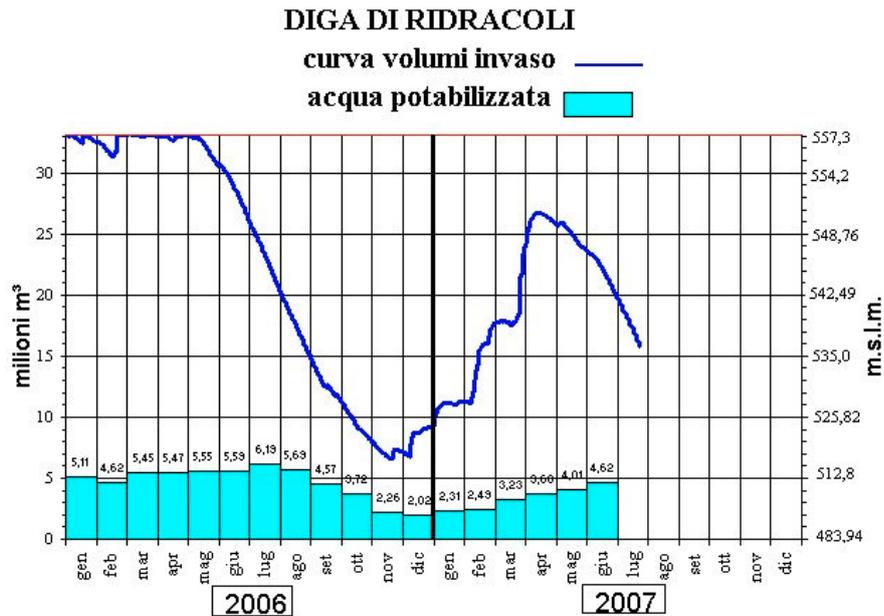


Figura 2.3 Indice SPI. Piano degli interventi urgenti per fronteggiare la crisi idrica 15 Giugno 2007 (Agenzia Regionale di Protezione Civile e Direzione Generale Ambiente Difesa del Suolo e della Costa).

Gli interventi da attuare proposti nel Piano degli interventi urgenti del 15 Giugno 2007 sono tutti di breve termine e diversificati a seconda delle aree, ma possono essere classificati come di seguito:

- rifornimenti tramite cisterne;
- sostituzione e riabilitazione di condotte;
- nuovi serbatoi o espansione degli esistenti;
- potenziamento dei sistemi di adduzione e distribuzione;
- utilizzo di fonti alternative (nuove prese e pozzi);
- riduzioni delle pressioni (Modena e Forlì-Cesena);
- riduzione dei prelievi dagli invasi più deficitari;
- divieto di innaffiare giardini, lavare auto e riempire piscine.

Nel Piano degli interventi urgenti del 15 Giugno 2007 viene fatto esplicito riferimento alle riduzioni delle pressioni nell'area di Forlì e proprio in relazione a tale provvedimento le simulazioni verranno sviluppate al fine di studiare quali livelli di riduzione sia possibile effettuare senza danneggiare troppo le utenze e soprattutto quali valvole si meglio utilizzare.

CAPITOLO 3

Simulazione numerica delle reti di distribuzione guidata dalla pressione in InfoWorks WS

Introduzione

InfoWorksWS è un codice di calcolo finalizzato alla simulazione dei sistemi acquedottistici; l'utente può utilizzare tale programma per progettare nuove reti o parti di esse, per simulare misure di gestione della rete oppure per studiare gli effetti di particolari condizioni di funzionamento dell'acquedotto. InfoWorksWS permette di effettuare delle simulazione sotto molteplici condizioni quali regolazioni di pressioni, incendio, scarsità idrica o disservizi; i risultati definiscono lo stato sia idraulico che qualitativo della rete analizzata.

La rete è modellata con rami a nodi, deve essere descritta la domanda e i controlli che descrivono il comportamento degli organi idraulici. I rami possono essere: tubazioni, valvole, misuratori o pompe; mentre i nodi possono essere: semplici nodi, punti a carico fisso, nodi di trasferimento, serbatoi, idranti o sorgenti.

Tutti questi dati vengono salvati all'interno di un database e organizzati per categorie di informazioni, così da permettere di combinare la stessa rete con condizioni differenti.

Durante la simulazione, il programma risolve per ogni istante di tempo il sistema formato dalle equazioni di continuità ai nodi e di moto nei rami considerando che la domanda venga soddisfatta in ogni punto della rete anche se si dovesse finire in depressione; cioè elabora una simulazione guidata dalla domanda. Questo modalità di calcolo permette di studiare correttamente tutte le situazioni in cui le pressioni sono effettivamente in grado di soddisfare la domanda, quindi in condizioni di funzionamento normale di reti in cui i carichi siano sufficienti ad assicurare il prelievo degli utenti.

In condizioni critiche, potrebbe succedere che le pressioni in rete scendano al di sotto di quelle normali o nominali, ciò causa nella realtà una minor capacità di prelievo da parte delle utenze. Per poter simulare correttamente tali situazioni si fa ricorso alle simulazioni guidate dalla pressione, nelle quali il prelievo ai nodi e le perdite idriche variano in funzione della pressione presente ad ogni nodo della rete di distribuzione.

InfoWorksWS permette di effettuare questo tipo di calcolo utilizzando una modalità avanzata denominata 'Pressure Related Demand' (PRD).

3.1 Simulazione guidata dalla pressione

La simulazione guidata dalla pressione ottiene dei risultati basati sul fatto che le portate erogate ai nodi e le perdite idriche dipendono dalle pressioni che vi sono in rete; InfoWorksWS utilizza le seguenti relazioni:

1) Formula per la domanda:

$$Q_{D(\text{attuale})} = [(Q_{D(\text{nominale})} \times \%_D) \times F_D] + [Q_{D(\text{nominale})} \times (100\% - \%_D)]$$

dove:

$\%_D$: percentuale di domanda che varia con la pressione;

F_D : fattore moltiplicatore della domanda;

$Q_{D(\text{attuale})}$: portata erogata al nodo;

$Q_{D(\text{nominale})}$: portata richiesta dall'utenza.

2) Formula per le perdite idriche:

$$Q_{P(\text{attuale})} = [(Q_{P(\text{nominale})} \times \%_P) \times F_P] + [Q_{P(\text{nominale})} \times (100\% - \%_P)]$$

Dove:

$\%_P$: percentuale di perdite che varia con la pressione;

F_P : fattore moltiplicatore delle perdite;

$Q_{P(\text{attuale})}$: perdita al nodo;

$Q_{P(\text{nominale})}$: perdita in condizioni di normale funzionamento.

Come si evince dalle formule, vi è la possibilità di definire una percentuale di domanda o/e di perdita idrica che non varia con la pressione, in modo da dare maggior veridicità possibile alla simulazione.

I fattori moltiplicatori che figurano nelle formule sono funzioni della pressione nominale e della pressione in rete nell'istante di simulazione che si sta calcolando; tali funzioni possono essere rappresentate da curve che mostrano la relazione tra il

rapporto delle pressioni $\frac{P_{\text{attuale}}}{P_{\text{no min ale}}}$ e il fattore moltiplicatore F.

Il pedice 'attuale' nelle formule indica che la grandezza considerata è quella relativa alla simulazione guidata dalla pressione; invece, il pedice 'nominale' identifica il

valore di una grandezza in condizioni di normale funzionamento e quindi legate a una simulazione guidata dalla domanda, nell'ipotesi che nella condizione normale la pressione sia sufficiente a garantire il prelievo degli utenti. Questo di fatto è un concetto relativo, visto che nelle diverse realtà acquedottistiche abbiamo condizioni medie di pressioni molto differenti. Quindi se la $P_{attuale} \leq P_{no\ min\ ale}$ allora avremo una $Q_{attuale} \leq Q_{no\ min\ ale}$.

InfoWorksWS per poter effettuare i calcoli ha quindi bisogno di conoscere per ogni nodo e per ogni step di simulazione la pressione nominale al nodo. Si effettua una prima simulazione che fissa quali siano le condizioni di normale funzionamento della rete, che garantiscono alle utenze il totale soddisfacimento della richiesta idrica. Dopo di che si attribuiscono le pressioni così ricavate ai vari nodi; queste sono le pressioni nominali che verranno considerate nelle simulazioni guidate dalle pressioni. Per fare ciò vi è un apposito comando; inoltre nella preparazione della simulazione vanno inseriti come dati i risultati di una precedente simulazione in condizioni normali, dai quali il programma ricava le pressioni nominali.

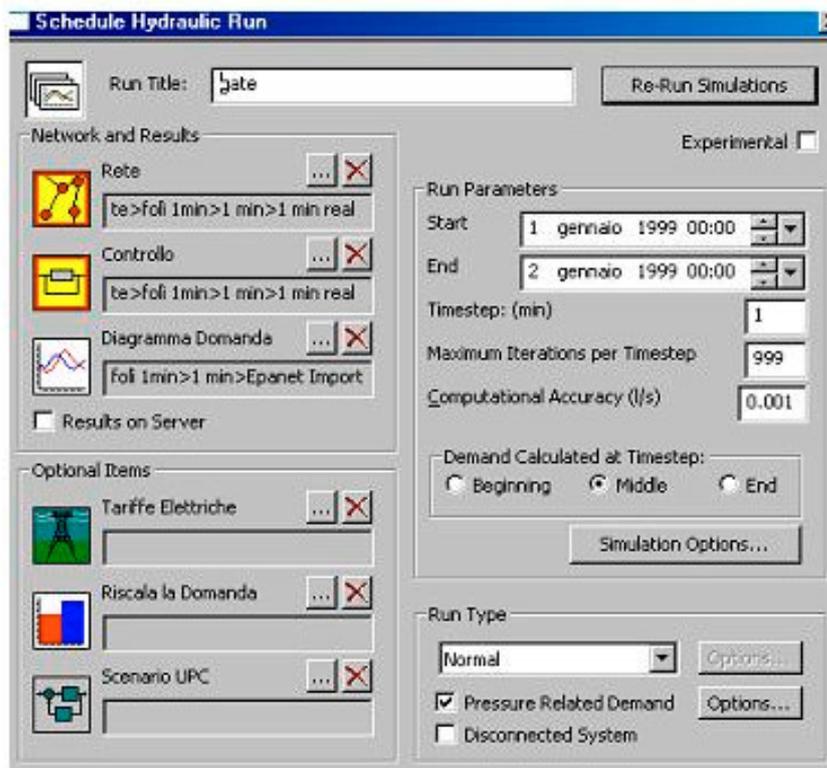


Figura 3.1 Griglia di simulazione; InfoWorksWS.

Per fare sì che InfoWorksWS utilizzi la modalità PRD ('Pressure Related Demand') bisogna selezionare l'apposita casella nella griglia di simulazione come raffigurato in Figura 3.1.

Come si può vedere dall'immagine, si può definire anche un'accuratezza di calcolo (consigliata para a 1% delle portate misurate) e il numero di iterazioni (tra 1 e 999). Normalmente durante la simulazione per calcolare il fattore moltiplicatore della domanda il programma utilizza come $P_{attuale}$ quella calcolata al passo temporale precedente; però così facendo si commette una imprecisione tanto maggiore quanto maggiore è la differenza tra le pressioni misurate in due intervalli consecutivi. Per superare questo limite tra le opzioni di simulazione si può scegliere 'Use iterative Pressure Related Demand'. Sotto tale condizione il programma utilizza come $P_{attuale}$ la pressione dell'istante che sta simulando tramite un procedimento iterativo che termina nel momento in cui l'errore risulta inferiore all'accuratezza definita precedentemente nella griglia di simulazione.

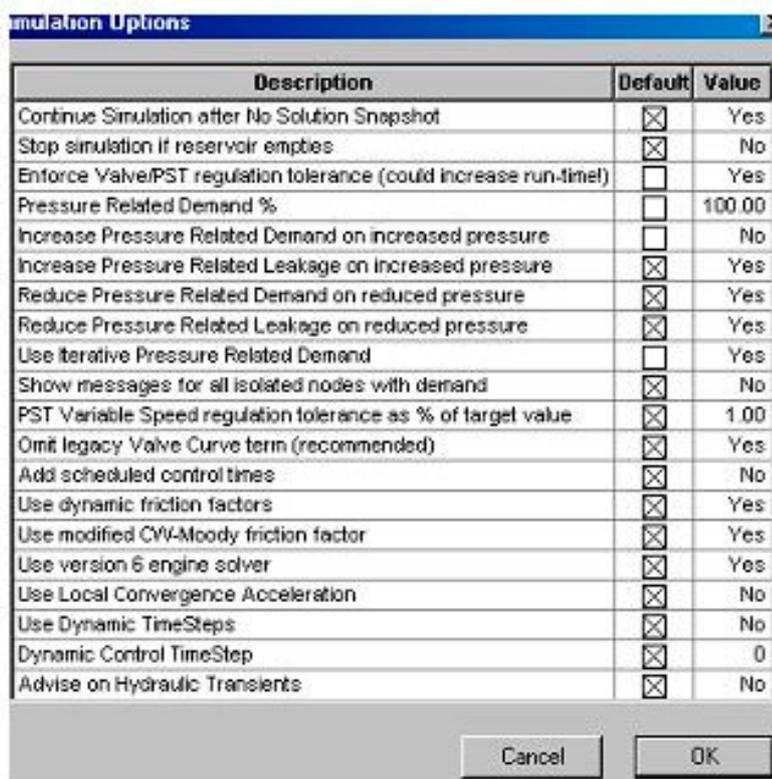


Figura 3.2 Opzioni di simulazione; InfoWorksWS

Sempre tra le opzioni di simulazione si può scegliere la percentuale di domanda e di perdita da assoggettare alla PRD e alcune limitazioni all'applicazione delle curve che legano pressione e portate erogate, come si può osservare in Figura 3.2.

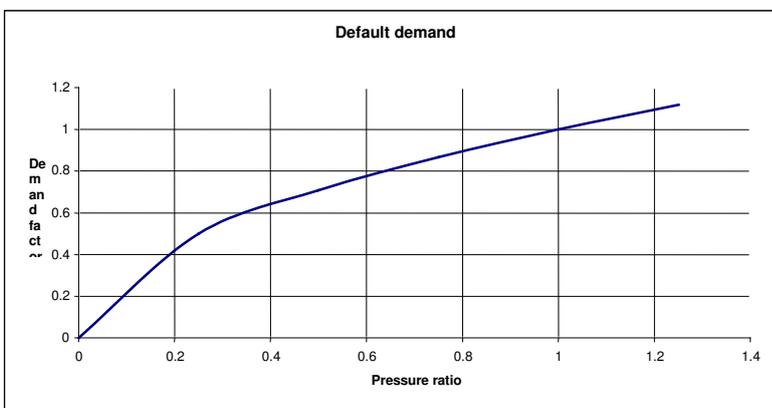
3.2 Curve PRD

InfoWorksWS permette di scegliere quali funzioni utilizzare per relazionare il fattore moltiplicatore F al rapporto $\frac{P_{\text{attuale}}}{P_{\text{no min ale}}}$; possono essere selezionate sei curve differenti già memorizzate nel programma o si possono inserire altre curve definite dall'utente in un apposita griglia.

Le curve proposte sono:

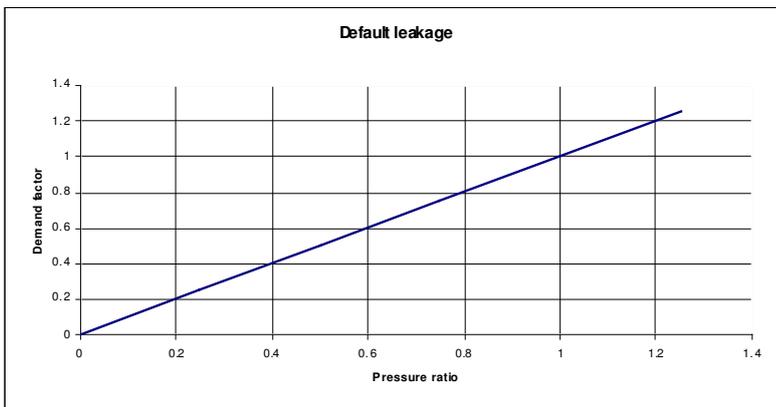
$$\text{Default demand: } F = \left(\frac{P_{\text{attuale}}}{P_{\text{no min ale}}} \right)^{0.5}$$

| Pressure Ratio | Demand Factor |
|----------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 0.25 | 0.5 |
| 0.5 | 0.7071 |
| 0.75 | 0.866 |
| 1 | 1 |
| 1.25 | 1.118 |



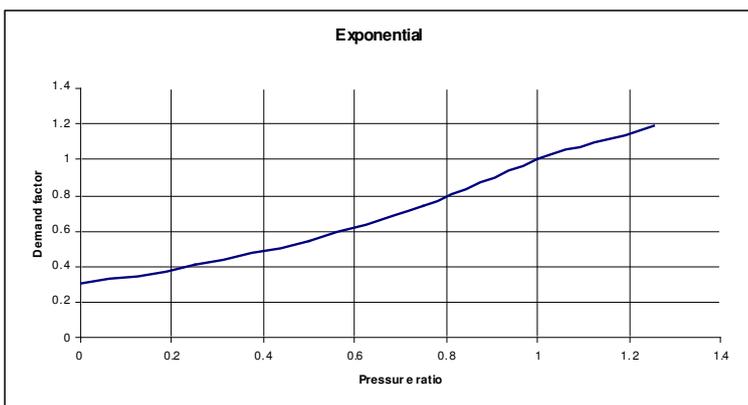
Default leakage: $F = \left(\frac{P_{\text{attuale}}}{P_{\text{no min ale}}} \right)$

| Pressure Ratio | Demand Factor |
|----------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 0.25 | 0.25 |
| 0.5 | 0.5 |
| 0.75 | 0.75 |
| 1 | 1 |
| 1.25 | 1.25 |



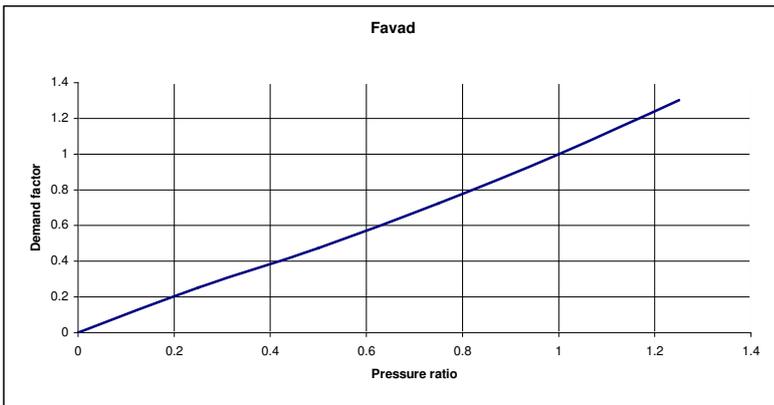
Exponential: $F = \frac{e^{s \cdot P_{\text{attuale}}}}{e^{s \cdot P_{\text{no min ale}}}}$ con $s = 0.0135$ se $P > 50$ m e $s = 0.0240$ se $P < 50$ m

| Pressure Ratio | Demand Factor |
|----------------|---------------|
| 0 | 0.3012 |
| 0.25 | 0.4066 |
| 0.5 | 0.5488 |
| 0.75 | 0.7408 |
| 1 | 1 |
| 1.25 | 1.1838 |



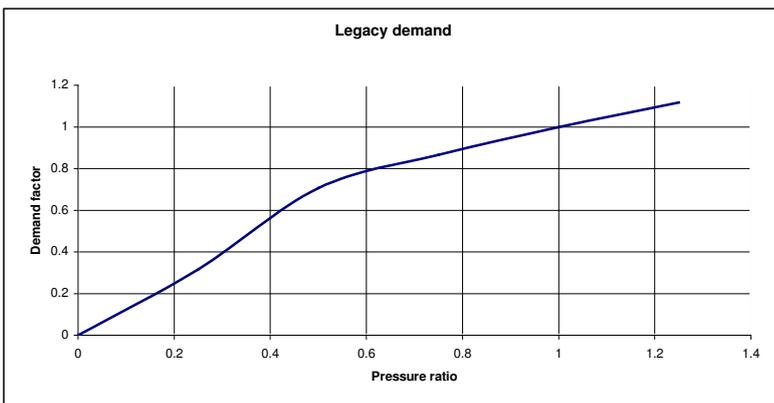
$$\text{Favad: } F = \frac{[1.5 * P_{\text{attuale}}] + [25.9 * P_{\text{attuale}}^{0.5}]}{[1.5 * P_{\text{no min ale}}] + [25.9 * P_{\text{no min ale}}^{0.5}]}$$

| Pressure Ratio | Demand Factor |
|----------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 0.25 | 0.253 |
| 0.5 | 0.4742 |
| 0.75 | 0.7234 |
| 1 | 1 |
| 1.25 | 1.3022 |



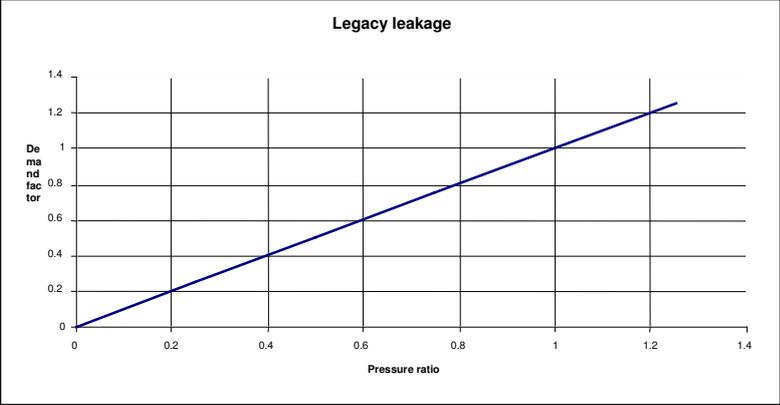
Legacy demand:

| Pressure Ratio | Demand Factor |
|----------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 0.25 | 0.316 |
| 0.5 | 0.707 |
| 0.75 | 0.866 |
| 1 | 1 |
| 1.25 | 1.118 |



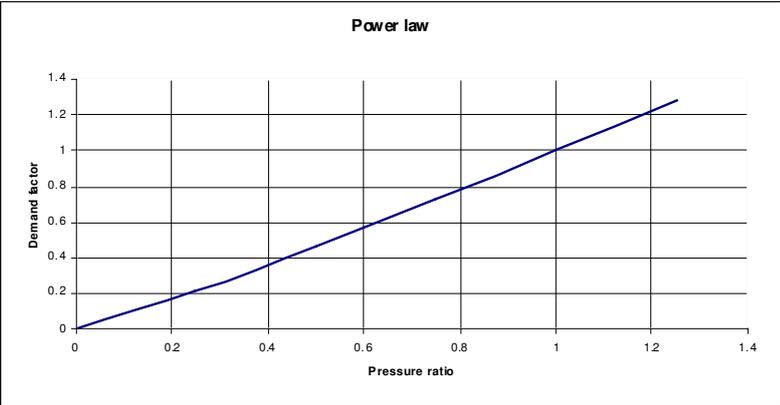
Legacy leakage:

| Pressure Ratio | Demand Factor |
|----------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 1 | 1 |



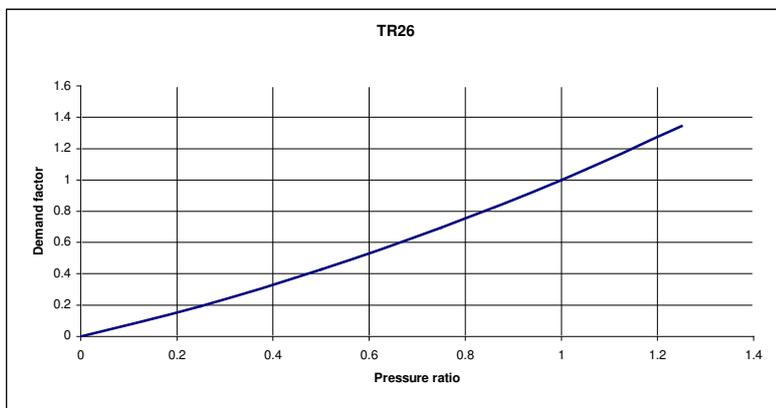
Power law: $F = \left(\frac{P_{attuale}}{P_{no\ min\ ale}} \right)^{1.118}$

| Pressure Ratio | Demand Factor |
|----------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 0.25 | 0.2123 |
| 0.5 | 0.4607 |
| 0.75 | 0.725 |
| 1 | 1 |
| 1.25 | 1.2834 |



$$\text{TR26: } F = \frac{0.5 * P_{\text{attuale}} + 0.0042 * P_{\text{attuale}}^2}{0.5 * P_{\text{no min ale}} + 0.0042 * P_{\text{no min ale}}^2}$$

| Pressure Ratio | Demand Factor |
|----------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 0.25 | 0.1945 |
| 0.5 | 0.4261 |
| 0.75 | 0.6945 |
| 1 | 1 |
| 1.25 | 1.3424 |



E' stata inoltre introdotta dall'esterno una curva particolarmente diffusa tra quelle proposte in letteratura tratta da "Comparison of Methods for Predicting Deficient-Network Performance" di R. Gupta e P. R. Bhave (1996) e prosposta da Wagner et al. (1988) e Chandapillai (1991) in una forma analoga:

$$\left\{ \begin{array}{ll} Q_{\text{attuale}} = Q_{\text{nominale}} & \text{per } P_{\text{attuale}} \geq P_{\text{no min ale}} \\ Q_{\text{attuale}} = Q_{\text{nominale}} \times \left(\frac{P_{\text{attuale}} - P_{\text{minima}}}{P_{\text{nominale}} - P_{\text{minima}}} \right) & \text{per } P_{\text{no min ale}} < P_{\text{attuale}} < P_{\text{minima}} \\ Q_{\text{attuale}} = 0 & \text{per } P_{\text{attuale}} \leq P_{\text{minima}} \end{array} \right.$$

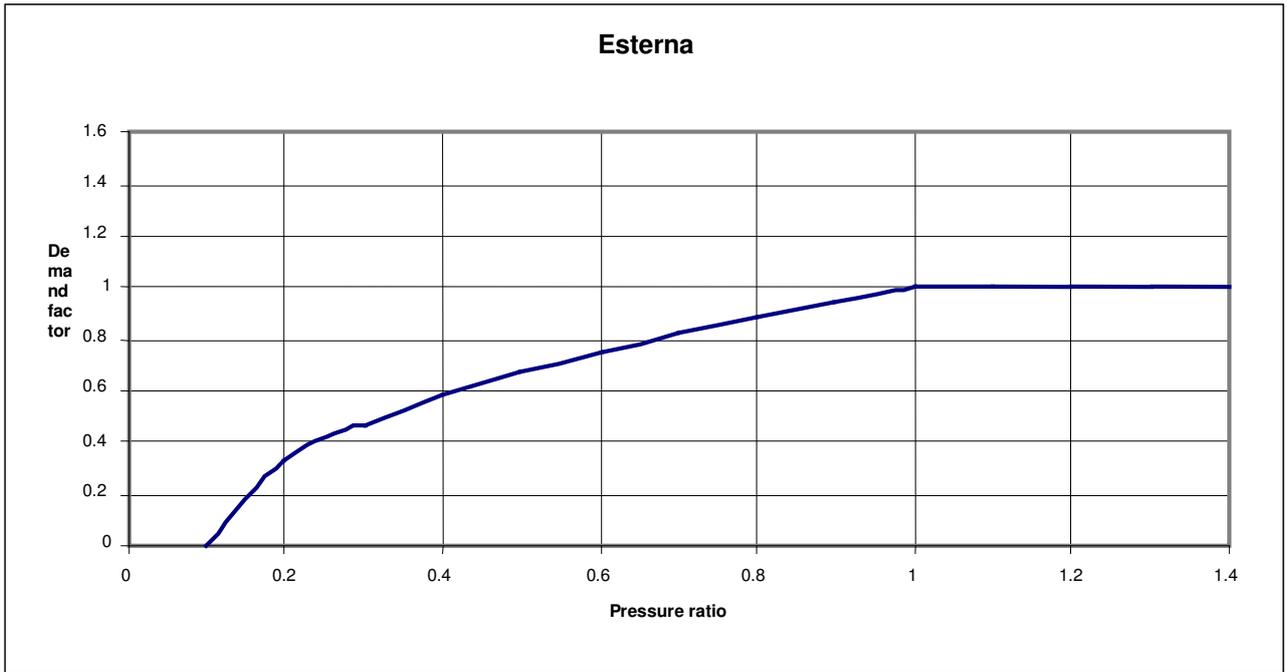


Figura 3.3 Curva esterna

3.3 Analisi di sensitività

3.3.1 Caratteristiche della rete



Figura 3.4 Rete di Vecchiazzano

La rete in Figura 3.3 è quella scelta per le simulazioni e rappresenta l'acquedotto del settore Vecchiazzano della rete di distribuzione di Forlì. Tale scelta è motivata dalla possibilità di conoscere dettagliatamente la domanda grazie ad un sistema di telelettura dei consumi che è installato in questa area.

Il sistema di telelettura utilizzato è di tipo AMR (Automatic Meter Reading), per cui i dati sono recapitati direttamente dal contatore nella sede del gestore. Il sistema scelto consente inoltre di acquisire i dati tramite dispositivo mobile (RMR – Remote Meter Reading). L'architettura del sistema, sintetizzata in figura 3.5, prevede l'utilizzo di diversi componenti.

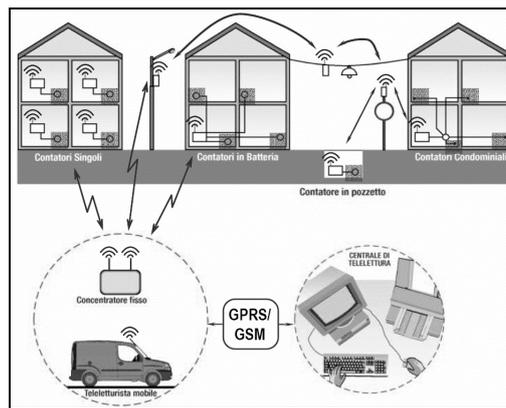


Figura 3.5 Architettura del sistema di telelettura

Ad eccezione dei contatori, per i quali si è deciso di adottare standard comunemente utilizzati nei sistemi presso le aziende distributrici e quindi direttamente reperibili sul mercato, le componenti del sistema sono:

- lanciaimpulsi, dispositivo che invia un segnale alla centralina per ogni unità di volume transitata nel contatore;
- centralina di memorizzazione delle letture agli intervalli di tempo prefissati dall'operatore e di trasmissione ai dispositivi di raccolta: concentratore e terminale mobile, anche tramite ripetitori;
- concentratore che svolge le funzioni di raccolta dati dalle singole centraline e di programmazione delle stesse in base ai parametri ricevuti dalla centrale di telelettura;
- ripetitore che consente di aumentare la distanza della comunicazione tra la centralina ed il concentratore;
- sistema informativo centrale che garantisce la gestione del servizio di telelettura, attraverso la programmazione e la raccolta dai dati dalle periferiche di cui ai punti precedenti;

terminale mobile costituito da un pc palmare, e da un radiomodem collegato su porta seriale. In fase di installazione detto terminale svolge la funzione di "settaggio" delle centraline. In fase di lettura può essere utilizzato in alternativa al concentratore.

Il maggior dettaglio sulla conoscenza temporale dei consumi delle utenze reso disponibile da questa tecnologia può senz'altro offrire ulteriori sviluppi rispetto alle normali funzionalità di fatturazione automatica, passando attraverso la sincronizzazione delle letture la possibilità di redigere il bilancio idrico per intervalli di tempo assolutamente minori rispetto alla cadenza usuale annuale.

(Tratto da 'Approccio pre-attivo per il controllo delle perdite idriche con monitoraggio in telelettura; T. Liserra, S. Artina, C. Bragalli, C. Anzalone, G. Leoni, D. Giunchi').

La rete di distribuzione di Vecchiazano è di nuova costruzione e quindi le perdite idriche sono praticamente nulle nella realtà, così sono state introdotte perdite fittizie per rendere più generica l'applicazione di InfoWorksWS e per attivare le varie funzionalità del programma. Le perdite idriche sono state distribuite in maniera uniforme, sui i nodi di allaccio e di incrocio, ipotizzando che il totale delle perdite risulti essere pari al 10,103% del volume totalmente immesso in rete in un giorno. Considerando come giorno di riferimento il 16 Settembre 2006 l'andamento della curva di domanda è raffigurato di seguito:

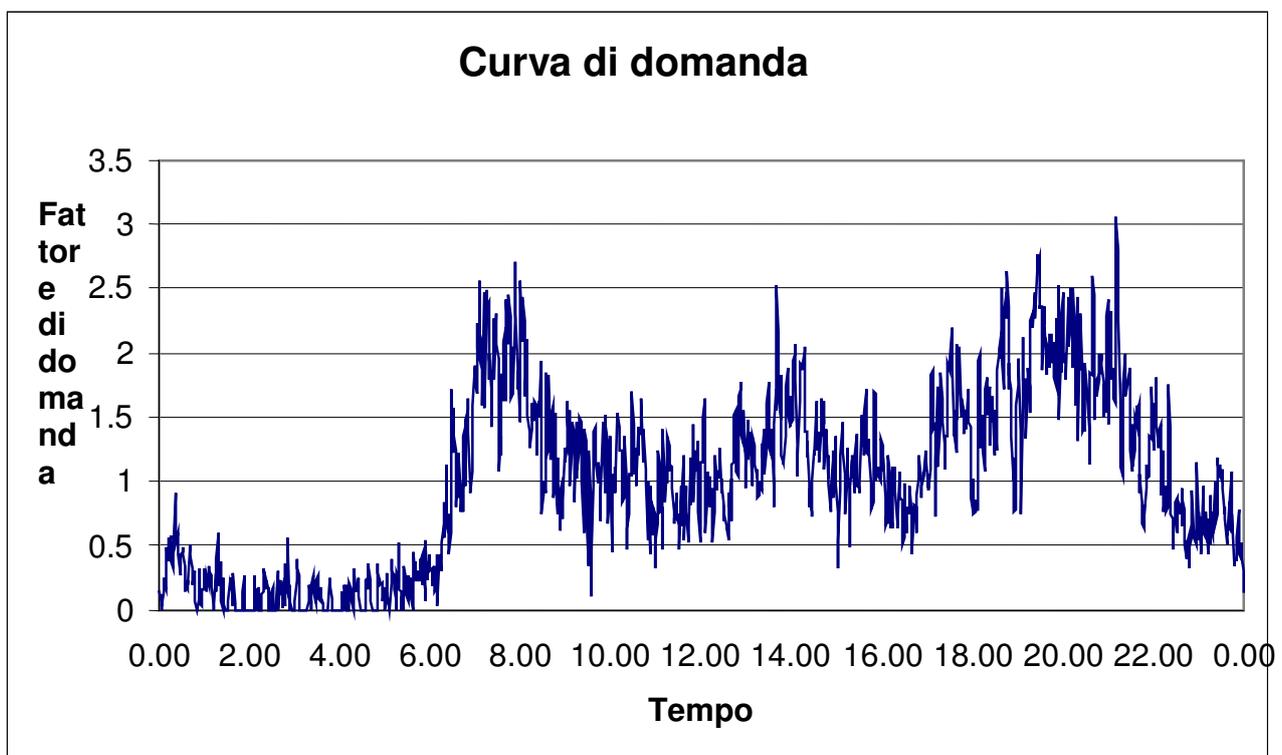


Figura 3.6 Curva di domanda

Le perdite idriche, invece, sono state assunte con diagramma costante, cioè in condizioni normali si ipotizza per semplicità che le portate perse non varino di entità durante l'arco della giornata.

Dopo avere effettuato una simulazione in condizioni di funzionamento della rete normale senza perdite idriche si è trovato un volume immesso pari a 70842.01 l, quindi la somma delle singole perdite è stata assunta pari a 7157.264 l e distribuita sui nodi, come evidenziato in Figura 3.4.

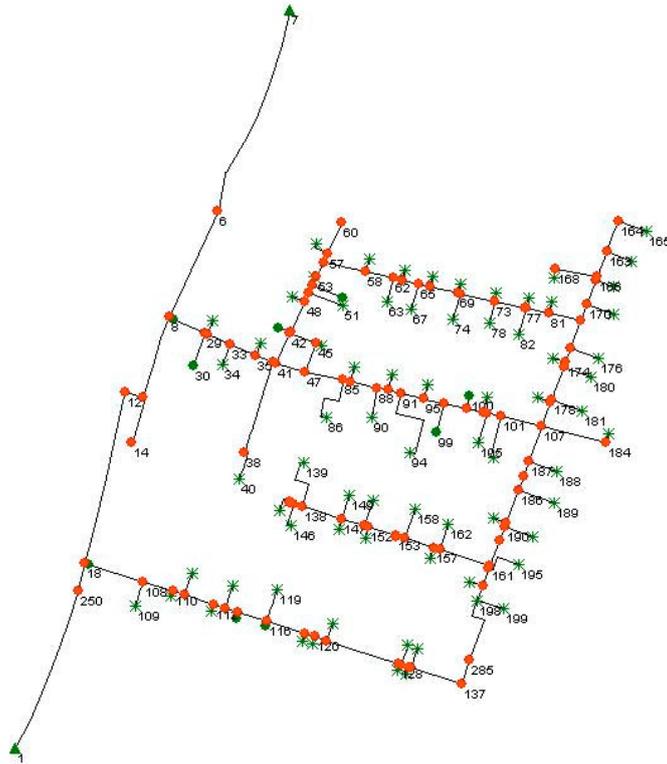


Figura 3.7 Distribuzione delle perdite

I puntini rossi rappresentano i nodi di perdita mentre gli altri sono nodi di prelievo di utenze costituite essenzialmente da abitazioni non condominiali.

3.3.2 Analisi di sensitività

L'obiettivo di questa analisi è evidenziare quali siano le differenze che sorgono simulando il funzionamento della rete in condizioni di riduzione delle pressioni al variare delle curve. Per ottenere tale risultato si fissano dei livelli di pressione modificando le quote dei due serbatoi a carico fisso che definiscono le condizioni al contorno in ingresso al settore di Vecchiazano (Fixed Head ai nodi 1 e 7) e, con le stesse condizioni, si ripete la simulazione combinando ogni volta curve PRD diverse per domanda e perdita idrica.

Inoltre, per esaltare la differenza tra le curve, si è deciso di considerare la percentuale di domanda e perdita variabile con la pressione pari al 100%; nella realtà, vi è una parte che resta invariata, funzione dei valori assoluti di pressione presenti nella rete di distribuzione più che del grado di riduzione che si attua.

Inizialmente, è stata fatta un'analisi preliminare utilizzando sempre la curva Default leakage per le perdite idriche e facendo variare la curva PRD per la domanda, considerando un passo temporale della simulazione sulle 24 ore pari a 15 min;

questo allo scopo di capire se esiste una sensibile differenza utilizzando una simulazione iterativa e non per una riduzione del 10% dei carichi ai Fixed Head. I volumi immessi in rete in una giornata (l/giorno) sono riportati di seguito.

| NON ITERATIVO | | | | | | | |
|------------------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|---------|
| Curve di domanda | | | | | | | |
| l/giorno | default | exponential | favad | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| default | 66614.72 | 66724.79 | 59088.07 | 66612.56 | 56376.7 | 55886.74 | 65437 |

| ITERATIVO | | | | | | | |
|------------------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Curve di domanda | | | | | | | |
| l/giorno | default | exponential | favad | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| default | 66550.14 | 66679.11 | 58990.34 | 66547.95 | 56258.81 | 55770.83 | 65365.88 |

| DIFFERENZE ITERATIVO E NON | | | | | | | |
|----------------------------|---------|-------------|-------|--------|----------|--------|---------|
| Curve di domanda | | | | | | | |
| l/giorno | default | exponential | favad | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| default | 64.58 | 45.68 | 97.73 | 64.61 | 117.89 | 115.91 | 71.34 |
| % rispetto a ITERATIVO | 0.10 | 0.07 | 0.16 | 0.097 | 0.21 | 0.21 | 0.11 |

Come evidenziano le simulazioni le variazioni tra iterativo e non iterativo non sono molto significative; inoltre, avendo a disposizione dati delle portate immesse in rete con intervallo di tempo anche di 1 min, la condizione utilizzata con intervallo di 15 min amplifica le diversità tra i due metodi di calcolo. Infatti, le pressioni riferite a due passi temporali distanti 15 min avranno variazioni maggiori rispetto alle pressioni calcolate ogni minuto.

Nelle successive simulazioni è stata comunque preferita la modalità iterativa che dà maggior attendibilità ai risultati anche se a discapito del tempo di calcolo.

Una seconda analisi preliminare, utilizzando quindi la modalità iterativa di simulazione, ha verificato invece quali siano le differenze utilizzando i differenti dati registrati a 1 min e a 15 min, sempre considerando una riduzione del 10% dei carichi ai Fixed Head, i risultati ottenuti sono di seguito esposti.

| 15 MIN | | | | | | | |
|------------------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Curve di domanda | | | | | | | |
| l/giorno | default | exponential | favad | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| default | 66550.14 | 66679.11 | 58990.34 | 58932.41 | 56258.81 | 55770.83 | 65365.88 |

| 1 MIN | | | | | | | |
|------------------|----------|-------------|----------|--------|----------|----------|---------|
| Curve di domanda | | | | | | | |
| l/giorno | default | exponential | favad | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| default | 67954.87 | 67779.78 | 61458.28 | 60769 | 59226.36 | 58731.92 | 67004.3 |

| DIFFERENZA TRA 1 MIN E 15MIN | | | | | | | |
|------------------------------|---------|-------------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Curve di domanda | | | | | | | |
| l/giorno | default | exponential | favad | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| default | 1404.73 | 1100.67 | 2467.94 | 1836.59 | 2967.55 | 2961.09 | 1638.42 |
| % rispetto a 1 MIN | 2.07 | 1.62 | 4.01 | 3.02 | 5.01 | 5.04 | 2.44 |

Come evidenziato dai risultati, in questo caso la differenza tra utilizzare un passo temporale di 1 min oppure di 15 min è consistente fino ad oltre l'5% del volume totale. Le notevoli differenze sono amplificate dal fatto che nelle registrazioni di pressione in ingresso sono presenti oscillazioni di pressione che il passo temporale di 1 min riesce a considerare mentre con l'utilizzo di dati presi ogni 15 min parte delle oscillazioni vengono perse. Questo tipo di errore assume importanza soprattutto in una simulazione guidata dalle pressioni, poiché va a modificare il fattore di riduzione della portata F e quindi in ultima analisi il volume totale immesso in rete. Per tale motivo l'analisi di sensitività verrà condotta con riferimento alle seguenti condizioni:

- dati di input registrati ogni minuto;
- simulazione con processo iterativo.

L'analisi di sensitività è stata effettuata riducendo le pressioni nell'istante di tempo di inizio della simulazione a valori prefissati a valle dei Fixed Head; cioè imponendo a $t=00:00$ un certo carico ottenuto modificando il pattern del livello del serbatoio.

La Tabella 3.1 mostra i due scenari di riduzione simulati.

| Scenario | | 1° | 2° |
|-------------------------|----------|-------|-------|
| Riduzione (m) | | -1.97 | -7.97 |
| Pressione (m) (t=00:00) | nodo 6 | 28 | 22 |
| | nodo 250 | 26 | 20 |

Tabella 3.1 Scenari di riduzione per sensitività

Il primo scenario di riduzione di 1.97 m significa che ad ogni minuto la pressione dei Fixed Head è stata abbassata di tale valore e di conseguenza al tempo t=00:00 vale 28 m al nodo 6 e 26 m al nodo 250. La scelta del secondo scenario con una riduzione più consistente serve per esaltare le differenze tra le curve.

Dai risultati delle simulazioni sono state ricavate delle tabelle riassuntive, rispettivamente, del volume in ingresso e del volume recuperato dall'abbassamento di pressione in l/giorno e la percentuale di volume recuperato riferita al volume in ingresso alla rete.

| Scenario 1° riduzione di 1.97 m | | | | Volume in ingresso | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|--------------------|---------|----------|---------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 74308.1 | 74206.1 | 71846.8 | 74307.5 | 71066.6 | 70775.4 | 74354.8 |
| | exponential | 74543.3 | 74441.5 | 71846.8 | 74542.7 | 71299.7 | 71008.4 | 74329.5 |
| | FAVAD | 74322.2 | 74220.3 | 70279.1 | 74321.6 | 71080.5 | 70789.3 | 74108.5 |
| | legacy | 74308.1 | 74206.1 | 67663.5 | 74307.5 | 71066.6 | 70775.4 | 74094.4 |
| | powerlaw | 74251.9 | 74149.9 | 67549.6 | 74251.3 | 71010.8 | 70719.7 | 74038.2 |
| | tr26 | 74219.6 | 74117.6 | 67549.6 | 74219.0 | 70978.7 | 70687.5 | 74005.9 |

| Scenario 1° riduzione di 1.97 m | | | | Volume recuperato | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|-------------------|--------|----------|--------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 3691.2 | 3793.2 | 6152.5 | 3691.8 | 6932.7 | 7223.9 | 3644.5 |
| | exponential | 3456.0 | 3557.8 | 6152.5 | 3456.6 | 6699.6 | 6990.9 | 3669.8 |
| | FAVAD | 3677.1 | 3779.0 | 7720.2 | 3677.7 | 6918.8 | 7210.0 | 3890.8 |
| | legacy | 3691.2 | 3793.2 | 10335.8 | 3691.8 | 6932.7 | 7223.9 | 3904.9 |
| | powerlaw | 3747.5 | 3849.4 | 10449.7 | 3748.0 | 6988.5 | 7279.7 | 3961.1 |
| | tr26 | 3779.8 | 3881.7 | 10449.7 | 3780.4 | 7020.6 | 7311.8 | 3993.4 |

| Scenario 1° riduzione di 1.97 m | | | | % Volume recuperato | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|---------------------|--------|----------|------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | % | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 4.7 | 4.9 | 7.9 | 4.7 | 8.9 | 9.3 | 4.7 |
| | exponential | 4.4 | 4.6 | 7.9 | 4.4 | 8.6 | 9.0 | 4.7 |
| | FAVAD | 4.7 | 4.8 | 9.9 | 4.7 | 8.9 | 9.2 | 5.0 |
| | legacy | 4.7 | 4.9 | 13.3 | 4.7 | 8.9 | 9.3 | 5.0 |
| | powerlaw | 4.8 | 4.9 | 13.4 | 4.8 | 9.0 | 9.3 | 5.1 |
| | tr26 | 4.8 | 5.0 | 13.4 | 4.8 | 9.0 | 9.4 | 5.1 |

Vengono inoltre riportati i risultati dell'analisi suddividendo la componente di volume relativa alle perdite idriche da quella relativa alla consumo.

| Scenario 1° riduzione di 1.97 m | | | | Consumi | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 67714.7 | 67612.8 | 65251.7 | 67714.1 | 64470.9 | 64179.5 | 67499.7 |
| | exponential | 67713.6 | 67611.8 | 65251.7 | 67713.0 | 64468.8 | 64177.4 | 67499.7 |
| | FAVAD | 67714.6 | 67612.7 | 63711.7 | 67714.0 | 64470.7 | 64179.3 | 67500.8 |
| | legacy | 67714.7 | 67612.8 | 60967.2 | 67714.1 | 64470.9 | 64179.5 | 67500.9 |
| | powerlaw | 67715.0 | 67613.0 | 60967.6 | 67714.4 | 64471.3 | 64180.0 | 67501.2 |
| | tr26 | 67715.1 | 67613.1 | 60967.6 | 67714.5 | 64471.5 | 64180.2 | 67501.3 |

| Scenario 1° riduzione di 1.97 m | | | | Recupero sui consumi | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|----------------------|--------|----------|--------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 3127.2 | 3229.2 | 5590.2 | 3127.8 | 6371.1 | 6662.4 | 3342.2 |
| | exponential | 3128.3 | 3230.2 | 5590.2 | 3128.9 | 6373.2 | 6664.6 | 3342.2 |
| | FAVAD | 3127.3 | 3229.3 | 7130.3 | 3127.9 | 6371.3 | 6662.7 | 3341.2 |
| | legacy | 3127.2 | 3229.2 | 9874.8 | 3127.8 | 6371.1 | 6662.4 | 3341.0 |
| | powerlaw | 3127.0 | 3229.0 | 9874.3 | 3127.6 | 6370.6 | 6662.0 | 3340.8 |
| | tr26 | 3126.9 | 3228.8 | 9874.3 | 3127.5 | 6370.4 | 6661.8 | 3340.7 |

| Scenario 1° riduzione di 1.97 m | | | | Percentuale di recupero sui consumi | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|-------------------------------------|--------|----------|------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | % | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 4.4 | 4.6 | 7.9 | 4.4 | 9.0 | 9.4 | 4.7 |
| | exponential | 4.4 | 4.6 | 7.9 | 4.4 | 9.0 | 9.4 | 4.7 |
| | FAVAD | 4.4 | 4.6 | 10.1 | 4.4 | 9.0 | 9.4 | 4.7 |
| | legacy | 4.4 | 4.6 | 13.9 | 4.4 | 9.0 | 9.4 | 4.7 |
| | powerlaw | 4.4 | 4.6 | 13.9 | 4.4 | 9.0 | 9.4 | 4.7 |
| | tr26 | 4.4 | 4.6 | 13.9 | 4.4 | 9.0 | 9.4 | 4.7 |

| Scenario 1° riduzione di 1.97 m | | | | Perdite idriche | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|-----------------|--------|----------|--------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 6593.3 | 6593.3 | 6595.1 | 6593.3 | 6595.7 | 6595.9 | 6855.1 |
| | exponential | 6829.7 | 6829.7 | 6595.1 | 6829.7 | 6830.9 | 6831.0 | 6829.8 |
| | FAVAD | 6607.6 | 6607.6 | 6567.4 | 6607.6 | 6609.8 | 6610.0 | 6607.7 |
| | legacy | 6593.3 | 6593.3 | 6696.3 | 6593.3 | 6595.7 | 6595.9 | 6593.5 |
| | powerlaw | 6536.9 | 6536.9 | 6582.0 | 6536.9 | 6539.5 | 6539.7 | 6537.1 |
| | tr26 | 6504.5 | 6504.5 | 6582.0 | 6504.5 | 6507.1 | 6507.4 | 6504.7 |

| Scenario 1° riduzione di 1.97 m | | | | Recupero sulle perdite idriche | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|--------------------------------|--------|----------|-------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 563.9 | 563.9 | 562.2 | 564.0 | 561.6 | 561.4 | 302.2 |
| | exponential | 327.6 | 327.5 | 562.2 | 327.6 | 326.3 | 326.2 | 327.5 |
| | FAVAD | 549.7 | 549.7 | 589.9 | 549.7 | 547.4 | 547.3 | 549.5 |
| | legacy | 563.9 | 563.9 | 461.0 | 563.9 | 561.6 | 561.4 | 563.8 |
| | powerlaw | 620.4 | 620.4 | 575.3 | 620.4 | 617.8 | 617.6 | 620.2 |
| | tr26 | 652.8 | 652.8 | 575.3 | 652.8 | 650.1 | 649.9 | 652.6 |

| Scenario 1° riduzione di 1.97 m | | | | Percentuale di recupero sulle perdite | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|---------------------------------------|--------|----------|------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | % | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 7.9 | 7.9 | 7.9 | 7.8 | 7.8 | 7.8 | 4.2 |
| | exponential | 4.6 | 4.6 | 7.9 | 4.6 | 4.6 | 4.6 | 4.6 |
| | FAVAD | 7.7 | 7.7 | 8.2 | 7.7 | 7.6 | 7.6 | 7.7 |
| | legacy | 7.9 | 7.9 | 6.4 | 7.9 | 7.8 | 7.8 | 7.9 |
| | powerlaw | 8.7 | 8.7 | 8.0 | 8.7 | 8.6 | 8.6 | 8.7 |
| | tr26 | 9.1 | 9.1 | 8.0 | 9.1 | 9.1 | 9.1 | 9.1 |

Il secondo scenario è stato simulato nell'ipotesi di aumentare la riduzione delle pressioni sino 7.97 m; inoltre per mettere in evidenza gli effetti delle curve PRD per la domanda è stata eseguita anche una simulazione in assenza di perdite.

I risultati ottenuti dalle simulazioni in assenza di perdite sono tabulati di seguito:

| Senza perdite | | | | | | | | |
|--|-----------------|----------------|--------------------|--------------|---------------------------|-----------------|-------------|----------------|
| Scenario 2° riduzione di 7.97 m | | | | | Volume in ingresso | | | |
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 57517.1 | 58580.5 | 48685.6 | 57511.0 | 45131.8 | 44658.2 | 56001.9 |
| | exponential | 57517.1 | 58580.5 | 48685.6 | 57511.0 | 45131.8 | 44658.2 | 56001.9 |
| | FAVAD | 57517.1 | 58580.5 | 48685.6 | 57511.0 | 45131.8 | 44658.2 | 56001.9 |
| | legacy | 57517.1 | 58580.5 | 48685.6 | 57511.0 | 45131.8 | 44658.2 | 56001.9 |
| | powerlaw | 57517.1 | 58580.5 | 48685.6 | 57511.0 | 45131.8 | 44658.2 | 56001.9 |
| | tr26 | 57517.1 | 58580.5 | 48685.6 | 57511.0 | 45131.8 | 44658.2 | 56001.9 |

| Senza perdite | | | | | | | | |
|--|-------------|----------------|--------------------|--------------|--------------------------------|-----------------|-------------|----------------|
| Scenario 2° riduzione di 7.97 m | | | | | Percentuale di recupero | | | |
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | % | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 18.8 | 17.3 | 31.3 | 18.8 | 36.3 | 37.0 | 20.9 |
| | exponential | 18.8 | 17.3 | 31.3 | 18.8 | 36.3 | 37.0 | 20.9 |
| | FAVAD | 18.8 | 17.3 | 31.3 | 18.8 | 36.3 | 37.0 | 20.9 |
| | legacy | 18.8 | 17.3 | 31.3 | 18.8 | 36.3 | 37.0 | 20.9 |
| | powerlaw | 18.8 | 17.3 | 31.3 | 18.8 | 36.3 | 37.0 | 20.9 |
| | tr26 | 18.8 | 17.3 | 31.3 | 18.8 | 36.3 | 37.0 | 20.9 |

Ovviamente in questo caso i volumi non variano al variare delle curve di perdita poiché la perdita è nulla per ipotesi e si possono osservare quali siano le influenze delle varie curve sui volumi immessi in rete.

Nel caso della presenza di perdite idriche, i risultati ottenuti sono riportati nel seguito.

| Scenario 2° riduzione di 7.97 m | | | | Volume in ingresso | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|--------------------|---------|----------|---------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 62383.9 | 63453.4 | 53564.9 | 62377.8 | 50012.1 | 49540.3 | 60870.5 |
| | exponential | 63430.7 | 64502.4 | 54607.6 | 63424.6 | 51052.8 | 50581.1 | 61916.1 |
| | FAVAD | 62502.9 | 63572.7 | 53683.1 | 62496.8 | 50130.0 | 49658.2 | 60989.2 |
| | legacy | 62383.9 | 63453.5 | 53564.9 | 62377.8 | 50012.1 | 49540.3 | 60870.5 |
| | powerlaw | 62177.6 | 63246.8 | 53359.1 | 62171.5 | 49806.5 | 49334.7 | 60664.3 |
| | tr26 | 62119.0 | 63188.2 | 53300.5 | 62113.0 | 49748.0 | 49276.2 | 60605.7 |

| Scenario 2° riduzione di 7.97 m | | | | Volumi recuperati | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|-------------------|---------|----------|---------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 15615.4 | 14545.9 | 24434.4 | 15621.4 | 27987.2 | 28459.0 | 17128.8 |
| | exponential | 14568.6 | 13496.9 | 23391.7 | 14574.7 | 26946.5 | 27418.2 | 16083.1 |
| | FAVAD | 15496.4 | 14426.6 | 24316.2 | 15502.5 | 27869.3 | 28341.1 | 17010.1 |
| | legacy | 15615.4 | 14545.8 | 24434.4 | 15621.4 | 27987.2 | 28459.0 | 17128.8 |
| | powerlaw | 15821.7 | 14752.5 | 24640.2 | 15827.8 | 28192.8 | 28664.5 | 17335.0 |
| | tr26 | 15880.3 | 14811.0 | 24698.8 | 15886.3 | 28251.3 | 28723.1 | 17393.6 |

| Scenario 2° riduzione di 7.97 m | | | | Percentuale dei volumi recuperati | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|-----------------------------------|--------|----------|------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | % | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 20.0 | 18.6 | 31.3 | 20.0 | 35.9 | 36.5 | 22.0 |
| | exponential | 18.7 | 17.3 | 30.0 | 18.7 | 34.5 | 35.2 | 20.6 |
| | FAVAD | 19.9 | 18.5 | 31.2 | 19.9 | 35.7 | 36.3 | 21.8 |
| | legacy | 20.0 | 18.6 | 31.3 | 20.0 | 35.9 | 36.5 | 22.0 |
| | powerlaw | 20.3 | 18.9 | 31.6 | 20.3 | 36.1 | 36.7 | 22.2 |
| | tr26 | 20.4 | 19.0 | 31.7 | 20.4 | 36.2 | 36.8 | 22.3 |

| Scenario 2° riduzione di 7.97 m | | | | Consumi | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 57519.9 | 58590.4 | 48695.5 | 57513.8 | 45140.7 | 44668.6 | 56005.5 |
| | exponential | 57514.9 | 58587.0 | 48689.3 | 57508.8 | 45133.7 | 44661.7 | 55999.9 |
| | FAVAD | 57519.2 | 58590.0 | 48694.7 | 57513.1 | 45139.6 | 44667.6 | 56004.7 |
| | legacy | 57519.9 | 58590.4 | 48695.5 | 57513.8 | 45140.6 | 44668.6 | 56005.5 |
| | powerlaw | 57520.8 | 58591.1 | 48696.6 | 57514.7 | 45141.8 | 44669.8 | 56006.4 |
| | tr26 | 57520.9 | 58591.2 | 48696.8 | 57514.9 | 45142.1 | 44670.1 | 56006.6 |

| Scenario 2° riduzione di 7.97 m | | | | Recupero sui consumi | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|----------------------|---------|----------|---------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 13322.1 | 12251.6 | 22146.5 | 13328.2 | 25701.3 | 26173.4 | 14836.5 |
| | exponential | 13327.1 | 12255.0 | 22152.7 | 13333.2 | 25708.4 | 26180.3 | 14842.1 |
| | FAVAD | 13322.8 | 12252.0 | 22147.3 | 13328.9 | 25702.4 | 26174.4 | 14837.3 |
| | legacy | 13322.1 | 12251.6 | 22146.5 | 13328.2 | 25701.4 | 26173.4 | 14836.5 |
| | powerlaw | 13321.2 | 12250.9 | 22145.4 | 13327.3 | 25700.2 | 26172.2 | 14835.6 |
| | tr26 | 13321.1 | 12250.8 | 22145.2 | 13327.2 | 25699.9 | 26172.0 | 14835.4 |

| Scenario 2° riduzione di 7.97 m | | | | Percentuale di recupero sui consumi | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|-------------------------------------|--------|----------|------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | % | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 18.8 | 17.3 | 31.3 | 18.8 | 36.3 | 36.9 | 20.9 |
| | exponential | 18.8 | 17.3 | 31.3 | 18.8 | 36.3 | 37.0 | 21.0 |
| | FAVAD | 18.8 | 17.3 | 31.3 | 18.8 | 36.3 | 36.9 | 20.9 |
| | legacy | 18.8 | 17.3 | 31.3 | 18.8 | 36.3 | 36.9 | 20.9 |
| | powerlaw | 18.8 | 17.3 | 31.3 | 18.8 | 36.3 | 36.9 | 20.9 |
| | tr26 | 18.8 | 17.3 | 31.3 | 18.8 | 36.3 | 36.9 | 20.9 |

| Scenario 2° riduzione di 7.97 m | | | | Perdite | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|---------|--------|----------|--------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 4864.0 | 4862.9 | 4869.3 | 4864.0 | 4871.3 | 4871.7 | 4865.0 |
| | exponential | 5915.8 | 5915.4 | 5918.3 | 5915.8 | 5919.2 | 5919.3 | 5916.2 |
| | FAVAD | 4983.7 | 4982.8 | 4988.5 | 4983.7 | 4990.4 | 4990.6 | 4984.5 |
| | legacy | 4864.0 | 4862.9 | 4869.3 | 4864.0 | 4871.5 | 4871.7 | 4865.0 |
| | powerlaw | 4656.8 | 4655.7 | 4662.5 | 4656.8 | 4664.7 | 4664.9 | 4657.9 |
| | tr26 | 4598.1 | 4597.0 | 4603.7 | 4598.1 | 4605.9 | 4606.2 | 4599.1 |

| Scenario 2° riduzione di 7.97 m | | | | Recupero sulle perdite | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|------------------------|--------|----------|--------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 2293.3 | 2294.3 | 2287.9 | 2293.3 | 2285.9 | 2285.6 | 2292.3 |
| | exponential | 1241.5 | 1241.8 | 1239.0 | 1241.5 | 1238.1 | 1237.9 | 1241.1 |
| | FAVAD | 2173.6 | 2174.5 | 2168.8 | 2173.6 | 2166.9 | 2166.7 | 2172.7 |
| | legacy | 2293.3 | 2294.4 | 2287.9 | 2293.3 | 2285.8 | 2285.6 | 2292.3 |
| | powerlaw | 2500.4 | 2501.5 | 2494.8 | 2500.4 | 2492.6 | 2492.3 | 2499.4 |
| | tr26 | 2559.2 | 2560.2 | 2553.6 | 2559.2 | 2551.4 | 2551.1 | 2558.1 |

| Scenario 2° riduzione di 7.97 m | | | | Percentuale di recupero sulle perdite | | | | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|---------------------------------------|--------|----------|------|---------|
| Domande | | | | | | | | |
| Perdite | l/giorno | default | exponential | FAVAD | legacy | powerlaw | tr26 | esterna |
| | default | 32.0 | 32.1 | 32.0 | 32.0 | 31.9 | 31.9 | 32.0 |
| | exponential | 17.3 | 17.4 | 17.3 | 17.3 | 17.3 | 17.3 | 17.3 |
| | FAVAD | 30.4 | 30.4 | 30.3 | 30.4 | 30.3 | 30.3 | 30.4 |
| | legacy | 32.0 | 32.1 | 32.0 | 32.0 | 31.9 | 31.9 | 32.0 |
| | powerlaw | 34.9 | 35.0 | 34.9 | 34.9 | 34.8 | 34.8 | 34.9 |
| | tr26 | 35.8 | 35.8 | 35.7 | 35.8 | 35.6 | 35.6 | 35.7 |

Dai dati emerge che in tutte le simulazioni la curva PRD che incide maggiormente sui risultati finali è quella relativa alla domanda, che ovviamente è applicata a portate maggiori di acqua. Si nota inoltre come alcune curve diano risultati simili, per esempio le curve Legacy e Default demand. In Figura 3.8 sono riportati i grafici delle curve PRD relative alla domanda.

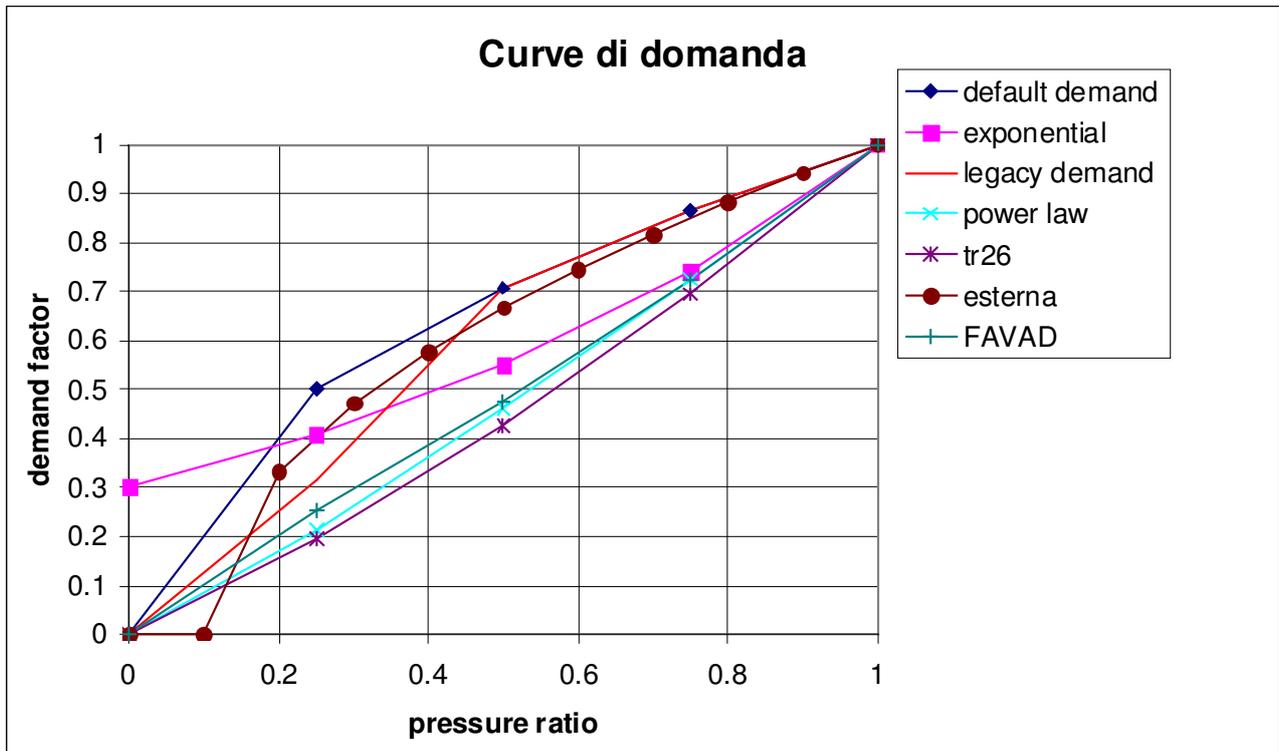


Figura 3.8 Curve di domanda

Da questo grafico si nota come tutte le curve abbiano andamenti considerevolmente diversi. Si nota però che alcune di esse sono molto simili, per tale ragione sono state scelte 3 curve per la domanda e 2 per le perdite idriche ovvero:

- Default demand, FAVAD e esterna per la domanda;
- Default leakage e FAVAD per le perdite idriche.

CAPITOLO 4

Effetti della riduzione delle pressioni in rete

Introduzione

In condizioni di scarsità idrica, in particolare nelle fasi di pre-allerta ed allerta, una delle possibili misure di riduzione della domanda consiste nell'abbassamento delle pressioni normalmente presenti nella rete di distribuzione. Questo tipo di misura può essere considerata di mitigazione degli impatti della scarsità idrica in quanto, soprattutto nella fase iniziale della crisi, consente di limitare i consumi delle utenze senza che queste subiscano i disagi della turnazione e al contempo consente il recupero di parte delle perdite reali in rete ovvero, in ultima analisi, si riesce a limitare il volume di acqua immesso in rete.

In alternativa a questo tipo di intervento si può effettuare la turnazione, cioè l'interruzione dell'erogazione in determinati periodi della giornata. Questo tipo di misura può generare malfunzionamenti della rete idrica dal punto di vista idraulico e aumenta i problemi legati alla qualità dell'acqua distribuita. Inoltre, si possono innescare meccanismi di difesa che portano le utenze a creare accumuli di acqua nelle ore in cui questa è disponibile, con conseguente diminuzione dell'efficacia della misura di prevenzione attuata.

Le modalità con cui si effettua la riduzione delle pressioni in un acquedotto sono molteplici in funzione delle caratteristiche della rete, del recupero di volumi che voglio ottenere e del tipo di intervento, anche in relazione ai costi dell'operazione. Sia una saracinesca parzialmente aperta, sia una valvola che controlla la pressione o la portata possono portare a ridurre le pressioni in rete, ma nell'arco della giornata i volumi risparmiati e i disagi alle utenze sono differenti.

InfoWorksWS permette di applicare alla rete varie tipologie di valvole ognuna delle quali è caratterizzata da una diversa curva che relaziona il grado di apertura alla perdita di carico in corrispondenza della valvola. Inoltre è possibile definire le modalità con cui questi organi devono agire durante la simulazione a seconda che, in modo fisso o variabile nel tempo, si voglia imporre:

- Grado di apertura;
- Pressione all'uscita della valvola;
- Pressione in un punto della rete;
- Portata all'uscita della valvola;
- Portata in un ramo della rete.

Nell'ambito della presente analisi sono state utilizzate le saracinesche e le valvole di riduzione della pressione allo scopo di mantenere determinati livelli di pressione nel nodo più critico della rete (N°136). Le curve caratteristiche delle valvole sono:

SARACINESCA

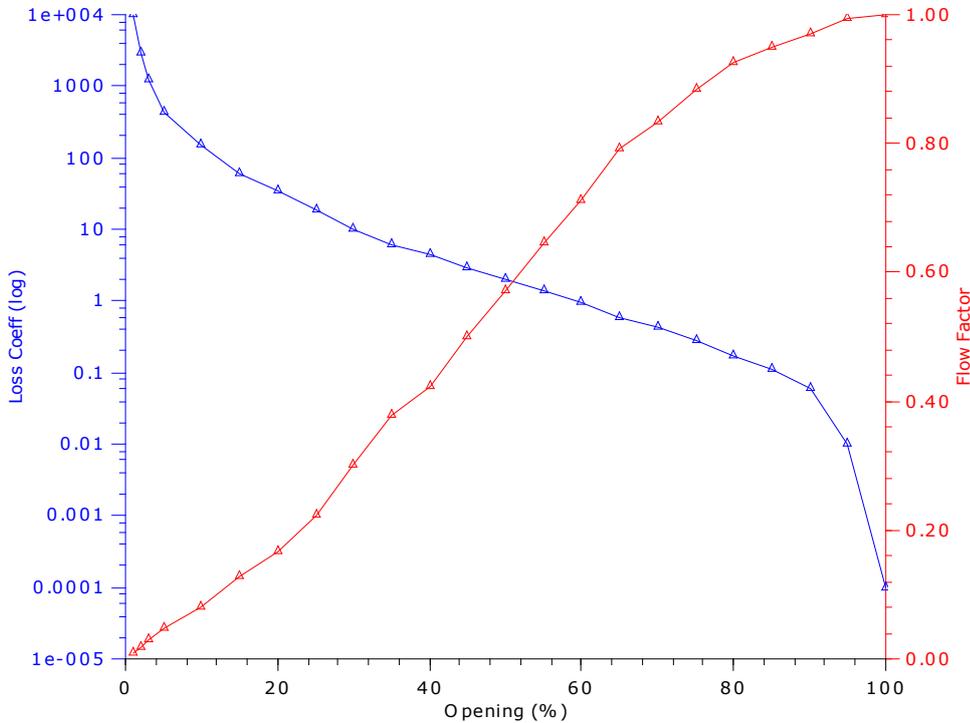


Figura 4.1 Curve caratteristiche della saracinesca

PRV

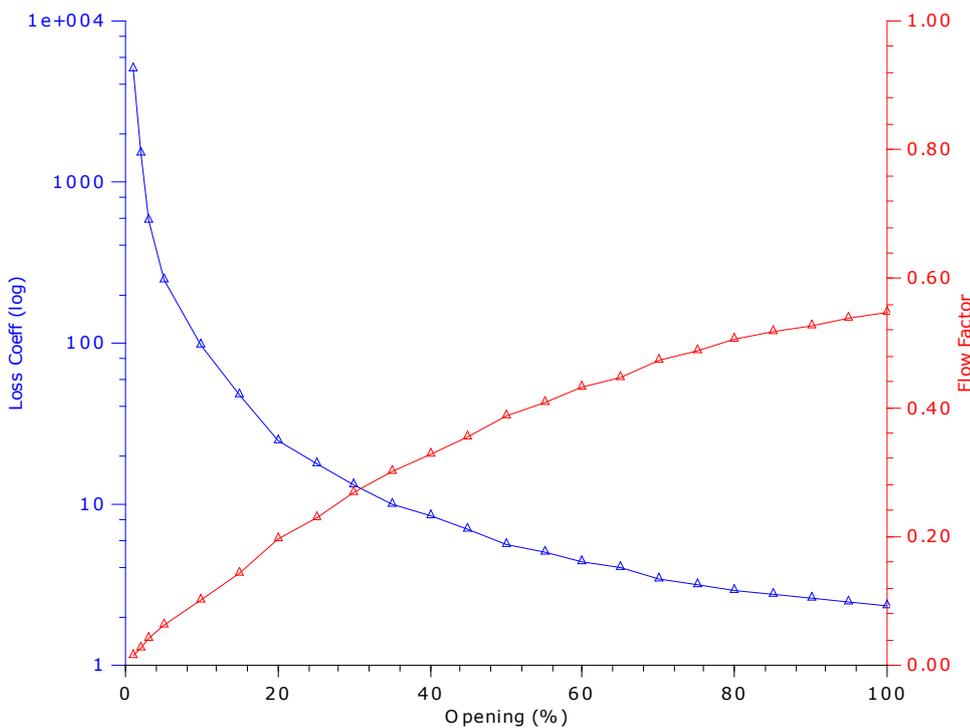


Figura 4.2 Curve caratteristiche della PRV

4.1 Simulazione della rete in condizioni di normale funzionamento

La prima simulazione si riferisce a condizioni di normale funzionamento della rete con le pressioni non modificate e viene implementata guidata dalla domanda. I dati ricavati verranno utilizzati dal programma come base per le successive simulazioni guidate dalla pressione; inoltre sono stati analizzati i carichi ai nodi per verificare quale sia il nodo in cui la pressione raggiunge valori minori e in quale minuto della giornata al fine di stabilire una condizione per un primo scenario di riduzione delle pressioni.

La condizione iniziale di normale funzionamento della rete ottenuta dal modello è riportata in Tabella 4.1.

| n°nodo | quota | pressione media | pressione minima |
|--------|-------|-----------------|------------------|
| | m | m | m |
| 100 | 39.29 | 25.66 | 15.29 |
| 101 | 39.29 | 25.65 | 15.28 |
| 102 | 39.29 | 25.65 | 15.28 |
| 103 | 39.29 | 25.65 | 15.28 |
| 104 | 39.29 | 25.65 | 15.28 |
| 105 | 39.29 | 25.65 | 15.28 |
| 106 | 39.29 | 25.65 | 15.27 |
| 107 | 39.29 | 25.65 | 15.27 |
| 108 | 38.92 | 26.09 | 15.71 |
| 109 | 38.92 | 26.09 | 15.7 |
| 110 | 38.92 | 26.05 | 15.61 |
| 111 | 38.92 | 26.05 | 15.61 |
| 112 | 38.92 | 26.01 | 15.51 |
| 113 | 38.92 | 26.04 | 15.58 |
| 114 | 38.92 | 26.04 | 15.57 |
| 115 | 38.92 | 26.01 | 15.51 |
| 116 | 38.92 | 25.97 | 15.42 |
| 117 | 38.92 | 26 | 15.49 |
| 118 | 38.92 | 26 | 15.49 |
| 119 | 38.92 | 25.96 | 15.41 |
| 12 | 38.92 | 26.14 | 15.9 |
| 120 | 38.92 | 25.95 | 15.38 |
| 121 | 38.92 | 25.95 | 15.38 |
| 122 | 38.92 | 25.95 | 15.38 |
| 123 | 38.92 | 25.95 | 15.37 |
| 125 | 38.92 | 25.94 | 15.37 |
| 127 | 38.92 | 25.95 | 15.38 |
| 128 | 38.92 | 25.94 | 15.37 |
| 130 | 38.92 | 25.94 | 15.37 |
| 131 | 39.28 | 25.58 | 15.01 |
| 132 | 39.28 | 25.57 | 15 |
| 133 | 40.24 | 24.62 | 14.06 |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| 134 | 40.24 | 24.62 | 14.06 |
| 135 | 40.24 | 24.62 | 14.06 |
| 136 | 40.24 | 24.62 | 14.05 |
| 137 | 40.24 | 24.64 | 14.13 |
| 138 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 139 | 39.42 | 25.51 | 15.1 |
| 14 | 38.92 | 26.13 | 15.9 |
| 140 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 141 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 143 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 144 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 146 | 39.42 | 25.51 | 15.1 |
| 147 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 148 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 149 | 39.42 | 25.51 | 15.1 |
| 150 | 39.42 | 25.51 | 15.1 |
| 151 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 152 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 153 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 154 | 39.42 | 25.51 | 15.1 |
| 155 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 156 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 157 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 158 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 159 | 39.42 | 25.51 | 15.11 |
| 160 | 39.51 | 25.42 | 15.02 |
| 161 | 40.24 | 24.69 | 14.29 |
| 162 | 39.51 | 25.42 | 15.02 |
| 163 | 39.36 | 25.58 | 15.2 |
| 164 | 39.36 | 25.58 | 15.2 |
| 165 | 39.36 | 25.58 | 15.2 |
| 166 | 39.36 | 25.58 | 15.2 |
| 167 | 39.36 | 25.58 | 15.19 |
| 168 | 39.36 | 25.58 | 15.19 |
| 169 | 39.36 | 25.58 | 15.19 |
| 170 | 38.94 | 26 | 15.62 |
| 171 | 39.31 | 25.63 | 15.25 |
| 172 | 39.31 | 25.63 | 15.25 |
| 173 | 38.94 | 26 | 15.61 |
| 174 | 38.94 | 26 | 15.62 |
| 175 | 38.94 | 26 | 15.62 |
| 176 | 38.94 | 26 | 15.61 |
| 177 | 38.94 | 26 | 15.62 |
| 178 | 39.29 | 25.65 | 15.27 |
| 179 | 38.99 | 25.95 | 15.57 |
| 18 | 38.92 | 26.19 | 15.94 |
| 180 | 38.99 | 25.95 | 15.57 |
| 181 | 39.29 | 25.65 | 15.26 |
| 182 | 39.29 | 25.65 | 15.27 |
| 183 | 39.29 | 25.65 | 15.27 |
| 184 | 39.29 | 25.65 | 15.27 |
| 185 | 39.29 | 25.65 | 15.27 |
| 186 | 39.29 | 25.64 | 15.26 |
| 187 | 39.29 | 25.65 | 15.26 |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| 188 | 39.29 | 25.65 | 15.26 |
| 189 | 39.29 | 25.64 | 15.25 |
| 190 | 40.24 | 24.69 | 14.3 |
| 191 | 40.14 | 24.79 | 14.4 |
| 192 | 40.14 | 24.79 | 14.4 |
| 193 | 40.24 | 24.69 | 14.3 |
| 194 | 40.24 | 24.69 | 14.29 |
| 195 | 40.24 | 24.69 | 14.29 |
| 196 | 40.24 | 24.69 | 14.29 |
| 197 | 40.24 | 24.69 | 14.29 |
| 198 | 40.24 | 24.68 | 14.27 |
| 199 | 40.24 | 24.68 | 14.27 |
| 250 | 38.92 | 26.2 | 15.96 |
| 266 | 39.29 | 25.65 | 15.26 |
| 277 | 40.24 | 24.69 | 14.3 |
| 285 | 40.24 | 24.65 | 14.17 |
| 29 | 37.74 | 27.26 | 17 |
| 30 | 37.74 | 27.26 | 17 |
| 31 | 37.74 | 27.26 | 17 |
| 314 | 38.92 | 25.99 | 15.47 |
| 315 | 38.92 | 25.99 | 15.47 |
| 32 | 37.74 | 27.26 | 16.99 |
| 33 | 37.74 | 27.25 | 16.97 |
| 338 | 38.92 | 25.97 | 15.42 |
| 34 | 37.74 | 27.25 | 16.97 |
| 35 | 38.44 | 26.54 | 16.24 |
| 36 | 38.44 | 26.54 | 16.23 |
| 37 | 38.9 | 26.07 | 15.76 |
| 38 | 38.96 | 26.01 | 15.7 |
| 40 | 38.96 | 26.01 | 15.69 |
| 41 | 38.9 | 26.07 | 15.75 |
| 42 | 38.9 | 26.07 | 15.74 |
| 43 | 38.9 | 26.07 | 15.74 |
| 44 | 38.9 | 26.07 | 15.74 |
| 45 | 38.9 | 26.07 | 15.74 |
| 46 | 38.9 | 26.07 | 15.74 |
| 47 | 38.9 | 26.07 | 15.74 |
| 48 | 38.9 | 26.06 | 15.72 |
| 49 | 38.9 | 26.06 | 15.72 |
| 50 | 38.9 | 26.06 | 15.72 |
| 51 | 38.9 | 26.06 | 15.72 |
| 52 | 39.14 | 25.82 | 15.47 |
| 53 | 39.45 | 25.51 | 15.16 |
| 54 | 39.14 | 25.82 | 15.47 |
| 55 | 39.45 | 25.51 | 15.16 |
| 56 | 39.37 | 25.59 | 15.23 |
| 57 | 39.33 | 25.63 | 15.27 |
| 58 | 39.37 | 25.58 | 15.22 |
| 59 | 39.33 | 25.63 | 15.27 |
| 6 | 36.78 | 28.23 | 18.01 |
| 60 | 39.33 | 25.63 | 15.27 |
| 61 | 39.37 | 25.58 | 15.22 |
| 62 | 39.37 | 25.58 | 15.21 |
| 63 | 39.37 | 25.58 | 15.21 |

| | | | |
|----|-------|-------|-------|
| 64 | 39.37 | 25.58 | 15.21 |
| 65 | 39.37 | 25.57 | 15.2 |
| 66 | 39.37 | 25.58 | 15.21 |
| 67 | 39.37 | 25.57 | 15.2 |
| 68 | 39.37 | 25.57 | 15.2 |
| 69 | 39.37 | 25.57 | 15.2 |
| 70 | 39.37 | 25.57 | 15.2 |
| 71 | 39.37 | 25.57 | 15.2 |
| 72 | 39.37 | 25.57 | 15.2 |
| 73 | 39.37 | 25.57 | 15.19 |
| 74 | 39.37 | 25.57 | 15.19 |
| 75 | 39.37 | 25.57 | 15.19 |
| 76 | 39.37 | 25.57 | 15.19 |
| 77 | 39.37 | 25.57 | 15.19 |
| 78 | 39.37 | 25.57 | 15.19 |
| 79 | 39.37 | 25.57 | 15.19 |
| 8 | 37.74 | 27.28 | 17.05 |
| 80 | 39.37 | 25.57 | 15.19 |
| 81 | 39.19 | 25.75 | 15.37 |
| 82 | 39.37 | 25.57 | 15.19 |
| 83 | 39.19 | 25.75 | 15.37 |
| 84 | 38.94 | 26 | 15.62 |
| 85 | 38.9 | 26.06 | 15.72 |
| 86 | 38.9 | 26.06 | 15.71 |
| 87 | 38.9 | 26.06 | 15.72 |
| 88 | 38.9 | 26.06 | 15.71 |
| 89 | 38.9 | 26.06 | 15.72 |
| 9 | 38.92 | 26.13 | 15.9 |
| 90 | 38.9 | 26.06 | 15.7 |
| 91 | 38.9 | 26.05 | 15.7 |
| 92 | 38.9 | 26.06 | 15.7 |
| 93 | 38.9 | 26.06 | 15.7 |
| 94 | 38.9 | 26.05 | 15.7 |
| 95 | 39.1 | 25.85 | 15.49 |
| 96 | 39.1 | 25.85 | 15.49 |
| 97 | 39.29 | 25.66 | 15.29 |
| 98 | 39.29 | 25.66 | 15.3 |
| 99 | 39.29 | 25.66 | 15.3 |
| R1 | 37.74 | 27.28 | 17.04 |
| R2 | 38.92 | 26.18 | 15.91 |

Tabella 4.1 Tabella dei nodi in condizione di normale funzionamento

Dalla Tabella 4.1 si ricava che il nodo 136 è quello caratterizzato dalla pressione minima più bassa pari a 14.05 m. L'andamento delle pressioni in questo nodo critico durante il corso della giornata è riportata in Figura 4.3.

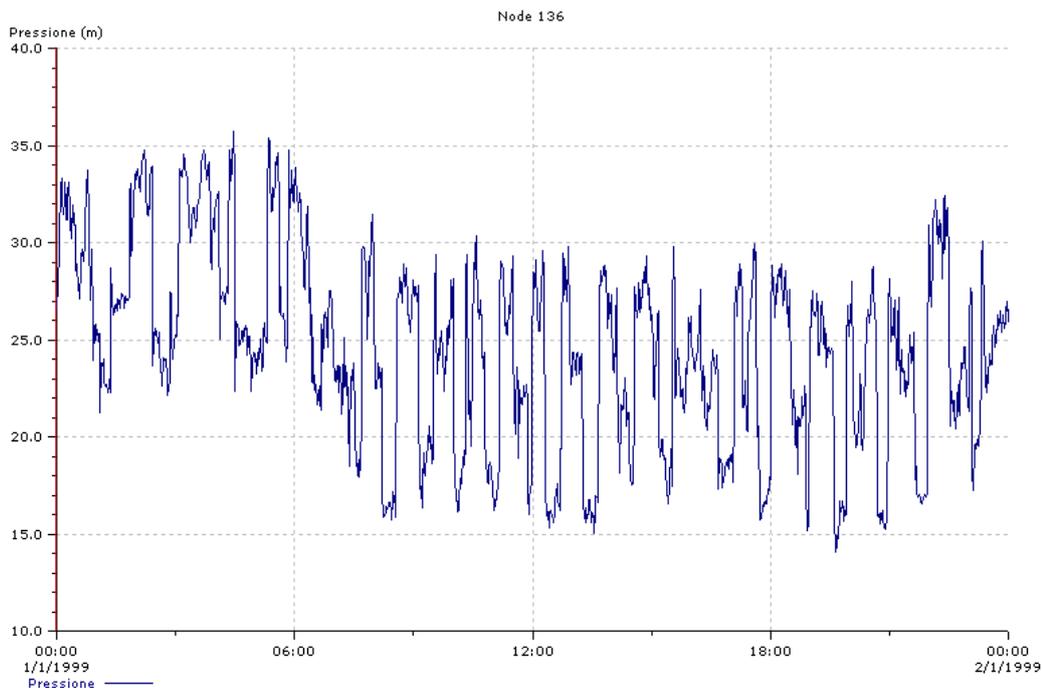


Figura 4.3 Pressioni al nodo critico 136

Per quanto riguarda i rami nella rete, la velocità massima ottenuta dalla simulazione è riportata in Tabella 4.2.

| n° ramo | diametro | lunghezza | scabrezza | velocità massima |
|---------|----------|-----------|-----------|------------------|
| | mm | m | | m/s |
| M96 | 26 | 7.81 | 149.2 | 0 |
| M97 | 100 | 8.79 | 60 | -0.12 |
| M102 | 26 | 25.69 | 149.2 | 0.09 |
| M98 | 100 | 2.01 | 60 | -0.12 |
| M101 | 26 | 17.52 | 149.2 | 0.05 |
| M99 | 100 | 9.98 | 60 | -0.13 |
| M100 | 26 | 9.35 | 149.2 | -0.07 |
| M103 | 100 | 24.11 | 60 | -0.11 |
| M177 | 100 | 14.56 | 60 | 0.02 |
| M106 | 26 | 14.49 | 149.2 | 0.09 |
| M107 | 32.6 | 17.94 | 150 | -0.54 |
| M108 | 26 | 2.6 | 149.2 | 0.1 |
| M109 | 32.6 | 17.56 | 150 | -0.43 |
| M112 | 26 | 4.34 | 149.2 | 0.08 |
| M110 | 32.6 | 7.29 | 150 | -0.47 |
| M111 | 26 | 13.39 | 149.2 | 0.06 |
| M116 | 26 | 19.81 | 149.2 | 0.13 |
| M113 | 32.6 | 17.42 | 150 | -0.36 |
| M206 | 26 | 2.81 | 149.2 | 0 |
| M114 | 32.6 | 7.19 | 150 | -0.38 |
| M115 | 26 | 13.85 | 149.2 | 0.02 |
| M9 | 131.6 | 10.82 | 60 | 0.11 |
| M117 | 32.6 | 5.98 | 150 | -0.19 |
| M120 | 26 | 4.6 | 149.2 | 0.15 |
| M118 | 32.6 | 23.07 | 150 | -0.28 |

| | | | | |
|------|------|-------|-------|-------|
| M119 | 26 | 4.35 | 149.2 | 0.14 |
| M122 | 32.6 | 7.58 | 150 | -0.09 |
| M121 | 26 | 10.55 | 149.2 | 0.1 |
| M123 | 32.6 | 43.77 | 150 | -0.08 |
| M124 | 26 | 4.14 | 149.2 | 0.08 |
| M125 | 32.6 | 1.62 | 150 | -0.08 |
| M126 | 26 | 11.95 | 149.2 | 0.23 |
| M127 | 32.6 | 4.37 | 150 | 0.17 |
| M128 | 26 | 4.41 | 149.2 | 0.08 |
| M129 | 32.6 | 1.62 | 150 | 0.23 |
| M130 | 26 | 11.69 | 149.2 | 0.2 |
| M131 | 32.6 | 30.53 | 150 | 0.35 |
| M132 | 26 | 34.31 | 149.2 | 0.06 |
| M141 | 80 | 24.2 | 60 | -0.01 |
| M11 | 26 | 28.55 | 149.2 | 0 |
| M133 | 26 | 11.12 | 149.2 | -0.01 |
| M135 | 80 | 0.82 | 60 | 0 |
| M136 | 80 | 2.29 | 60 | 0 |
| M138 | 80 | 5.12 | 60 | -0.01 |
| M139 | 26 | 14.72 | 149.2 | 0.04 |
| M140 | 80 | 13.83 | 60 | -0.02 |
| M142 | 26 | 14.42 | 149.2 | 0.06 |
| M144 | 26 | 15.82 | 149.2 | 0.04 |
| M146 | 80 | 2.45 | 60 | -0.03 |
| M143 | 26 | 6.32 | 149.2 | -0.06 |
| M145 | 80 | 16.78 | 60 | -0.04 |
| M149 | 80 | 5.24 | 60 | -0.04 |
| M147 | 26 | 6.92 | 149.2 | -0.08 |
| M148 | 26 | 0.67 | 149.2 | 0 |
| M150 | 80 | 17.48 | 60 | -0.04 |
| M151 | 26 | 17.71 | 149.2 | 0.02 |
| M154 | 80 | 3.8 | 60 | -0.05 |
| M152 | 26 | 6.64 | 149.2 | -0.07 |
| M153 | 80 | 30.32 | 60 | -0.05 |
| M155 | 26 | 15.15 | 149.2 | 0.06 |
| M191 | 100 | 1.94 | 60 | 0.04 |
| M188 | 100 | 15.18 | 60 | -0.08 |
| M156 | 100 | 19.09 | 60 | 0 |
| M159 | 26 | 15.32 | 149.2 | 0.06 |
| M157 | 26 | 17.52 | 149.2 | 0.05 |
| M158 | 100 | 15.33 | 60 | 0.01 |
| M160 | 26 | 24.82 | 149.2 | -0.05 |
| M161 | 26 | 4.96 | 149.2 | -0.05 |
| M162 | 100 | 15.24 | 60 | 0.01 |
| M166 | 26 | 16.48 | 149.2 | 0.07 |
| M163 | 100 | 2.11 | 60 | 0.01 |
| M164 | 26 | 10.66 | 149.2 | 0.03 |
| M167 | 100 | 8.93 | 60 | 0 |
| M169 | 26 | 17.15 | 149.2 | 0.07 |
| M168 | 100 | 17.34 | 60 | -0.01 |
| M170 | 26 | 7.07 | 149.2 | -0.08 |
| M171 | 100 | 20.28 | 60 | 0.01 |
| M174 | 26 | 18.46 | 149.2 | 0.06 |
| M172 | 100 | 3.11 | 60 | 0 |

| | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|
| M173 | 26 | 16.84 | 149.2 | 0.05 |
| M12 | 131.6 | 102.1 | 60 | 0.11 |
| M22 | 123.4 | 16.22 | 61.3 | -0.15 |
| M104 | 32.6 | 5.12 | 150 | 0.6 |
| M175 | 100 | 1.41 | 60 | 0.01 |
| M176 | 26 | 7.4 | 149.2 | -0.08 |
| M178 | 100 | 37.87 | 60 | 0 |
| M179 | 26 | 4.93 | 149.2 | -0.03 |
| M183 | 26 | 21.78 | 149.2 | 0.04 |
| M180 | 100 | 8.52 | 60 | -0.09 |
| M181 | 100 | 22.18 | 60 | -0.09 |
| M182 | 26 | 17.01 | 149.2 | 0.04 |
| M184 | 100 | 2.47 | 60 | -0.08 |
| M187 | 26 | 17.11 | 149.2 | 0.03 |
| M186 | 100 | 20.66 | 60 | -0.08 |
| M185 | 26 | 8.02 | 149.2 | -0.06 |
| M189 | 26 | 23.36 | 149.2 | 0.02 |
| M190 | 100 | 10.56 | 60 | 0.04 |
| M192 | 26 | 8.15 | 149.2 | 0.02 |
| M194 | 32.6 | 9.07 | 150 | 0.39 |
| M193 | 32.6 | 42.66 | 150 | 0.36 |
| M195 | 26 | 16.15 | 149.2 | -0.02 |
| M198 | 123.4 | 98.97 | 61.3 | -0.15 |
| M200 | 100 | 9.01 | 60 | -0.09 |
| M201 | 100 | 8.72 | 60 | -0.08 |
| M202 | 32.6 | 14.34 | 150 | 0.36 |
| M25 | 26 | 20.07 | 149.2 | 0 |
| M26 | 100 | 0.94 | 60 | 0.27 |
| M28 | 100 | 14.84 | 60 | 0.26 |
| M204 | 32.6 | 7.57 | 150 | -0.37 |
| M205 | 26 | 3.88 | 149.2 | 0 |
| M27 | 26 | 8.06 | 149.2 | -0.14 |
| M29 | 26 | 12.91 | 149.2 | 0.07 |
| M30 | 100 | 16.16 | 60 | 0.25 |
| M32 | 100 | 10.48 | 60 | 0.25 |
| M31 | 26 | 7.91 | 149.2 | -0.09 |
| M33 | 80 | 55.04 | 60 | 0.01 |
| M35 | 26 | 17.39 | 149.2 | -0.07 |
| M36 | 100 | 1.83 | 60 | -0.24 |
| M37 | 80 | 18.88 | 60 | -0.14 |
| M40 | 26 | 16.33 | 149.2 | 0 |
| M38 | 26 | 7.58 | 149.2 | 0 |
| M39 | 80 | 0.72 | 60 | -0.14 |
| M41 | 26 | 3.21 | 149.2 | 0.04 |
| M42 | 26 | 17.42 | 149.2 | -0.05 |
| M43 | 100 | 17.76 | 60 | -0.15 |
| M44 | 80 | 19.51 | 60 | -0.14 |
| M45 | 26 | 8.02 | 149.2 | -0.12 |
| M46 | 80 | 6.04 | 60 | -0.12 |
| M47 | 26 | 20.76 | 149.2 | 0.03 |
| M48 | 80 | 4.41 | 60 | -0.12 |
| M50 | 26 | 18.74 | 149.2 | 0 |
| M49 | 80 | 5.69 | 60 | -0.12 |
| M51 | 26 | 1.48 | 149.2 | -0.01 |

| | | | | |
|------|-------|--------|-------|-------|
| M52 | 80 | 9.46 | 60 | -0.12 |
| M54 | 80 | 25.07 | 60 | 0.12 |
| M53 | 80 | 5.41 | 60 | 0 |
| M55 | 26 | 10.65 | 149.2 | 0.01 |
| M58 | 80 | 16.1 | 60 | 0.11 |
| M7 | 125 | 67.95 | 60 | -0.11 |
| M56 | 80 | 19.91 | 60 | 0 |
| M57 | 26 | 7.59 | 149.2 | -0.05 |
| M59 | 26 | 13.86 | 149.2 | 0.08 |
| M61 | 80 | 5.37 | 60 | 0.1 |
| M60 | 80 | 9.64 | 60 | 0.09 |
| M63 | 26 | 15.03 | 149.2 | 0.04 |
| M65 | 80 | 7.23 | 60 | 0.09 |
| M62 | 26 | 5.89 | 149.2 | -0.09 |
| M64 | 80 | 16.58 | 60 | 0.07 |
| M69 | 80 | 1.11 | 60 | 0.07 |
| M6 | 209.2 | 125.53 | 60 | -0.04 |
| M66 | 26 | 6.23 | 149.2 | -0.15 |
| M67 | 26 | 5.72 | 149.2 | -0.04 |
| M68 | 80 | 20.11 | 60 | 0.06 |
| M70 | 26 | 15.2 | 149.2 | 0.07 |
| M73 | 80 | 0.53 | 60 | 0.06 |
| M71 | 26 | 4.76 | 149.2 | -0.03 |
| M72 | 80 | 18.15 | 60 | 0.05 |
| M74 | 26 | 13.04 | 149.2 | 0.02 |
| M77 | 80 | 0.21 | 60 | 0.05 |
| M75 | 26 | 6.29 | 149.2 | -0.03 |
| M8 | 125 | 49.03 | 60 | -0.12 |
| M23 | 100 | 5.07 | 60 | 0.27 |
| M76 | 80 | 13.43 | 60 | 0.04 |
| M78 | 26 | 15.57 | 149.2 | 0.06 |
| M80 | 80 | 19.22 | 60 | 0.04 |
| M79 | 26 | 6.62 | 149.2 | -0.06 |
| M165 | 100 | 9.76 | 60 | 0.02 |
| M81 | 100 | 22.31 | 60 | -0.15 |
| M82 | 26 | 34.87 | 149.2 | 0.1 |
| M83 | 100 | 4.04 | 60 | -0.14 |
| M84 | 100 | 16.23 | 60 | -0.14 |
| M86 | 26 | 17.23 | 149.2 | 0.09 |
| M85 | 26 | 9.23 | 149.2 | -0.04 |
| M87 | 100 | 7.88 | 60 | -0.13 |
| M90 | 26 | 51.37 | 149.2 | 0.02 |
| M88 | 100 | 6.33 | 60 | -0.13 |
| M89 | 26 | 9.81 | 149.2 | -0.03 |
| M91 | 100 | 13.17 | 60 | -0.13 |
| M92 | 26 | 8.55 | 149.2 | -0.07 |
| M93 | 100 | 13.17 | 60 | -0.13 |
| M94 | 100 | 12.42 | 60 | -0.13 |
| M95 | 26 | 17.8 | 149.2 | 0 |
| M24 | 100 | 18.07 | 60 | 0.27 |
| M105 | 32.6 | 30 | 150 | 0.6 |

Tabella 4.2 Velocità nei rami in condizione di normale funzionamento

Per quanto concerne i volumi complessivamente immessi in rete abbiamo:

Volume totalmente immesso $V_{tot} = 77999.29$ l;

Volume di consumo $V_c = 70842.01$ l;

Volume di perdita $V_p = 7157.267$ l.

4.2 Simulazione della rete con riduzione della pressione

Le simulazioni in condizioni di riduzione della pressione sono state eseguite inserendo due valvole all'uscita dei Fixed Head come mostra la Figura 4.4.

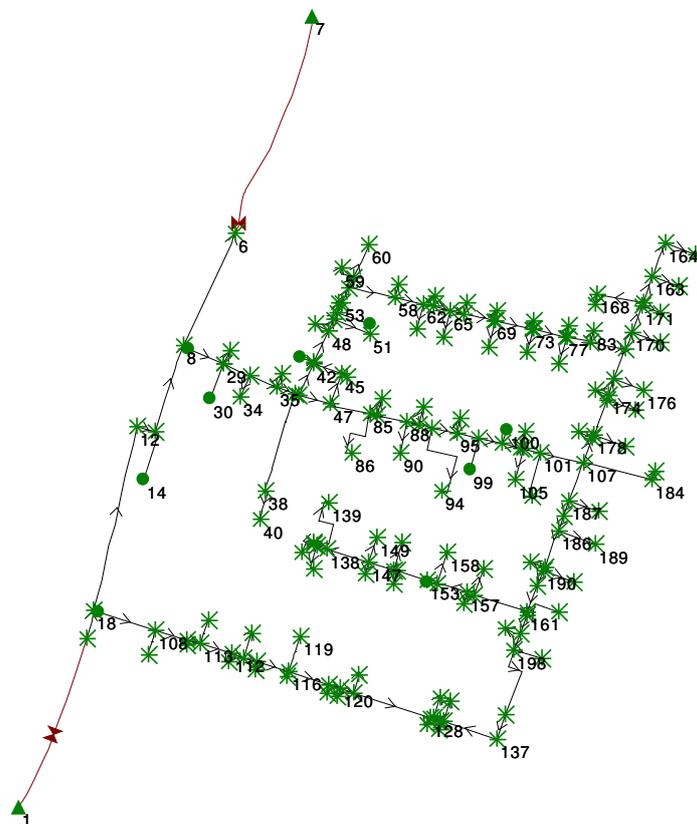


Figura 4.4 Disposizione delle valvole per la riduzione della pressione

Le valvole sono state tarate per controllare la pressione al nodo critico 136, in particolare sono stati considerati tre differenti scenari di riduzione, ognuno dei quali è stato simulato considerando sia la presenza di saracinesche, sia l'inserimento di valvole riduttrici di pressione (Pressure Reducing Valve).

Nel 1° scenario è stata implementata una riduzione tale da portare la pressione minima nel nodo n°136 da 14.05 m fino a 12 m nel momento di minima pressione in quel punto, che si verifica alle 19:39.

Nel 2° scenario sono state regolate le valvole al fine di generare una pressione media al nodo critico 136 pari a 18 m contro i 24.62 m in condizioni normali.

Il 3° scenario riguarda sempre la pressione media al nodo critico 136 che questa volta viene portata a 20 m.

4.2.1 Simulazione del 1° scenario di riduzione della pressione

Il 1° scenario consiste in una riduzione della pressione minima al nodo critico 136 da 14.05 m a 12 m; le simulazioni verranno implementate considerando tre differenti curve PRD di domanda e due curve PRD di perdita idrica e confrontando il diverso comportamento in presenza delle saracinesche oppure delle valvole di riduzione della pressione PRV.

Le valvole sono state settate allo scopo di individuare quali aperture delle saracinesche portassero alla riduzione voluta. Tra le varie coppie di possibili combinazioni soddisfacenti tale richiesta è stato scelto un settaggio delle due valvole tale da mantenere la distribuzione delle portate in rete con andamento più simile possibile alla situazione di normale funzionamento.

Una volta scelte le aperture delle saracinesche e completata la simulazione, sono state prese come riferimento le pressioni minime nei nodi a valle delle saracinesche. Le valvole di riduzione della pressione sono quindi state settate per limitare le pressioni ai valori precedentemente trovati.

La simulazione del 1° scenario porta ai seguenti valori:

| Saracinesche | | Volume in ingresso | | |
|--------------|----------|--------------------|----------|----------|
| domanda | | | | |
| perdite | l/giorno | default | favad | esterna |
| | default | 75725.70 | 74342.91 | 75596.10 |
| | favad | 75733.29 | 74349.59 | 75603.54 |

| PRV | | Volume in ingresso | | |
|---------|----------|--------------------|----------|----------|
| domanda | | | | |
| perdite | l/giorno | default | favad | esterna |
| | default | 56625.20 | 45887.87 | 54348.18 |
| | favad | 56810.76 | 46076.95 | 54537.42 |

Dai valori relativi ai volumi totali immessi in rete si nota come l'utilizzo delle PRV porti ad un risparmio di risorsa decisamente maggiore di quello ottenibile con le saracinesche.

| Saracinesche | | Recupero di Volume in ingresso | | |
|--------------|----------|--------------------------------|---------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | l/giorno | default | favad | esterna |
| | default | 2273.62 | 3656.41 | 2403.22 |
| | favad | 2266.03 | 3649.73 | 2395.78 |

| PRV | | Recupero di Volume in ingresso | | |
|---------|----------|--------------------------------|----------|----------|
| domanda | | | | |
| perdite | l/giorno | default | favad | esterna |
| | default | 21374.12 | 32111.44 | 23651.14 |
| | favad | 21188.56 | 31922.37 | 23461.89 |

| Saracinesche | | Recupero di Volume in ingresso | | |
|--------------|---------|--------------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 2.91 | 4.69 | 3.08 |
| | favad | 2.91 | 4.68 | 3.07 |

| PRV | | Recupero di Volume in ingresso | | |
|---------|---------|--------------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 27.40 | 41.17 | 30.32 |
| | favad | 27.17 | 40.93 | 30.08 |

Dai risultati ottenuti si nota inoltre come al variare delle curve scelte per la relazione tra pressione e portata si riscontrano notevoli differenze; in particolare la curva FAVAD porta a stimare riduzioni di volume maggiore rispetto alle altre curve PRD. Le curve di default originano simulazioni in cui i recuperi sono più modesti e perciò verranno prese come base di simulazione per i successivi confronti.

I volumi recuperati (l/giorno) e le percentuali di recupero sul totale danno ulteriore conferma del differente comportamento dei due organi: a parità di pressione

minima, l'utilizzo delle PRV consente maggiori recuperi di volumi, come mostrato anche nella Figura 4.5.

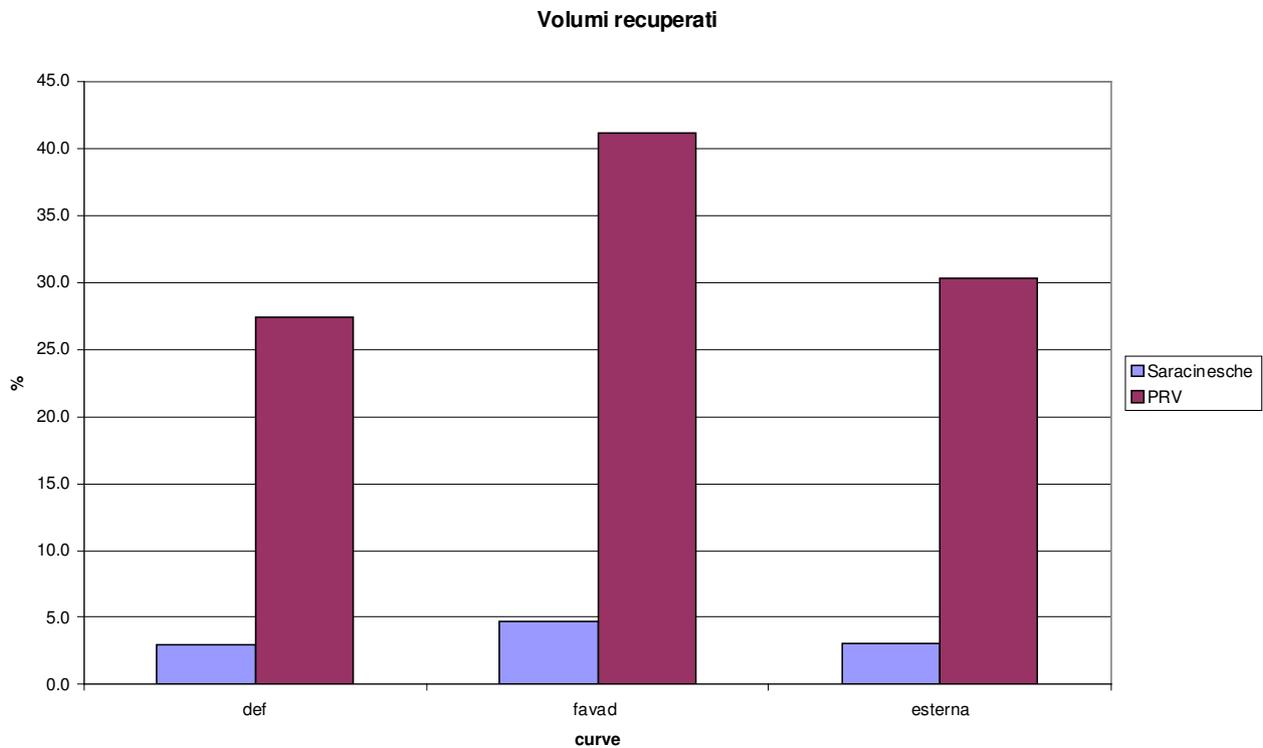


Figura 4.5 Percentuale di volumi recuperati con l'inserimento di saracinesche e PRV utilizzando differenti curve PRD

Il grafico di Figura 4.2 visualizza quale sia l'entità delle differenze nell'utilizzo degli organi, infatti la PRV permette recuperi molto maggiori a parità di pressione minima fissata. Questa è una diretta conseguenza del diverso andamento delle pressioni che le valvole riescono a mantenere nella rete durante l'arco della giornata, come mostra la Figura 4.6.

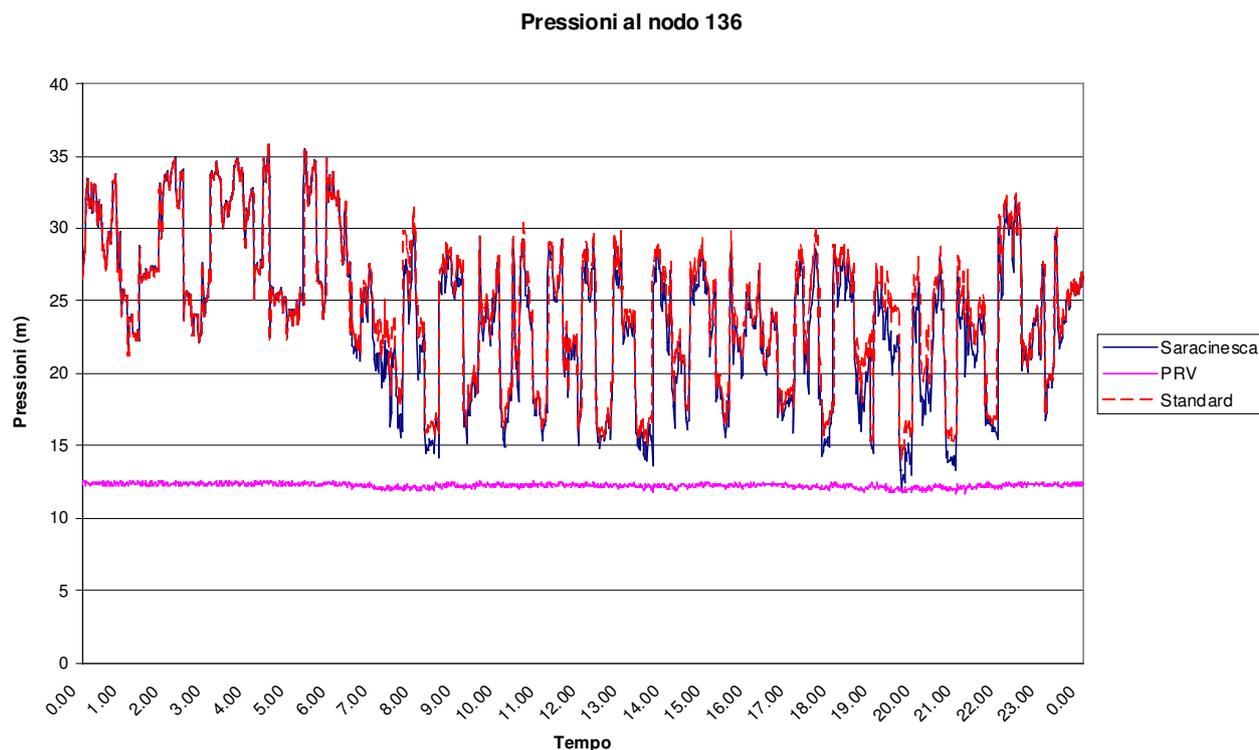


Figura 4.6 Pressione al nodo critico 136 in presenza di saracinesca e di PRV ai due ingressi e per la condizione normale di funzionamento (standard).

Come si nota dal grafico di Figura 4.6 l'utilizzo delle saracinesche, settate per il momento di pressione minima, non riesce a modificare molto l'andamento delle pressioni in rete; diversamente l'utilizzo delle PRV fissa la pressione al nodo critico attorno a 12 m per tutta la giornata, sicuramente generando maggiore difficoltà di prelievo all'utenza ma evidentemente rendendo più incisiva l'azione di recupero di volumi d'acqua. L'andamento sulle 24 ore delle portate totali immesse nel settore di Vecchiazzano è riportato in Figura 4.7 e in Figura 4.8, mentre in Figura 4.9 è mostrato in confronto tra l'andamento delle portate totali in rete nei casi di utilizzo delle saracinesche o delle PRV, facendo riferimento ai dati delle simulazioni con curve PRD di Default sia per le perdite che per la domanda..

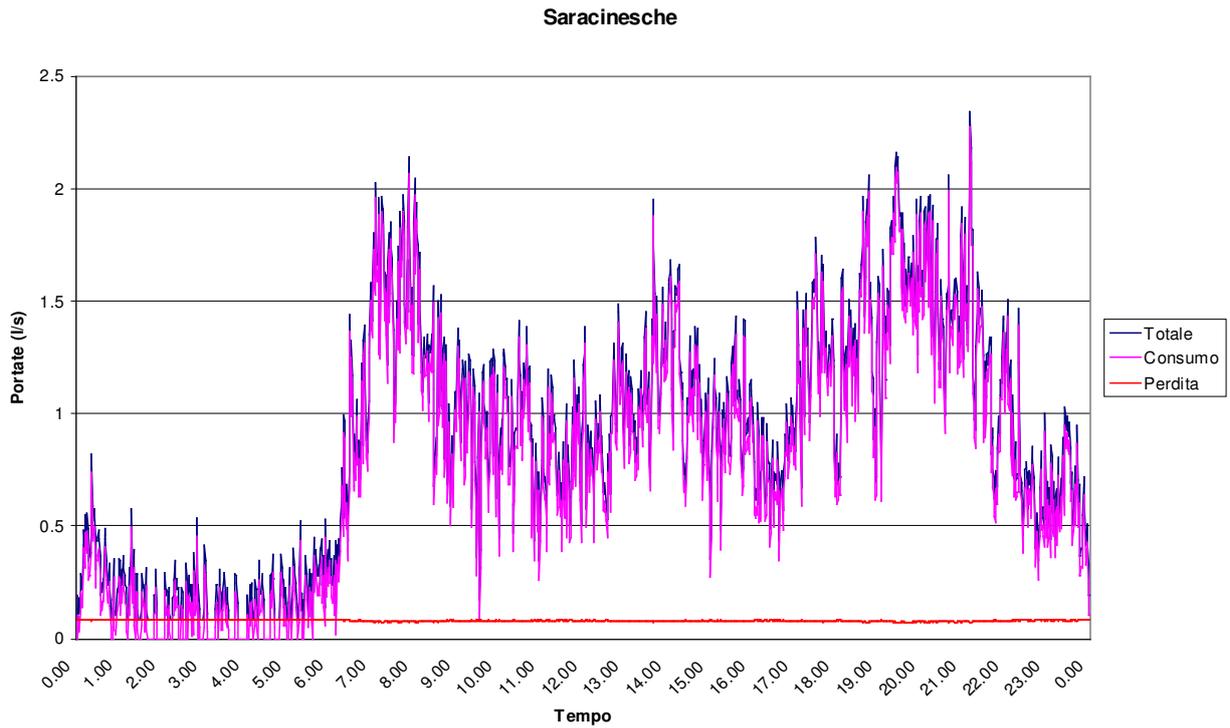


Figura 4.7 Portata totale in ingresso con saracinesche nel 1° scenario

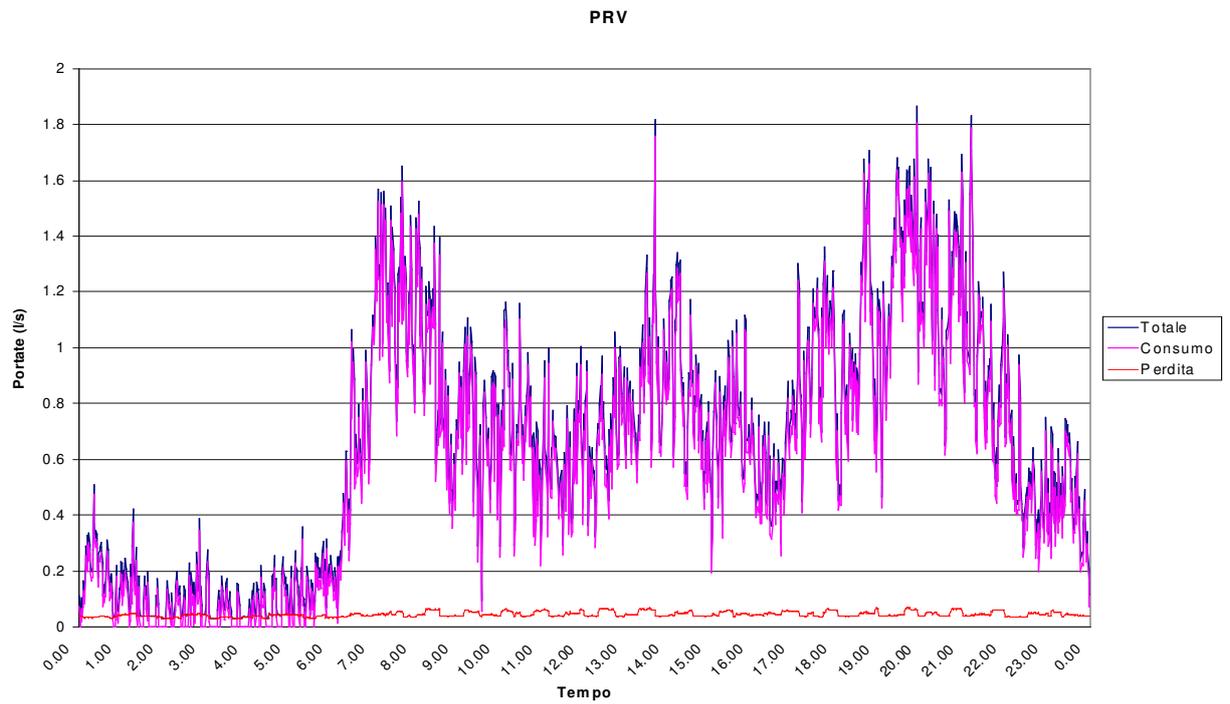


Figura 4.8 Portata totale in ingresso con PRV nel 1° scenario

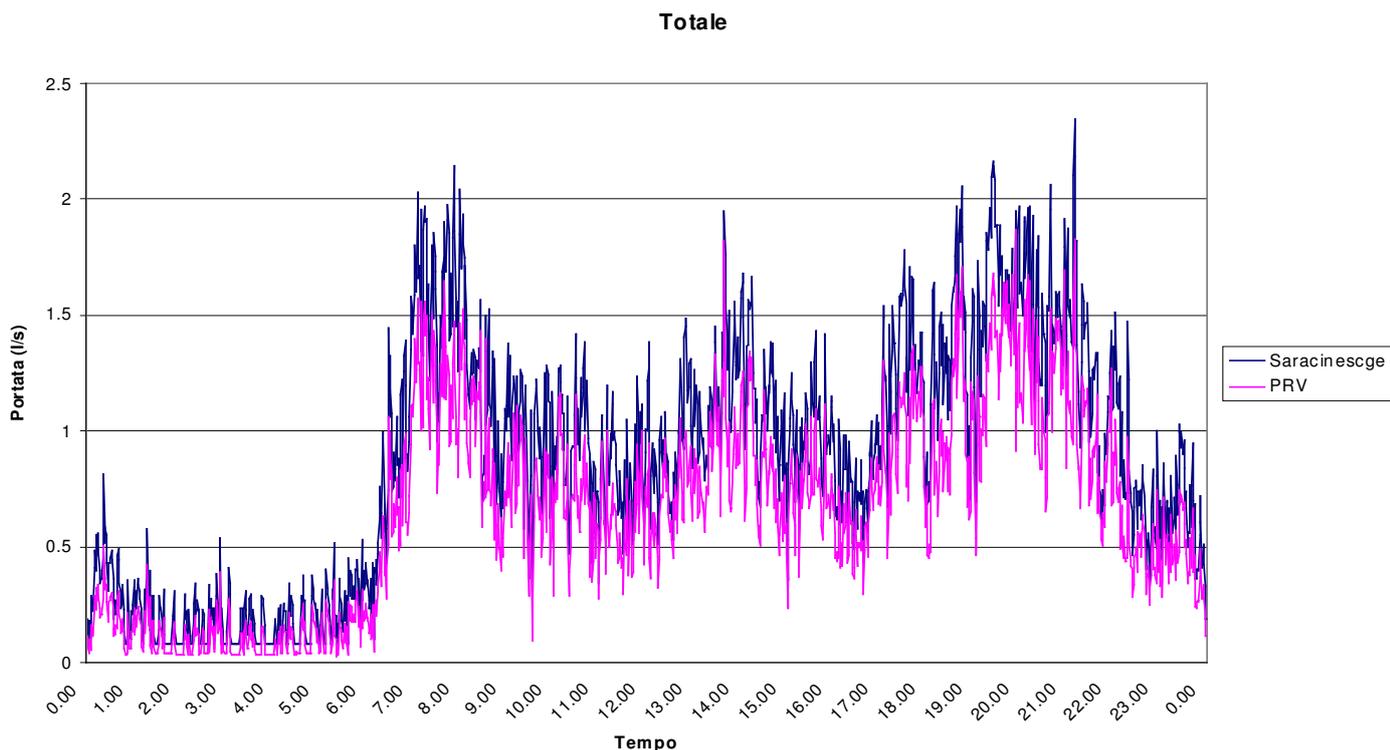


Figura 4.9 Confronto tra le portate totali della rete nel caso si utilizzino Saracinesche o PRV

Il vantaggio della PRV è che riesce a ridurre molto le perdite nelle ore notturne dove le saracinesche lasciano la situazione praticamente invariata rispetto all'originale. Le tabelle seguenti mostrano numericamente quali siano le percentuali di recupero sui volumi persi.

| | | Saracinesche | | Recupero di Volume di perdita | |
|---------|---------|--------------|-------|-------------------------------|--|
| | | domanda | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna | |
| | default | 3.16 | 2.97 | 3.14 | |
| | favad | 3.04 | 2.86 | 3.02 | |

| | | PRV | | Recupero di Volume di perdita | |
|---------|---------|---------|-------|-------------------------------|--|
| | | domanda | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna | |
| | default | 46.02 | 45.94 | 46.01 | |
| | favad | 43.37 | 43.30 | 43.35 | |

Prendendo in esame la situazione con le curve di Default è interessante notare che la PRV recupera il 27.4% sul volume totale ma ben più alta è la percentuale sul volume di perdita, pari al 46.02%, ciò non si può dire per le saracinesche. Questo a riprova di come sia incisivo l'utilizzo delle PRV nei confronti delle perdite.

In alternativa alla riduzione delle pressioni si può prendere in considerazione l'ipotesi della turnazione; considerando di sospendere l'erogazione di acqua durante la giornata in orari compresi tra le 21:00 e le 06:00 e, successivamente, tra le 13:00 e le 18:00 o oltre se necessario. Premesso ciò, la seguente tabella mostra quante ore di mancata erogazione sarebbero necessarie per uguagliare i volumi recuperati nello scenario considerato, per le differenti curve PRD attribuite alla domanda e alle perdite idriche.

| Saracinesche | | Ore di mancata erogazione | | |
|--------------|---------|---------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | hh.mm | default | favad | esterna |
| | default | 00:23 | 00:41 | 00:25 |
| | favad | 00:23 | 00:41 | 00:24 |

| PRV | | Ore di mancata erogazione | | |
|---------|---------|---------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | hh.mm | default | favad | esterna |
| | default | 10.34 | 13.33 | 11.12 |
| | favad | 10.32 | 13.31 | 11.08 |

Come si ci aspettava le ore di chiusura relative allo scenario delle PRV sono decisamente superiori alle altre in relazione ai maggiori recuperi ottenuti con le PRV.

In Tabella 4.3 sono riportate le velocità massime registrate nei vari rami della rete in condizioni di funzionamento Standard, con le saracinesche o con le PRV settate per ottenere una pressione minima al nodo 136 pari a 12m.

| Velocità massime (m/s) | | | |
|------------------------|----------|--------------|-------|
| Ramo | Standard | Saracinesche | PRV |
| M96 | 0 | 0 | 0 |
| M97 | -0.12 | -0.11 | -0.08 |
| M102 | 0.09 | 0.08 | 0.07 |
| M98 | -0.12 | -0.11 | -0.09 |
| M101 | 0.05 | 0.04 | 0.04 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| M99 | -0.13 | -0.11 | -0.09 |
| M100 | -0.07 | -0.06 | -0.05 |
| M103 | -0.11 | -0.1 | -0.08 |
| M177 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| M106 | 0.09 | 0.08 | 0.07 |
| M107 | -0.54 | -0.49 | -0.4 |
| M108 | 0.1 | 0.09 | 0.07 |
| M109 | -0.43 | -0.4 | -0.32 |
| M112 | 0.08 | 0.07 | 0.06 |
| M110 | -0.47 | -0.43 | -0.35 |
| M111 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| M116 | 0.13 | 0.12 | 0.1 |
| M113 | -0.36 | -0.34 | -0.27 |
| M206 | 0 | 0 | 0 |
| M114 | -0.38 | -0.35 | -0.28 |
| M115 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| M9 | 0.11 | 0.12 | 0.11 |
| M117 | -0.19 | -0.18 | -0.14 |
| M120 | 0.15 | 0.14 | 0.11 |
| M118 | -0.28 | -0.26 | -0.21 |
| M119 | 0.14 | 0.12 | 0.1 |
| M122 | -0.09 | -0.09 | -0.07 |
| M121 | 0.1 | 0.09 | 0.07 |
| M123 | -0.08 | -0.03 | -0.03 |
| M124 | 0.08 | 0.07 | 0.06 |
| M125 | -0.08 | 0.01 | 0.01 |
| M126 | 0.23 | 0.21 | 0.17 |
| M127 | 0.17 | 0.15 | 0.12 |
| M128 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |
| M129 | 0.23 | 0.2 | 0.15 |
| M130 | 0.2 | 0.18 | 0.14 |
| M131 | 0.35 | 0.32 | 0.25 |
| M132 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| M141 | -0.01 | -0.01 | -0.01 |
| M11 | 0 | 0 | 0 |
| M133 | -0.01 | -0.01 | -0.01 |
| M135 | 0 | 0 | 0 |
| M136 | 0 | 0 | 0 |
| M138 | -0.01 | -0.01 | 0 |
| M139 | 0.04 | 0.04 | 0.03 |
| M140 | -0.02 | -0.02 | -0.02 |
| M142 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| M144 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| M146 | -0.03 | -0.03 | -0.02 |
| M143 | -0.06 | -0.06 | -0.05 |
| M145 | -0.04 | -0.03 | -0.03 |
| M149 | -0.04 | -0.03 | -0.03 |
| M147 | -0.08 | -0.07 | -0.06 |
| M148 | 0 | 0 | 0 |
| M150 | -0.04 | -0.04 | -0.03 |
| M151 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| M154 | -0.05 | -0.04 | -0.03 |
| M152 | -0.07 | -0.06 | -0.05 |
| M153 | -0.05 | -0.05 | -0.04 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| M155 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| M191 | 0.04 | 0.04 | 0.03 |
| M188 | -0.08 | -0.07 | -0.06 |
| M156 | 0 | 0 | 0 |
| M159 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| M157 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| M158 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M160 | -0.05 | -0.04 | -0.03 |
| M161 | -0.05 | -0.04 | -0.03 |
| M162 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M166 | 0.07 | 0.06 | 0.05 |
| M163 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M164 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| M167 | 0 | 0 | 0 |
| M169 | 0.07 | 0.07 | 0.05 |
| M168 | -0.01 | -0.01 | 0 |
| M170 | -0.08 | -0.08 | -0.06 |
| M171 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M174 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| M172 | 0 | 0 | 0 |
| M173 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| M12 | 0.11 | 0.12 | 0.11 |
| M22 | -0.15 | -0.17 | -0.15 |
| M104 | 0.6 | 0.55 | 0.44 |
| M175 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M176 | -0.08 | -0.08 | -0.06 |
| M178 | 0 | 0 | 0 |
| M179 | -0.03 | -0.03 | -0.02 |
| M183 | 0.04 | 0.04 | 0.03 |
| M180 | -0.09 | -0.08 | -0.06 |
| M181 | -0.09 | -0.08 | -0.06 |
| M182 | 0.04 | 0.04 | 0.03 |
| M184 | -0.08 | -0.07 | -0.06 |
| M187 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| M186 | -0.08 | -0.08 | -0.06 |
| M185 | -0.06 | -0.05 | -0.04 |
| M189 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| M190 | 0.04 | 0.04 | 0.03 |
| M192 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| M194 | 0.39 | 0.34 | 0.27 |
| M193 | 0.36 | 0.32 | 0.25 |
| M195 | -0.02 | -0.01 | -0.01 |
| M200 | -0.09 | -0.08 | -0.06 |
| M201 | -0.08 | -0.07 | -0.06 |
| M202 | 0.36 | 0.32 | 0.25 |
| M25 | 0 | 0 | 0 |
| M26 | 0.27 | 0.24 | 0.19 |
| M28 | 0.26 | 0.23 | 0.18 |
| M204 | -0.37 | -0.34 | -0.27 |
| M205 | 0 | 0 | 0 |
| M27 | -0.14 | -0.12 | -0.1 |
| M29 | 0.07 | 0.06 | 0.05 |
| M30 | 0.25 | 0.23 | 0.18 |
| M32 | 0.25 | 0.22 | 0.18 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| M31 | -0.09 | -0.08 | -0.06 |
| M33 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M35 | -0.07 | -0.07 | -0.05 |
| M36 | -0.24 | -0.22 | -0.17 |
| M37 | -0.14 | -0.12 | -0.1 |
| M40 | 0 | 0 | 0 |
| M38 | 0 | 0 | 0 |
| M39 | -0.14 | -0.12 | -0.1 |
| M41 | 0.04 | 0.04 | 0.03 |
| M42 | -0.05 | -0.04 | -0.03 |
| M43 | -0.15 | -0.14 | -0.11 |
| M44 | -0.14 | -0.12 | -0.1 |
| M45 | -0.12 | -0.11 | -0.09 |
| M46 | -0.12 | -0.11 | -0.09 |
| M47 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| M48 | -0.12 | -0.11 | -0.09 |
| M50 | 0 | 0 | 0 |
| M49 | -0.12 | -0.11 | -0.09 |
| M51 | -0.01 | -0.01 | -0.01 |
| M52 | -0.12 | -0.11 | -0.08 |
| M54 | 0.12 | 0.11 | 0.08 |
| M53 | 0 | 0 | 0 |
| M55 | 0.01 | 0.01 | 0 |
| M58 | 0.11 | 0.1 | 0.08 |
| M7 | -0.11 | 0.03 | 0.01 |
| M56 | 0 | 0 | 0 |
| M57 | -0.05 | -0.04 | -0.03 |
| M59 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |
| M61 | 0.1 | 0.09 | 0.07 |
| M60 | 0.09 | 0.08 | 0.07 |
| M63 | 0.04 | 0.04 | 0.03 |
| M65 | 0.09 | 0.08 | 0.06 |
| M62 | -0.09 | -0.08 | -0.06 |
| M64 | 0.07 | 0.07 | 0.05 |
| M69 | -0.04 | 0.06 | 0.05 |
| M66 | -0.15 | -0.13 | -0.11 |
| M67 | -0.04 | -0.04 | -0.03 |
| M68 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| M70 | 0.07 | 0.06 | 0.05 |
| M73 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| M71 | -0.03 | -0.03 | -0.02 |
| M72 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| M74 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| M77 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| M75 | -0.03 | -0.03 | -0.02 |
| M8 | -0.12 | -0.13 | -0.12 |
| M23 | 0.27 | 0.24 | 0.19 |
| M76 | 0.04 | 0.04 | 0.03 |
| M78 | 0.06 | 0.06 | 0.05 |
| M80 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| M79 | -0.06 | -0.05 | -0.04 |
| M165 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| M81 | -0.15 | -0.14 | -0.11 |
| M82 | 0.1 | 0.09 | 0.07 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| M83 | -0.14 | -0.13 | -0.1 |
| M84 | -0.14 | -0.13 | -0.1 |
| M86 | 0.09 | 0.08 | 0.06 |
| M85 | -0.04 | -0.03 | -0.03 |
| M87 | -0.13 | -0.12 | -0.09 |
| M90 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| M88 | -0.13 | -0.12 | -0.1 |
| M89 | -0.03 | -0.03 | -0.02 |
| M91 | -0.13 | -0.12 | -0.09 |
| M92 | -0.07 | -0.07 | -0.05 |
| M93 | -0.13 | -0.11 | -0.09 |
| M94 | -0.13 | -0.11 | -0.09 |
| M95 | 0 | 0 | 0 |
| M24 | 0.27 | 0.24 | 0.19 |
| M105 | 0.6 | 0.55 | 0.44 |

Tabella 4.3 Velocità nei rami nel 1° scenario

Questi valori sono stati graficati per visualizzare le differenze di velocità che si verificano in rete. Le Figure 4.10 e 4.11 riportano le velocità massime nei vari rami con le saracinesche e con le PRV da confrontare con le normali velocità presenti in rete; la Figura 4.12 mostra le differenze tra velocità simulate e standard per evidenziarne le variazioni.

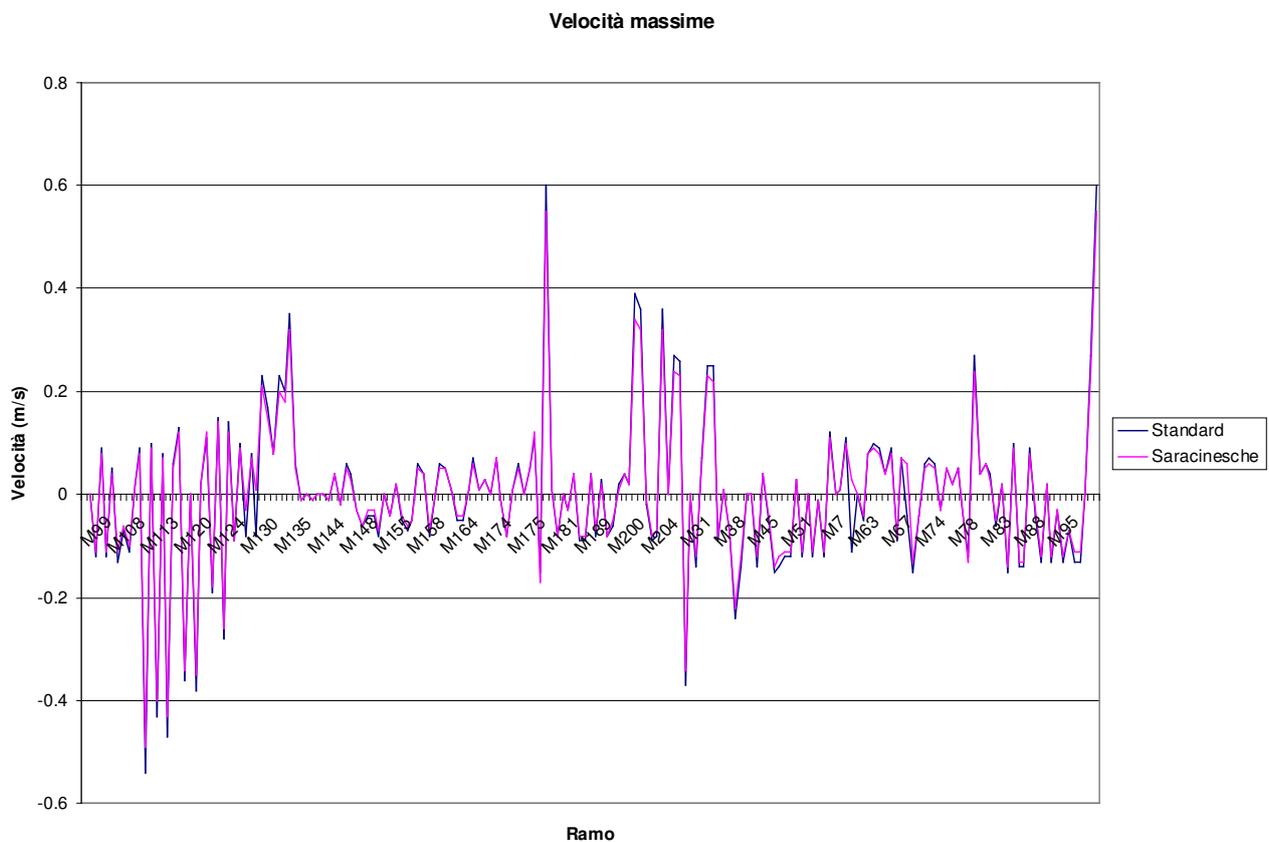


Figura 4.10 Velocità massime con saracinesche nel 1° scenario

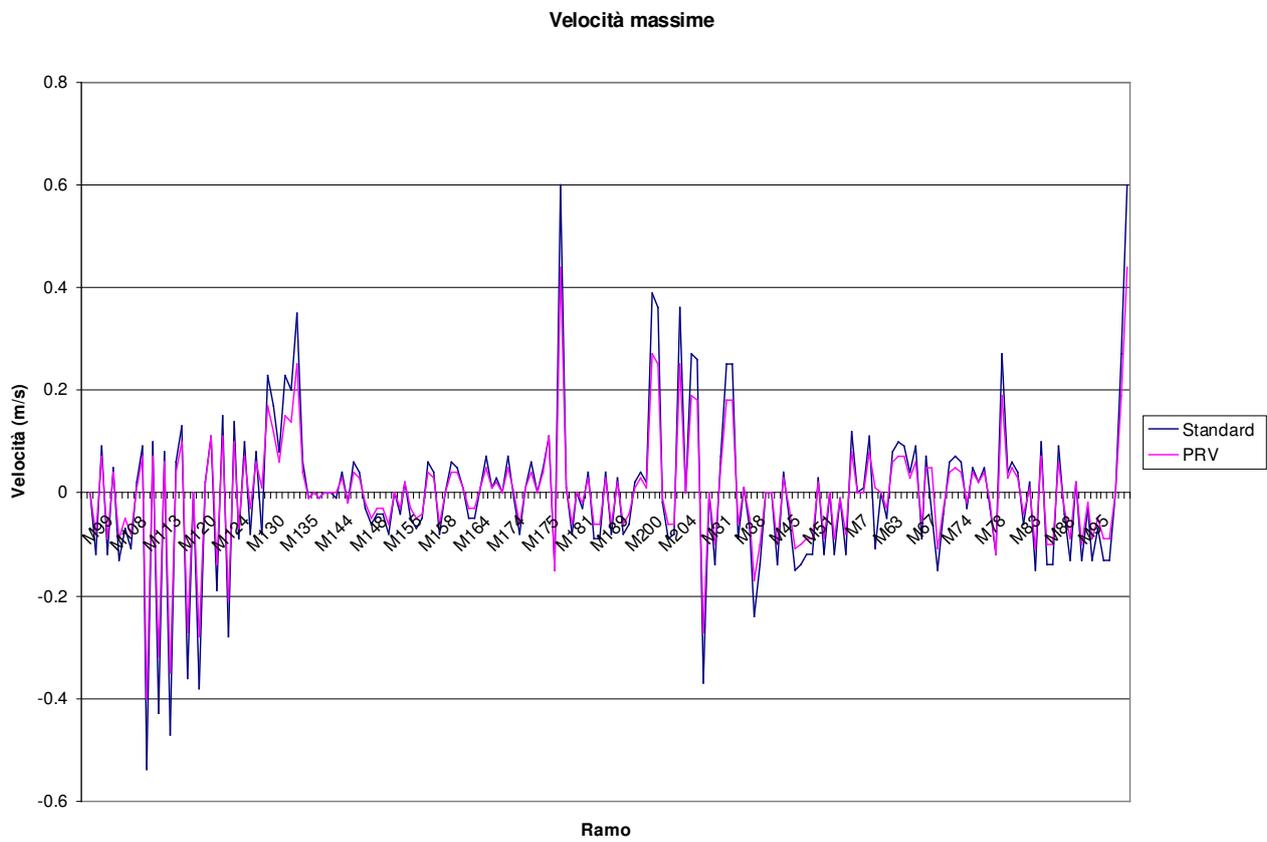


Figura 4.11 Velocità massime con PRV nel 1°scenario

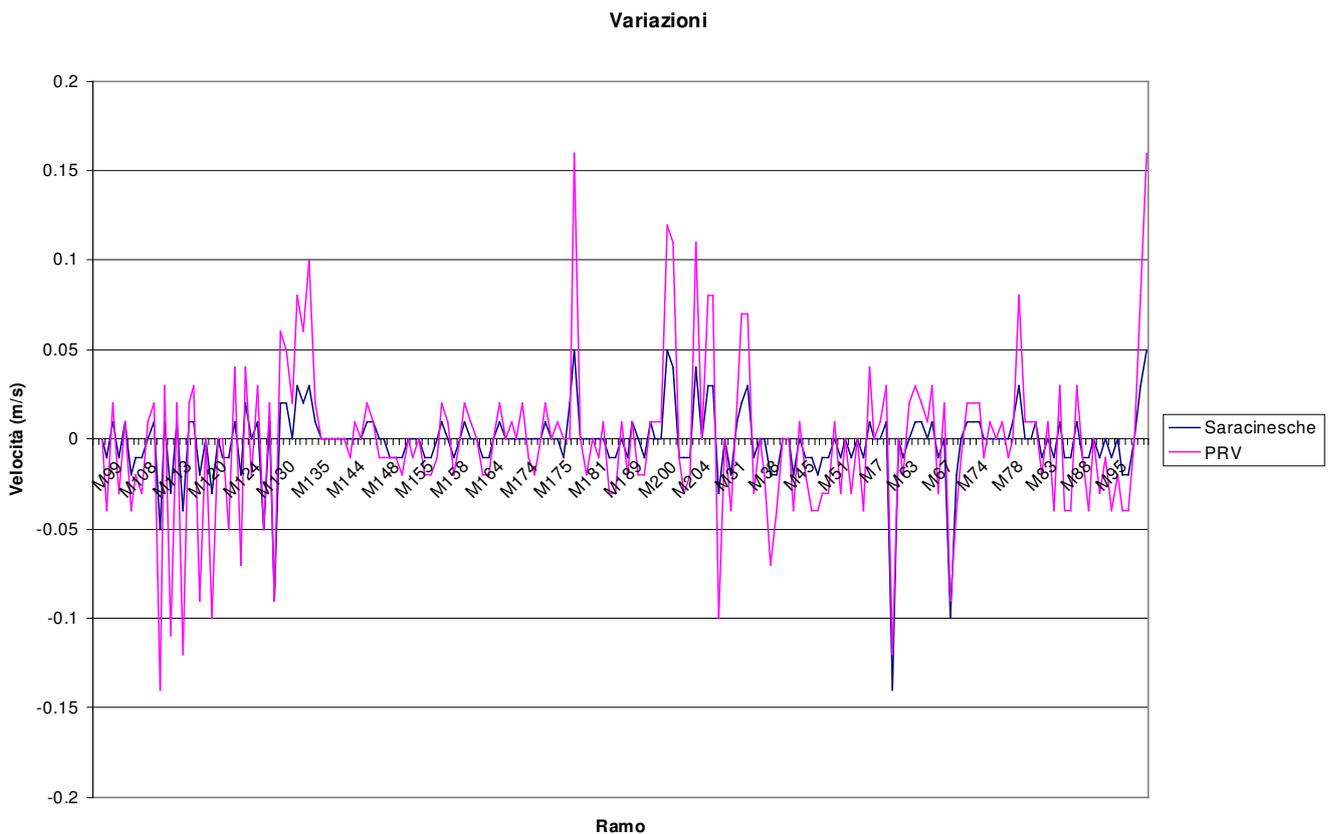


Figura 4.12 Confronti tra velocità massime con saracinesche e PRV nel 1°scenario

Le Figure 4.10, 4.11 e 4.12 mostrano come nelle simulazioni con riduzione della pressione le velocità diminuiscono rispetto alla situazione standard, soprattutto quelle registrate nella simulazione con le PRV, per effetto della diminuzione dei

flussi in rete. Nel momento di minima pressione (alle ore 19:39) la distribuzione delle velocità in rete è di seguito raffigurata.

Standard

Saracinesche

PRV

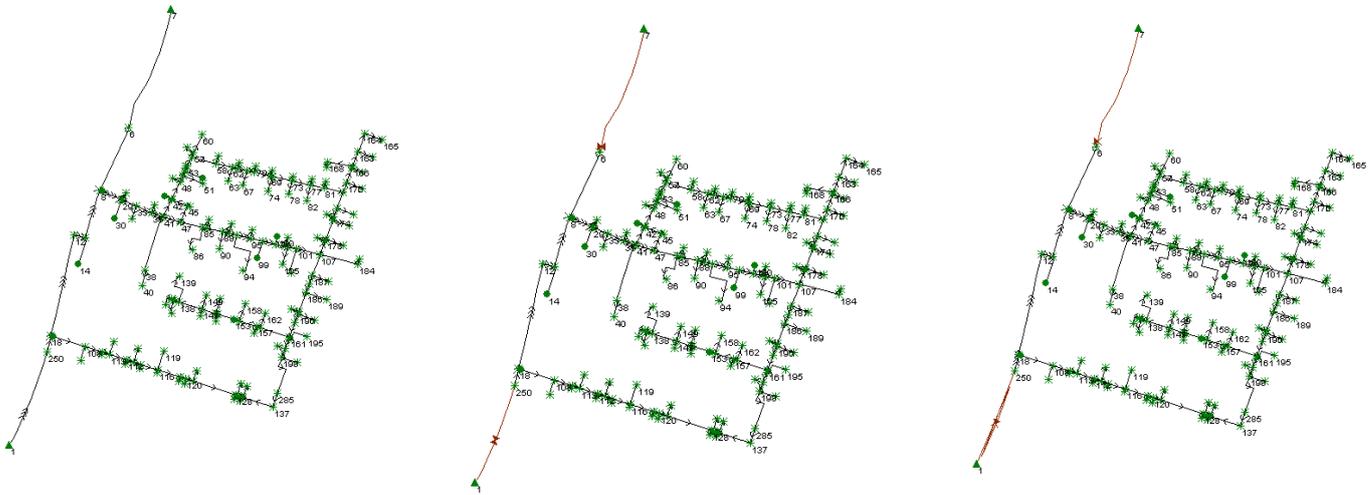


Figura 4.13 Distribuzioni delle velocità nel momento di minima pressione al nodo 136

Legata alla distribuzione dei flussi e per i riflessi che possono aversi sulla qualità dell'acqua, possono essere analizzati i cambi di direzione che si verificano nella rete. È evidente che in una situazione di scarsità idrica un'accentuazione dei cambi di direzione dell'acqua non è prioritaria, ma ha senso comunque considerarla. Infatti, la variazione del regime dei flussi, pur potenzialmente molto meno onerosa in termini di qualità dell'acqua di un regime di turnazione dell'erogazione agli utenti, può portare al distacco ed alla mobilitazione di sedimenti il cui risultato generalmente non è tanto quello di alterare i parametri che determinano la potabilità dell'acqua, ma piuttosto quello di generare alterazioni della colorazione che inducono atteggiamenti di rifiuto da parte dell'utente. In Figura 4.14 sono riportati cambi di direzione per le simulazioni effettuate.

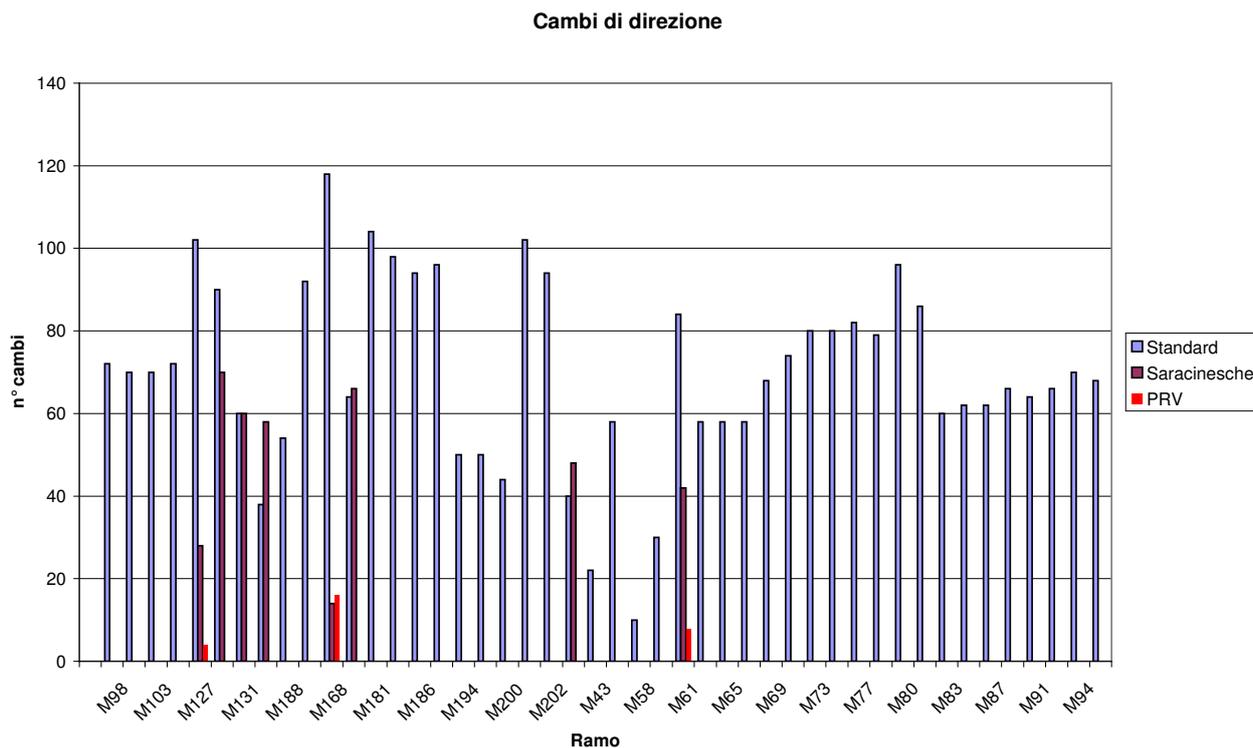


Figura 4.14 Cambi di direzione nel 1° scenario

Nel settore di rete di distribuzione esaminato, alimentato da due ingressi e quindi naturalmente soggetto a zone in cui si può avere durante le 24 ore inversione nella direzione dell'acqua, i provvedimenti di riduzione della pressione portano ad una diminuzione dei cambi di direzione che, unitamente ad una diminuzione della velocità, accentuano la tendenza al deposito delle particelle sospese. Pur non entrando nel merito di un'analisi specifica, per la quale sarebbero necessarie specifiche analisi di laboratorio, si può prevedere che complessivamente in questo caso non dovrebbero generarsi problemi della qualità dell'acqua; come mostra la Figura 4.15.

In Figura 4.15 e 4.16 sono visualizzano le portate e pressioni al nodo 250, uno dei due ingressi, nel caso di inserimento, rispettivamente, di una saracinesca parzializzata e di una valvole riduttrice di pressione PRV.

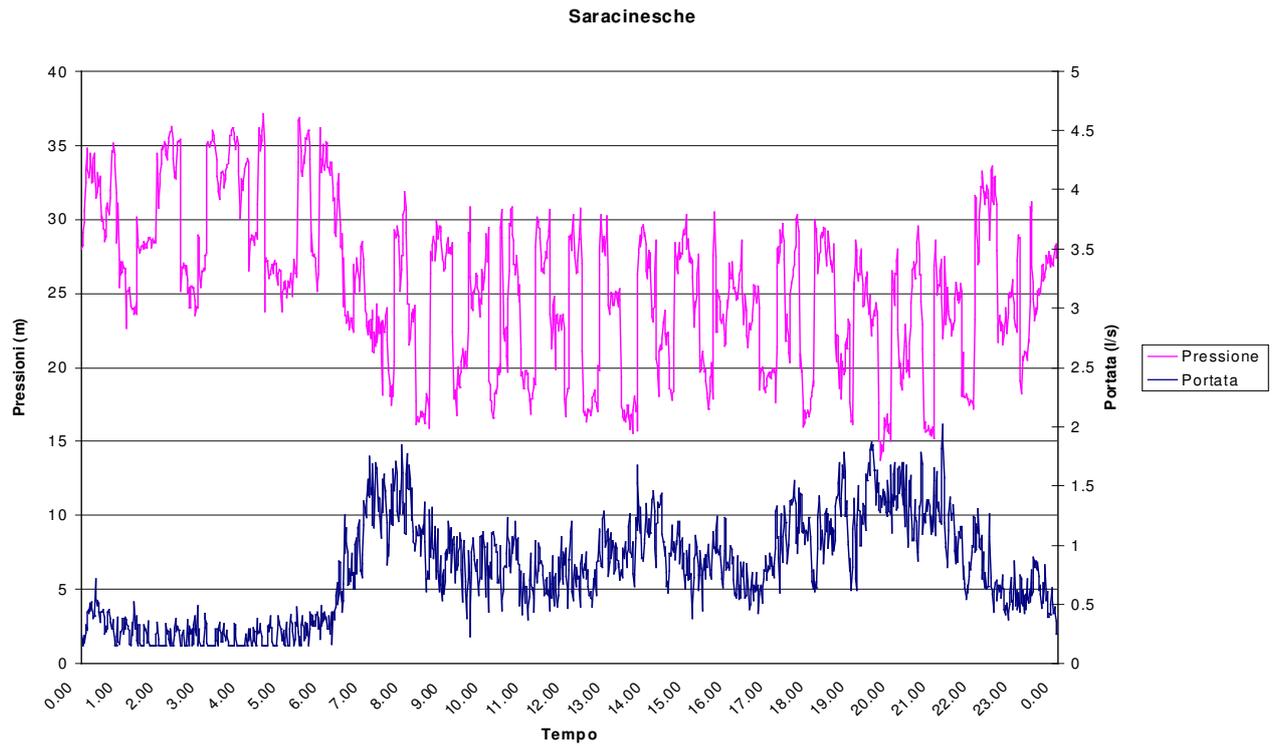


Figura 4.15 Portata e pressione in uno dei due ingressi, nodo 250, con inserimento di una saracinesca parzializzata.

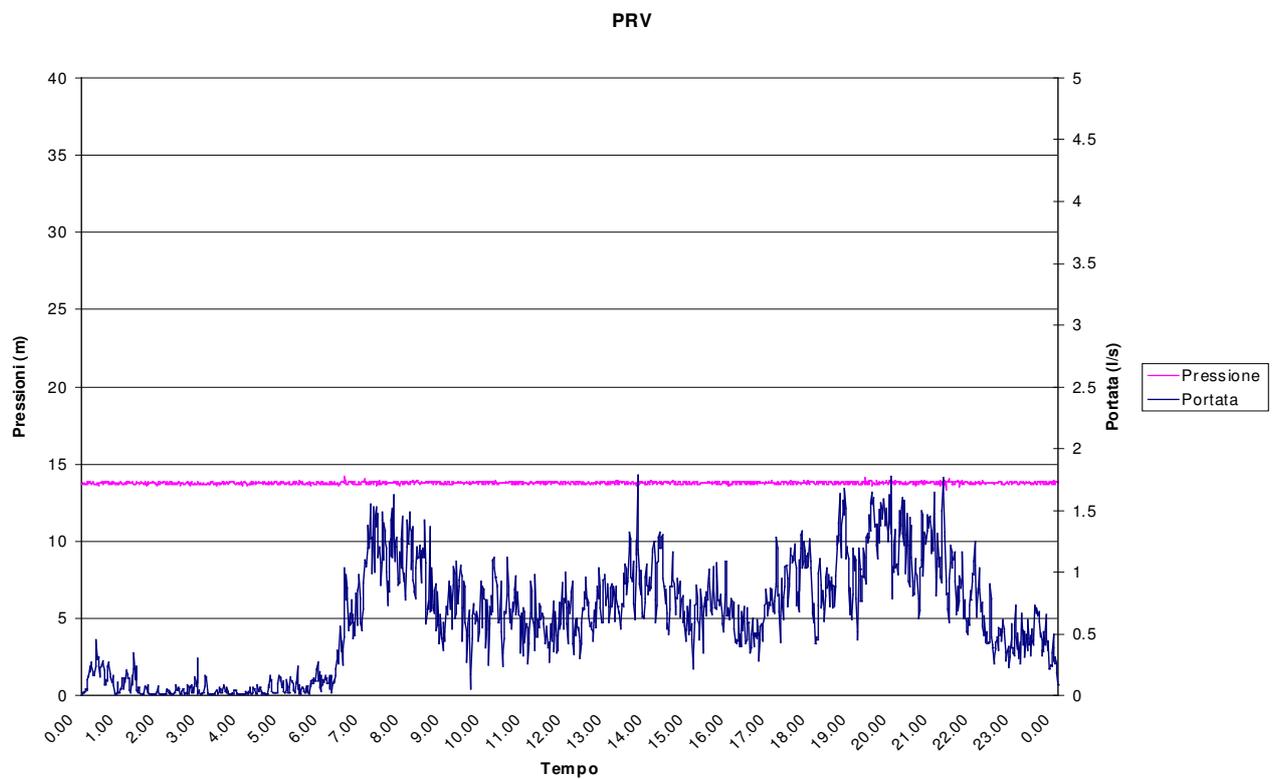


Figura 4.16 Portata e pressione in uno dei due ingressi, nodo 250, con inserimento di una PRV.

4.2.2 Simulazione del 2° scenario di riduzione della pressione

Il 2° scenario di riduzione prevede una riduzione della pressione media al nodo critico 136 da 24.62 m a 18 m; per ottenere tale variazione sono state settate di conseguenza le saracinesche e le valvole di riduzione della pressione poste ai due ingressi del distretto. In questo caso le aperture dei due diversi tipi di organi sono state individuate separatamente e con tali configurazioni è stata simulata la rete utilizzando le varie relazioni PRD per la domanda e le perdite idriche scelte nell'analisi di sensitività.

La simulazione del 2° scenario porta ai seguenti valori:

| Saracinesche | | Volume in ingresso | | |
|--------------|----------|--------------------|----------|----------|
| domanda | | | | |
| perdite | l/giorno | default | favad | esterna |
| | default | 58777.93 | 54118.79 | 57791.26 |
| | favad | 58843.57 | 54166.25 | 57849.87 |

| PRV | | Volume in ingresso | | |
|---------|----------|--------------------|----------|----------|
| domanda | | | | |
| perdite | l/giorno | default | favad | esterna |
| | default | 68627.77 | 62764.86 | 67793.39 |
| | favad | 68660.34 | 62796.54 | 67827.34 |

| Saracinesche | | Recupero di Volume in ingresso | | |
|--------------|----------|--------------------------------|----------|----------|
| domanda | | | | |
| perdite | l/giorno | default | favad | esterna |
| | default | 19221.39 | 23880.53 | 20208.06 |
| | favad | 19155.75 | 23833.07 | 20149.45 |

| PRV | | Recupero di Volume in ingresso | | |
|---------|----------|--------------------------------|----------|----------|
| domanda | | | | |
| perdite | l/giorno | default | favad | esterna |
| | default | 9371.54 | 15234.46 | 10205.93 |
| | favad | 9338.98 | 15202.78 | 10171.98 |

| Saracinesche | | Recupero di Volume in ingresso | | |
|--------------|---------|--------------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 24.64 | 30.62 | 25.91 |
| | favad | 24.56 | 30.56 | 25.83 |

| PRV | | Recupero di Volume in ingresso | | |
|---------|---------|--------------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 12.01 | 19.53 | 13.08 |
| | favad | 11.97 | 19.49 | 13.04 |

Volumi recuperati

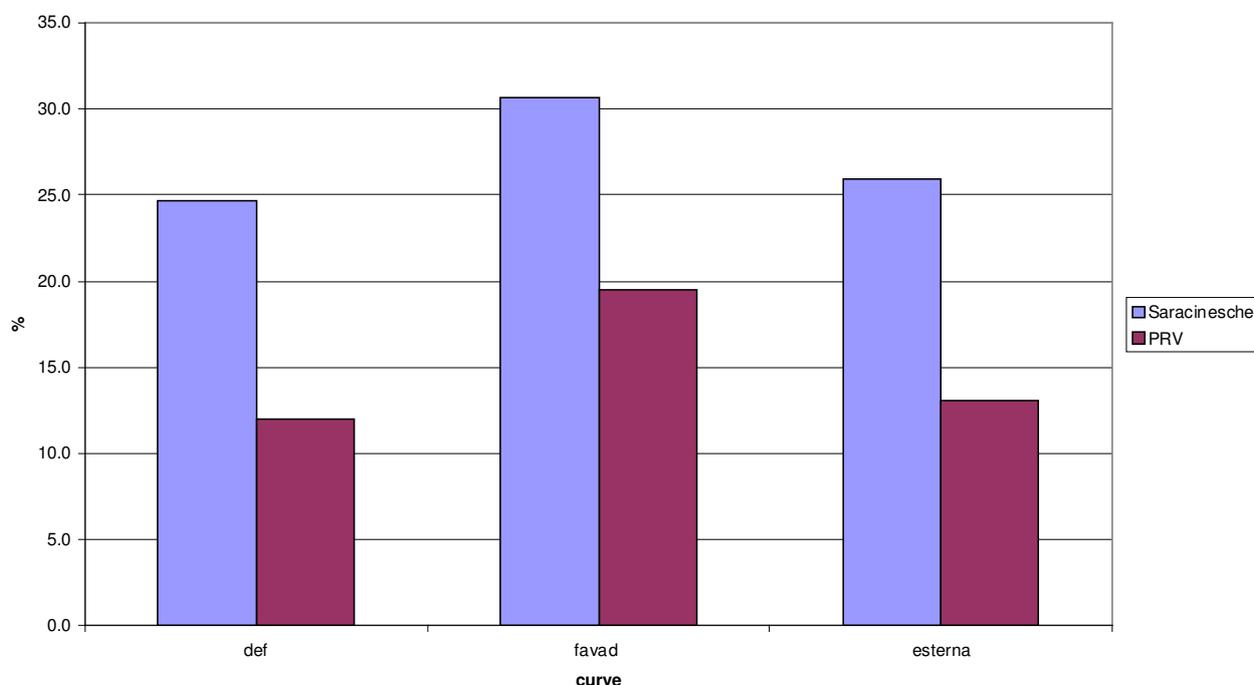


Figura 4.17 Percentuale di volumi recuperati con l’inserimento di saracinesche e PRV utilizzando differenti curve PRD

I risultati relativi a questo tipo di riduzione, rappresentati in forma percentuale in Figura 4.17, mostrano una situazione apparentemente opposta a quella ottenuta con il 1° scenario di riduzione della pressione: i volumi recuperati con le saracinesche sono decisamente maggiori rispetto a quelli recuperati con le PRV. Infatti, le saracinesche per raggiungere la pressione media prefissata devono chiudersi molto abbattendo molto le pressioni minime; questo poiché la riduzione della pressione

nella saracinesca è proporzionale al quadrato delle velocità che sono maggiori durante il giorno, cioè quando le pressioni sono già basse. L'andamento delle pressioni al nodo critico 136 è mostrato in Figura 4.18 con riferimento alle due configurazioni con saracinesca e PRV e all'uso delle curve PRD di Default sia per la domanda che per le perdite.

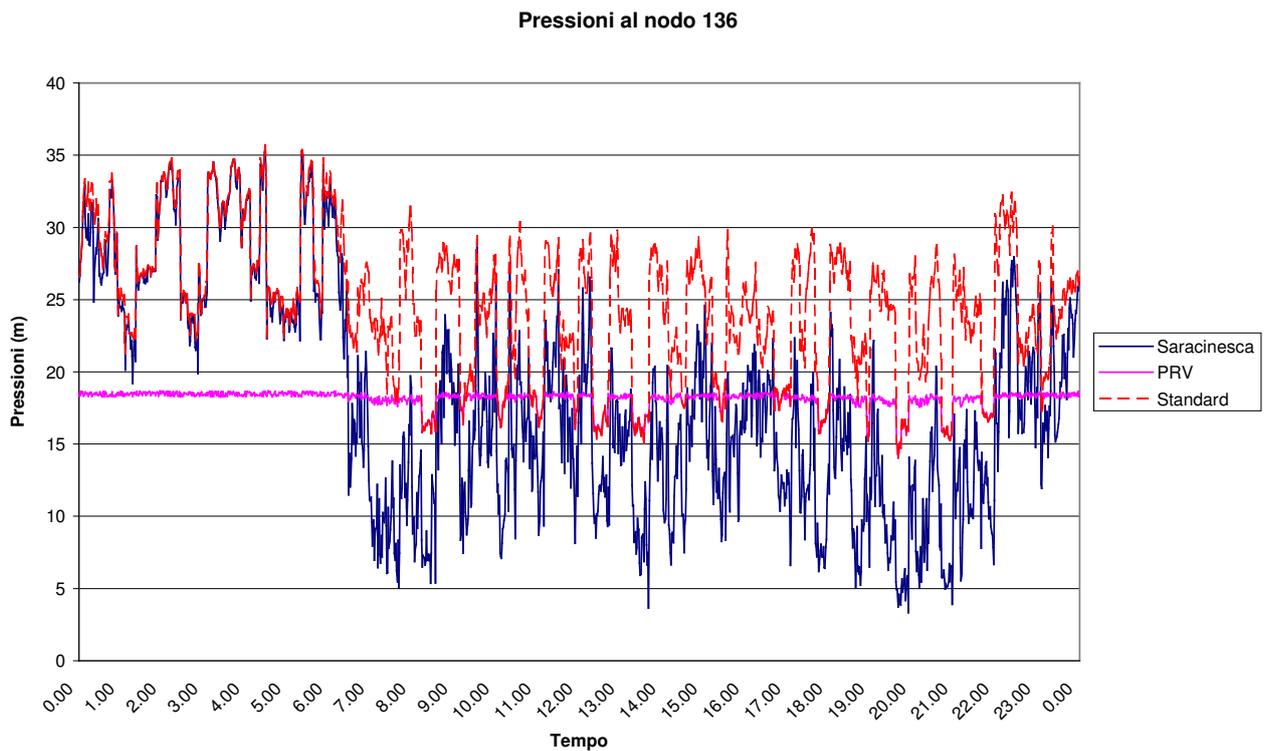


Figura 4.18 Pressione al nodo critico 136 in presenza di saracinesca e di PRV ai due ingressi e per la condizione standard

La Figura 4.18 evidenzia come le pressioni minime nascenti dall'introduzione delle saracinesche siano eccessivamente basse (fino a 3.5 m) e come quindi si ricada in una condizione in cui è preferibile applicare un turnazione. Invece le PRV, seppur recuperando un volume minore, mantengono buone pressioni in rete e soprattutto le pressioni minime restano inalterate andando a ridurre soprattutto quelle massime. Le Figure 4.19 e 4.20 mostrano le portate totali e di consumo immesse in rete nel caso in cui siano presenti, rispettivamente, le saracinesche e le PRV; la Figura 4.21 pone invece a confronto le portate totali nei due casi.

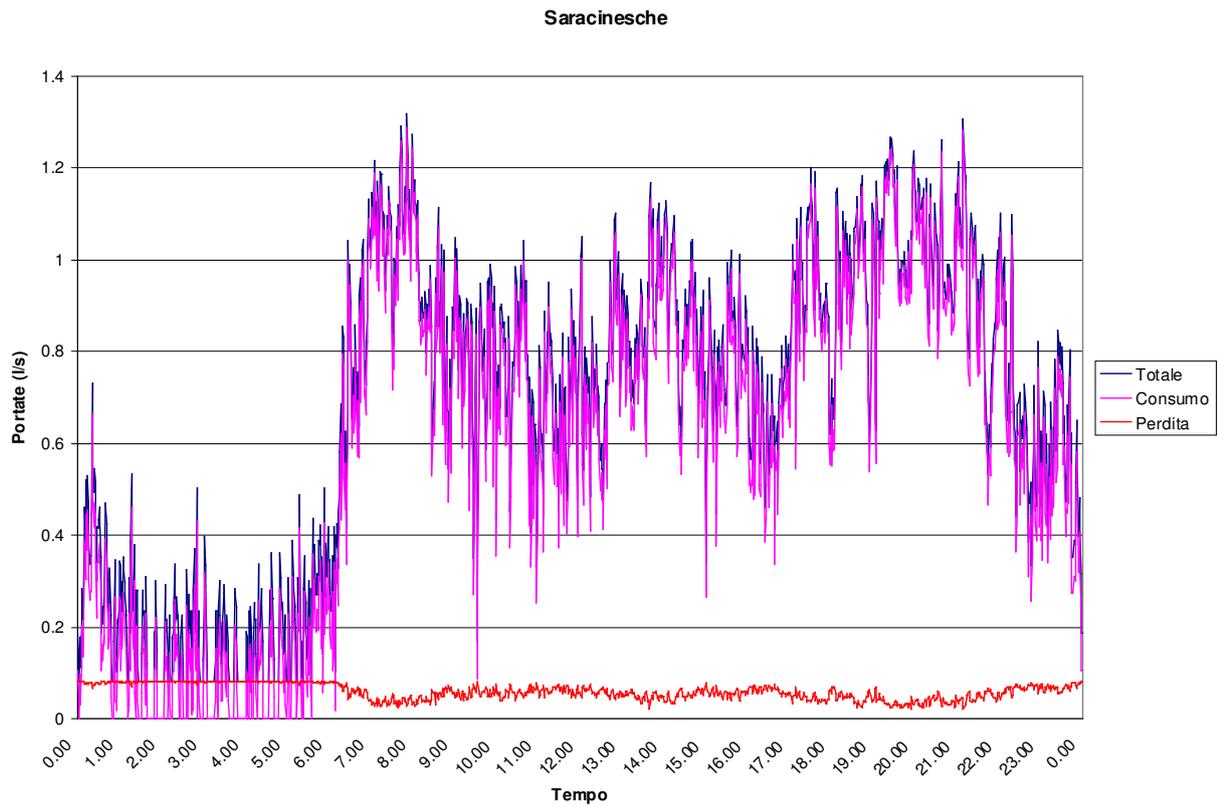


Figura 4.19 Portate totali in ingresso con le saracinesche nel 2° scenario

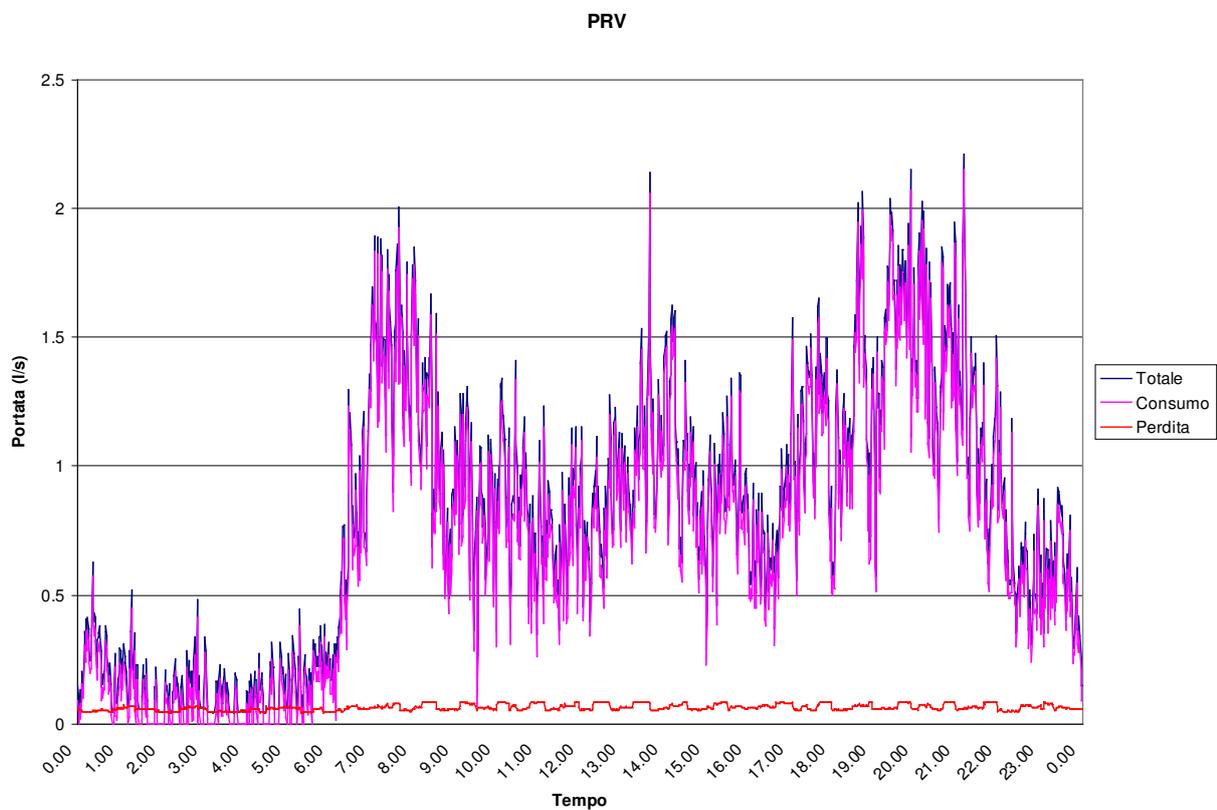


Figura 4.20 Portate totali in ingresso con le PRV nel 2° scenario

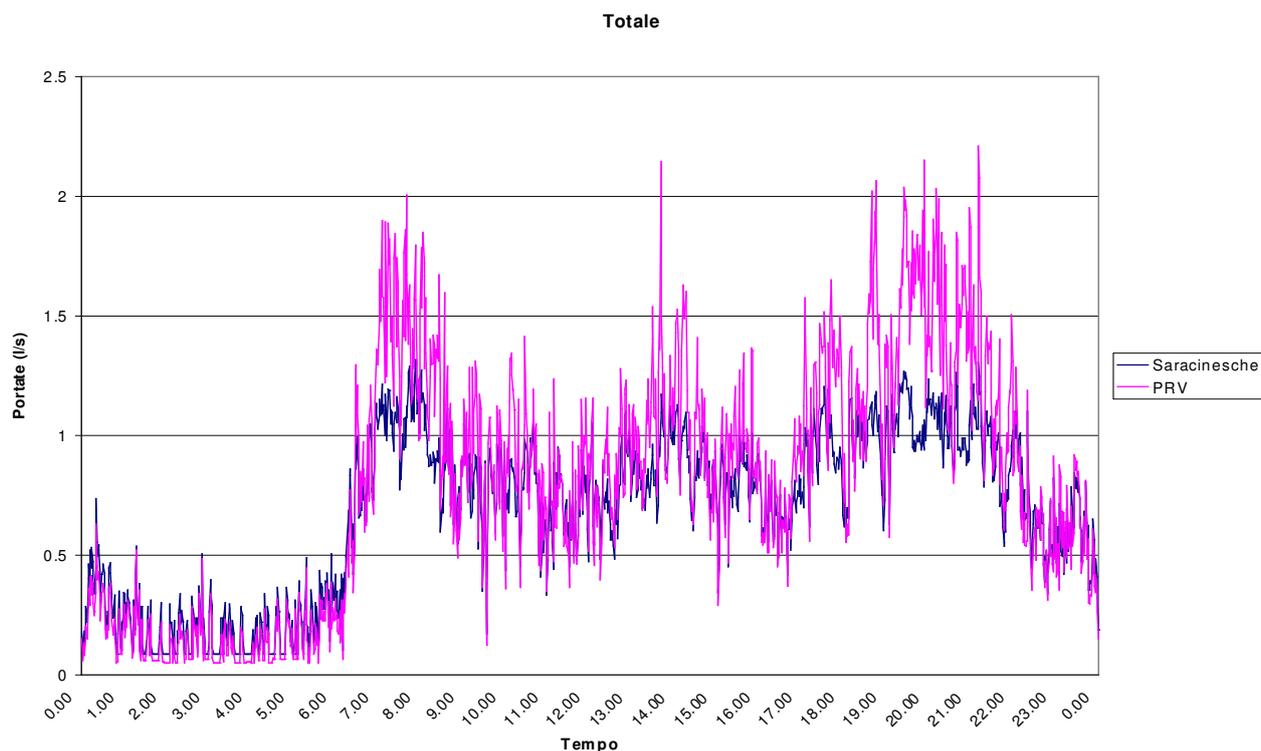


Figura 4.21 Confronto tra portate totali in ingresso nel 2° scenario

Anche in questo caso le saracinesche non riducono le perdite durante la notte poiché le velocità sono bassissime e le perdite di carico generate lo sono ancora di più. Le PRV agiscono in maniera opposta e più efficiente, permettendo di ridurre le perdite idriche reali soprattutto di notte. Per quanto riguarda le portate totali gli andamenti sono simili e seguono quello originale; ma con le saracinesche le portate si riducono maggiormente. Le seguenti tabelle permettono di confrontare numericamente le percentuali di riduzione sulle perdite generate dall'utilizzo dei diversi organi.

| | | Saracinesche | | Recupero di Volume di perdita | |
|---------|---------|--------------|-------|-------------------------------|--|
| | | domanda | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna | |
| | default | 27.48 | 22.83 | 26.41 | |
| | favad | 25.67 | 21.48 | 24.72 | |

| PRV | | Recupero di Volume di perdita | | |
|---------|---------|-------------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 22.81 | 22.76 | 22.81 |
| | favad | 22.34 | 22.30 | 22.34 |

Si nota come nonostante in termini di volumi totali con le saracinesche si recuperi molto di più, relativamente alle perdite le percentuali di recupero sono confrontabili, a riprova della forte influenza delle PRV sulle portate di perdita e in particolare su quelle notturne.

Le seguenti tabelle mostrano le equivalenti ore di mancata erogazione da effettuare in caso di turnazione per uguagliare i volumi recuperati nel caso di utilizzo invece di saracinesche e PRV, sempre nell'ipotesi di sospendere l'erogazione di acqua durante la giornata in orari compresi tra le 21:00 e le 06:00 e, successivamente, tra le 13:00 e le 18:00 o oltre se necessario.

| Saracinesche | | Ore di mancata erogazione | | |
|--------------|---------|---------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | hh.mm | default | favad | esterna |
| | default | 10.05 | 11.18 | 10.16 |
| | favad | 10.04 | 11.16 | 10.16 |

| PRV | | Ore di mancata erogazione | | |
|---------|---------|---------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | hh.mm | default | favad | esterna |
| | default | 2.41 | 9.11 | 3.15 |
| | favad | 2.4 | 9.11 | 3.14 |

Si può notare che la differenza tra il numero di ore e tra i volumi recuperati non è proporzionale; ciò accade poiché le prime 9 ore di chiusura sono di notte e quindi il recupero è basso, mentre le successive ore sono di giorno e posso recuperare molto di più a scapito del servizio alle utenze.

In Tabella 4.4 sono riportate le velocità massime registrate nei vari rami della rete in condizioni di funzionamento Standard, con le saracinesche o con le PRV settate per ottenere una pressione media al nodo 136 pari a 18m.

| Velocità massime (m/s) | | | |
|------------------------|----------|--------------|-------|
| Ramo | Standard | Saracinesche | PRV |
| M96 | 0 | 0 | 0 |
| M97 | -0.12 | -0.06 | -0.1 |
| M102 | 0.09 | 0.05 | 0.08 |
| M98 | -0.12 | -0.06 | -0.1 |
| M101 | 0.05 | 0.03 | 0.04 |
| M99 | -0.13 | -0.06 | -0.11 |
| M100 | -0.07 | -0.04 | -0.06 |
| M103 | -0.11 | -0.06 | -0.09 |
| M177 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M106 | 0.09 | 0.05 | 0.08 |
| M107 | -0.54 | -0.28 | -0.47 |
| M108 | 0.1 | 0.05 | 0.09 |
| M109 | -0.43 | -0.22 | -0.38 |
| M112 | 0.08 | 0.04 | 0.07 |
| M110 | -0.47 | -0.24 | -0.41 |
| M111 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M116 | 0.13 | 0.07 | 0.11 |
| M113 | -0.36 | -0.19 | -0.32 |
| M206 | 0 | 0 | 0 |
| M114 | -0.38 | -0.19 | -0.34 |
| M115 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M9 | 0.11 | 0.06 | 0.13 |
| M117 | -0.19 | -0.1 | -0.17 |
| M120 | 0.15 | 0.08 | 0.13 |
| M118 | -0.28 | -0.14 | -0.25 |
| M119 | 0.14 | 0.07 | 0.12 |
| M122 | -0.09 | -0.05 | -0.09 |
| M121 | 0.1 | 0.05 | 0.09 |
| M123 | -0.08 | -0.01 | -0.04 |
| M124 | 0.08 | 0.04 | 0.07 |
| M125 | -0.08 | 0.02 | 0.01 |
| M126 | 0.23 | 0.12 | 0.2 |
| M127 | 0.17 | 0.09 | 0.14 |
| M128 | 0.08 | 0.04 | 0.07 |
| M129 | 0.23 | 0.12 | 0.18 |
| M130 | 0.2 | 0.1 | 0.17 |
| M131 | 0.35 | 0.18 | 0.29 |
| M132 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M141 | -0.01 | -0.01 | -0.01 |
| M11 | 0 | 0 | 0 |
| M133 | -0.01 | 0 | -0.01 |
| M135 | 0 | 0 | 0 |
| M136 | 0 | 0 | 0 |
| M138 | -0.01 | 0 | 0 |
| M139 | 0.04 | 0.02 | 0.03 |
| M140 | -0.02 | -0.01 | -0.02 |
| M142 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M144 | 0.04 | 0.02 | 0.03 |
| M146 | -0.03 | -0.01 | -0.02 |
| M143 | -0.06 | -0.03 | -0.06 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| M145 | -0.04 | -0.02 | -0.03 |
| M149 | -0.04 | -0.02 | -0.03 |
| M147 | -0.08 | -0.04 | -0.07 |
| M148 | 0 | 0 | 0 |
| M150 | -0.04 | -0.02 | -0.03 |
| M151 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M154 | -0.05 | -0.02 | -0.04 |
| M152 | -0.07 | -0.04 | -0.06 |
| M153 | -0.05 | -0.03 | -0.05 |
| M155 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M191 | 0.04 | 0.02 | 0.04 |
| M188 | -0.08 | -0.04 | -0.07 |
| M156 | 0 | 0 | 0 |
| M159 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M157 | 0.05 | 0.03 | 0.04 |
| M158 | 0.01 | 0 | 0.01 |
| M160 | -0.05 | -0.02 | -0.04 |
| M161 | -0.05 | -0.02 | -0.04 |
| M162 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M166 | 0.07 | 0.03 | 0.06 |
| M163 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M164 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| M167 | 0 | 0 | 0 |
| M169 | 0.07 | 0.04 | 0.06 |
| M168 | -0.01 | 0 | -0.01 |
| M170 | -0.08 | -0.04 | -0.07 |
| M171 | 0.01 | 0 | 0.01 |
| M174 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M172 | 0 | 0 | 0 |
| M173 | 0.05 | 0.03 | 0.05 |
| M12 | 0.11 | 0.06 | 0.13 |
| M22 | -0.15 | -0.09 | -0.18 |
| M104 | 0.6 | 0.31 | 0.52 |
| M175 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M176 | -0.08 | -0.04 | -0.07 |
| M178 | 0 | 0 | 0 |
| M179 | -0.03 | -0.02 | -0.03 |
| M183 | 0.04 | 0.02 | 0.04 |
| M180 | -0.09 | -0.04 | -0.07 |
| M181 | -0.09 | -0.05 | -0.08 |
| M182 | 0.04 | 0.02 | 0.04 |
| M184 | -0.08 | -0.04 | -0.07 |
| M187 | 0.03 | 0.01 | 0.02 |
| M186 | -0.08 | -0.04 | -0.07 |
| M185 | -0.06 | -0.03 | -0.05 |
| M189 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| M190 | 0.04 | 0.02 | 0.04 |
| M192 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M194 | 0.39 | 0.2 | 0.32 |
| M193 | 0.36 | 0.18 | 0.29 |
| M195 | -0.02 | -0.01 | -0.01 |
| M200 | -0.09 | -0.04 | -0.07 |
| M201 | -0.08 | -0.04 | -0.07 |
| M202 | 0.36 | 0.18 | 0.29 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| M25 | 0 | 0 | 0 |
| M26 | 0.27 | 0.13 | 0.23 |
| M28 | 0.26 | 0.13 | 0.22 |
| M204 | -0.37 | -0.19 | -0.32 |
| M205 | 0 | 0 | 0 |
| M27 | -0.14 | -0.07 | -0.12 |
| M29 | 0.07 | 0.04 | 0.06 |
| M30 | 0.25 | 0.13 | 0.21 |
| M32 | 0.25 | 0.12 | 0.21 |
| M31 | -0.09 | -0.05 | -0.07 |
| M33 | 0.01 | 0 | 0.01 |
| M35 | -0.07 | -0.04 | -0.06 |
| M36 | -0.24 | -0.12 | -0.2 |
| M37 | -0.14 | -0.07 | -0.12 |
| M40 | 0 | 0 | 0 |
| M38 | 0 | 0 | 0 |
| M39 | -0.14 | -0.07 | -0.12 |
| M41 | 0.04 | 0.02 | 0.04 |
| M42 | -0.05 | -0.02 | -0.04 |
| M43 | -0.15 | -0.08 | -0.13 |
| M44 | -0.14 | -0.07 | -0.12 |
| M45 | -0.12 | -0.06 | -0.1 |
| M46 | -0.12 | -0.06 | -0.1 |
| M47 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| M48 | -0.12 | -0.06 | -0.1 |
| M50 | 0 | 0 | 0 |
| M49 | -0.12 | -0.06 | -0.1 |
| M51 | -0.01 | -0.01 | -0.01 |
| M52 | -0.12 | -0.06 | -0.1 |
| M54 | 0.12 | 0.06 | 0.1 |
| M53 | 0 | 0 | 0 |
| M55 | 0.01 | 0 | 0.01 |
| M58 | 0.11 | 0.06 | 0.09 |
| M7 | -0.11 | 0.02 | 0.02 |
| M56 | 0 | 0 | 0 |
| M57 | -0.05 | -0.02 | -0.04 |
| M59 | 0.08 | 0.04 | 0.07 |
| M61 | 0.1 | 0.05 | 0.09 |
| M60 | 0.09 | 0.05 | 0.08 |
| M63 | 0.04 | 0.02 | 0.03 |
| M65 | 0.09 | 0.05 | 0.07 |
| M62 | -0.09 | -0.04 | -0.08 |
| M64 | 0.07 | 0.04 | 0.06 |
| M69 | -0.04 | 0.03 | 0.06 |
| M66 | -0.15 | -0.07 | -0.13 |
| M67 | -0.04 | -0.02 | -0.04 |
| M68 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M70 | 0.07 | 0.04 | 0.06 |
| M73 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M71 | -0.03 | -0.01 | -0.02 |
| M72 | 0.05 | 0.03 | 0.05 |
| M74 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M77 | 0.05 | 0.03 | 0.04 |
| M75 | -0.03 | -0.01 | -0.02 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| M8 | -0.12 | -0.06 | -0.14 |
| M23 | 0.27 | 0.14 | 0.23 |
| M76 | 0.04 | 0.02 | 0.04 |
| M78 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M80 | 0.04 | 0.02 | 0.03 |
| M79 | -0.06 | -0.03 | -0.05 |
| M165 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M81 | -0.15 | -0.08 | -0.13 |
| M82 | 0.1 | 0.05 | 0.08 |
| M83 | -0.14 | -0.07 | -0.12 |
| M84 | -0.14 | -0.07 | -0.12 |
| M86 | 0.09 | 0.04 | 0.07 |
| M85 | -0.04 | -0.02 | -0.03 |
| M87 | -0.13 | -0.07 | -0.11 |
| M90 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M88 | -0.13 | -0.07 | -0.11 |
| M89 | -0.03 | -0.02 | -0.03 |
| M91 | -0.13 | -0.07 | -0.11 |
| M92 | -0.07 | -0.04 | -0.06 |
| M93 | -0.13 | -0.06 | -0.11 |
| M94 | -0.13 | -0.06 | -0.11 |
| M95 | 0 | 0 | 0 |
| M24 | 0.27 | 0.14 | 0.23 |
| M105 | 0.6 | 0.31 | 0.52 |

Tabella 4.4 Velocità nei rami nel 2° scenario

Le Figure 4.22 e 4.23 mostrano le velocità massime nei vari rami del settore di rete di distribuzione esaminato, nel caso di utilizzo di saracinesche e di PRV, rispettivamente, da confrontare con le massime velocità presenti in rete in condizioni standard. La Figura 4.24 mostra le differenze tra la velocità massima con riduzione di pressione e la velocità massima in condizioni di normale funzionamento (standard), sia nel caso di uso delle saracinesche, sia nel caso di inserimento delle PRV.

Così come avviene nel 1° scenario, le velocità si abbassano rispetto alla situazione originale; in questo caso però sono ridotte maggiormente nel caso di utilizzo delle saracinesche parzializzate. Rimangono valide le considerazioni relative alla qualità dell'acqua fatte per il 1° scenario. La Figura 4.25 mostra la distribuzione delle velocità nel momento di minima pressione nei casi di utilizzo delle saracinesche, delle PRV e per la normale condizione di funzionamento (standard).

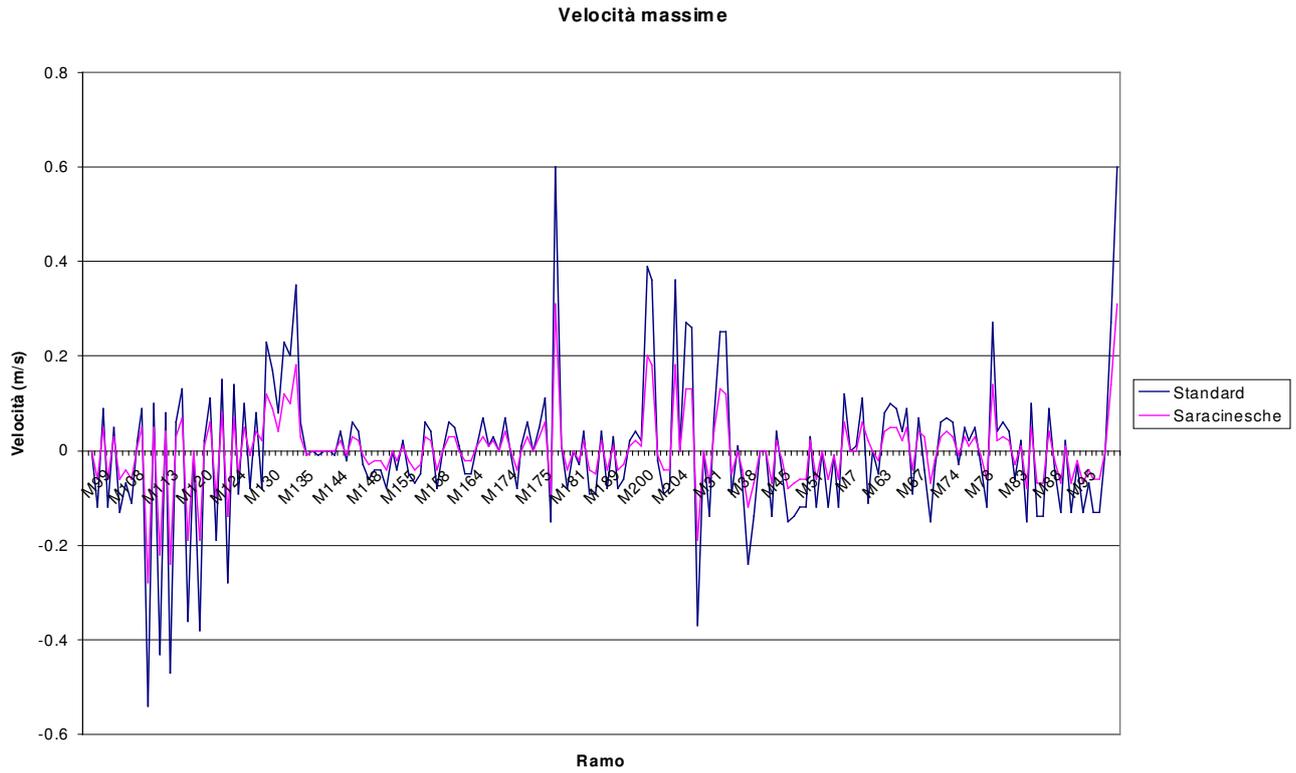


Figura 4.23 Velocità massima nell'arco delle 24 ore con le saracinesche nel 2° scenario

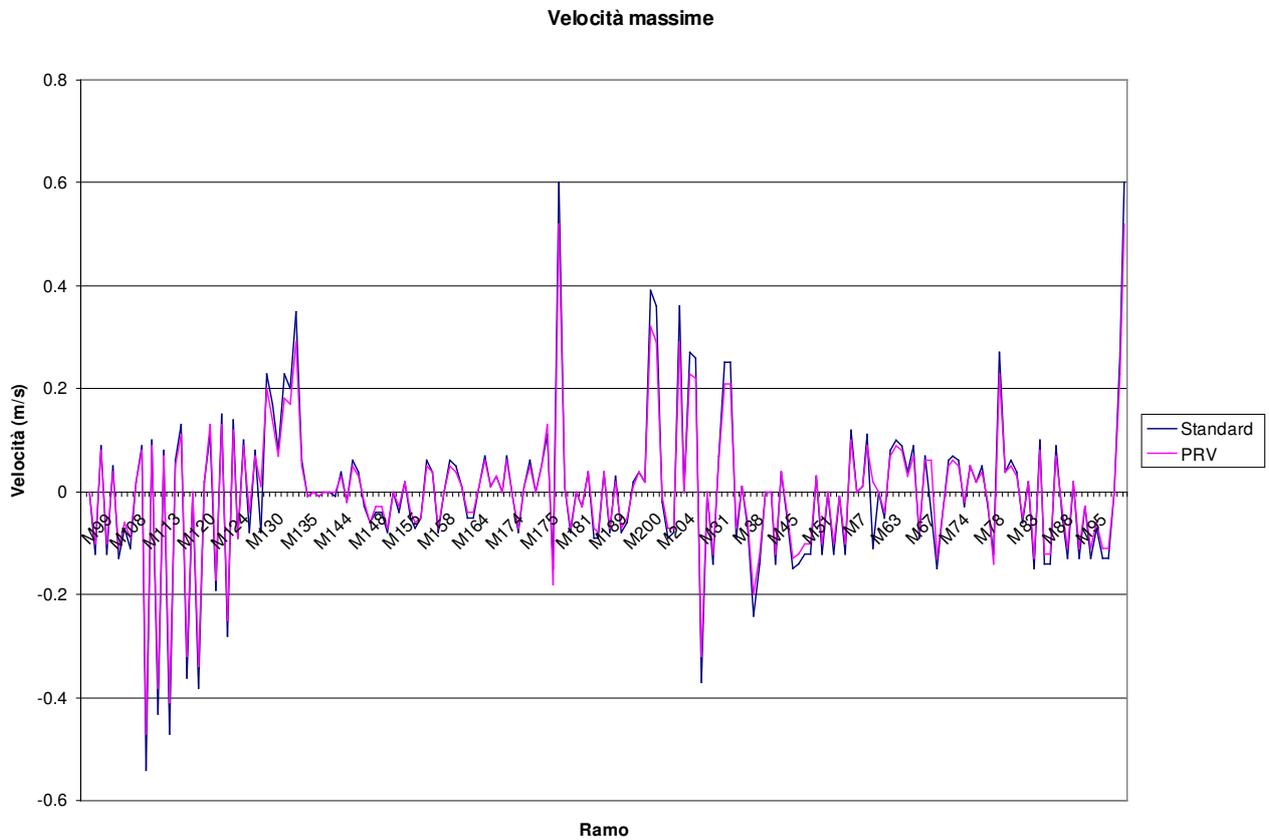


Figura 4.24 Velocità massima nell'arco delle 24 ore con le PRV nel 2° scenario

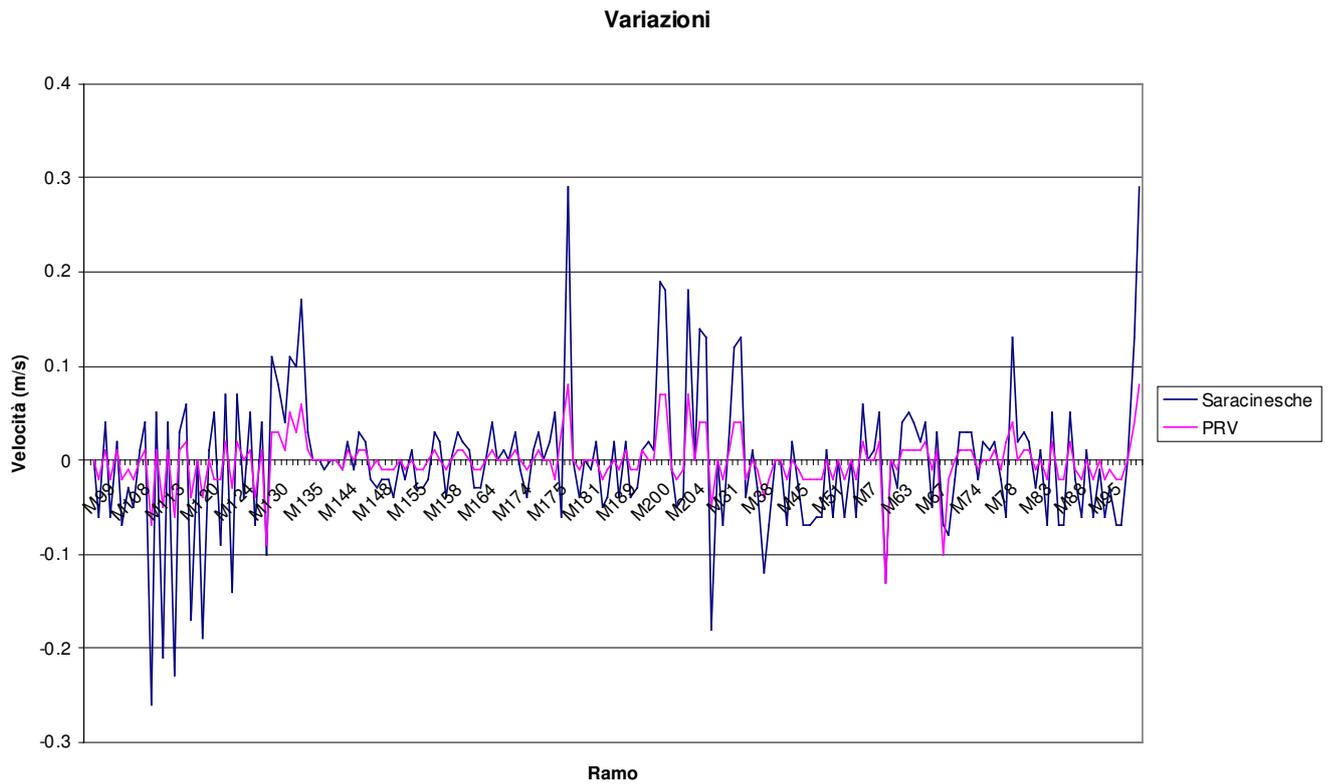


Figura 4.25 Confronto tra le differenze di velocità massima con riduzione di pressione e in condizioni di normale funzionamento nel 2° scenario

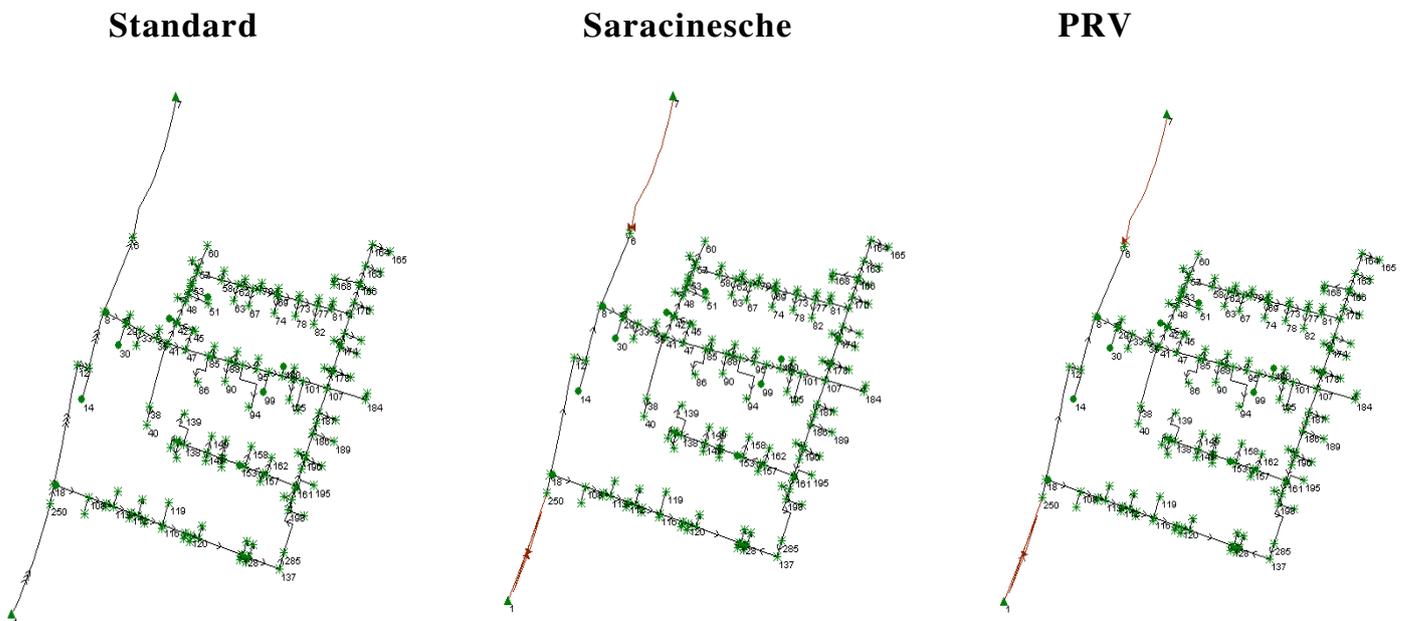


Figura 4.26 Distribuzione delle velocità in rete nell'istante di pressione minima al nodo 136 nel 2° scenario

Un altro importante aspetto da considerare sono i cambi di direzione che influiscono assieme agli aumenti di velocità sulla qualità dell'acqua; i risultati ottenuti sono ripostati in Figura 4.26 per il quale valgono le considerazioni fatte per il 1° scenario.

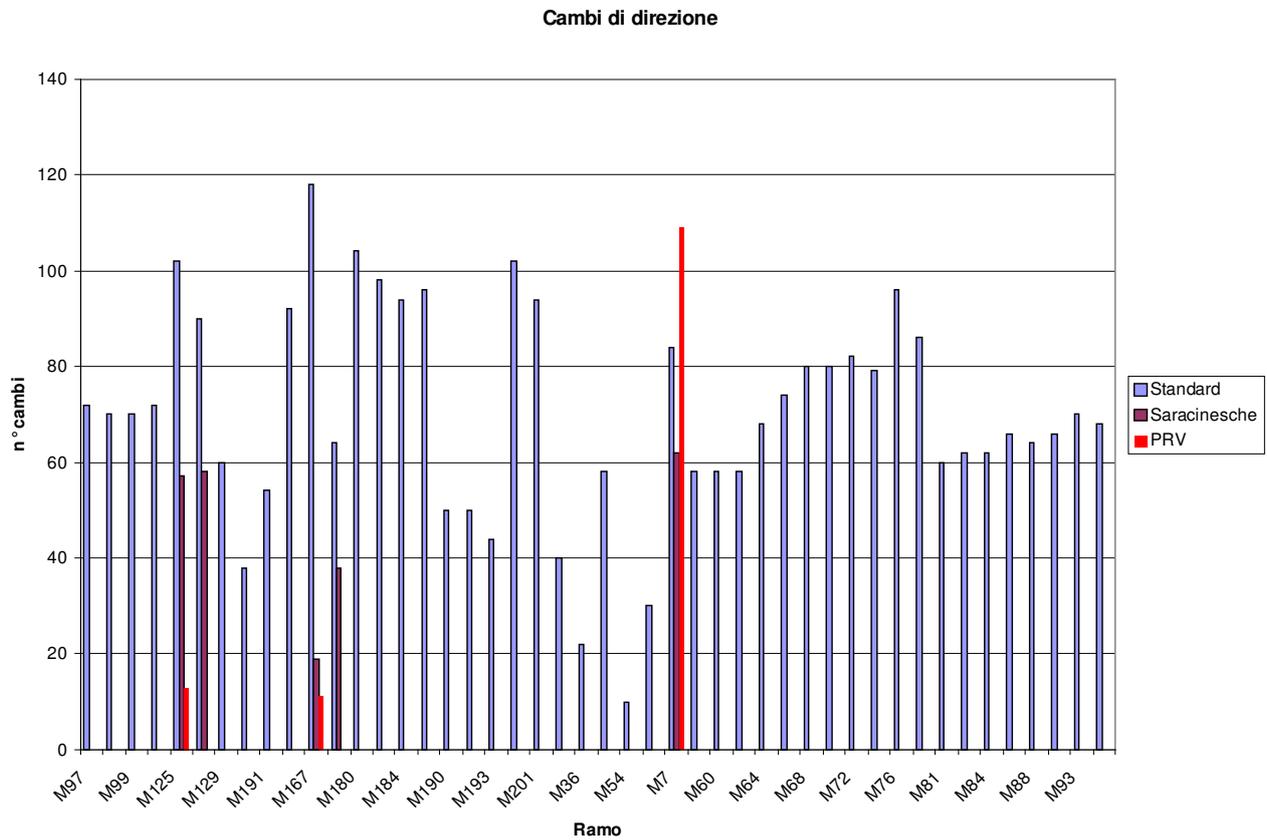


Figura 4.26 Cambi di direzione nel verso del flusso nei rami della rete nel 2° scenario

Le Figure 4.27 e 4.28 mostrano l'andamento, in uno dei due ingressi, di portata e pressione al nodo 250.

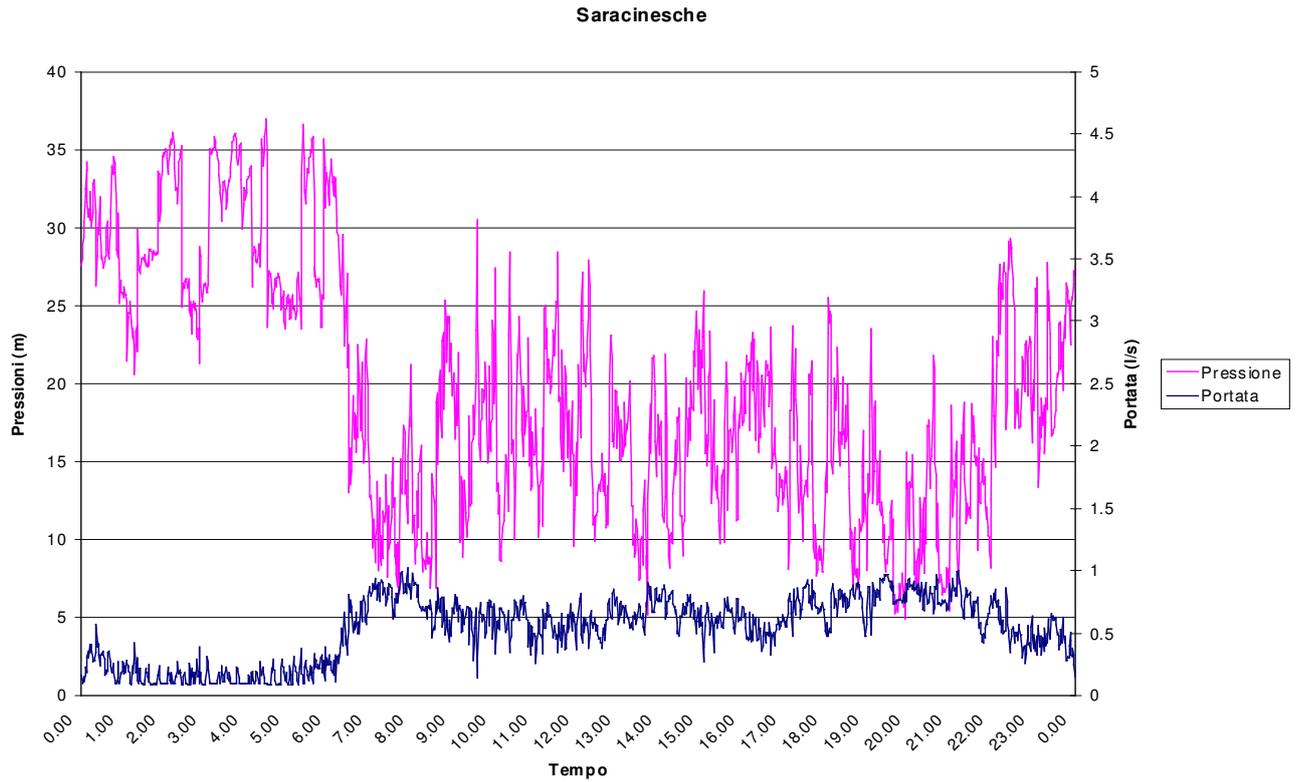


Figura 4.27 Portata e pressione al nodo 250 con saracinesche parzializzate nel 2° scenario

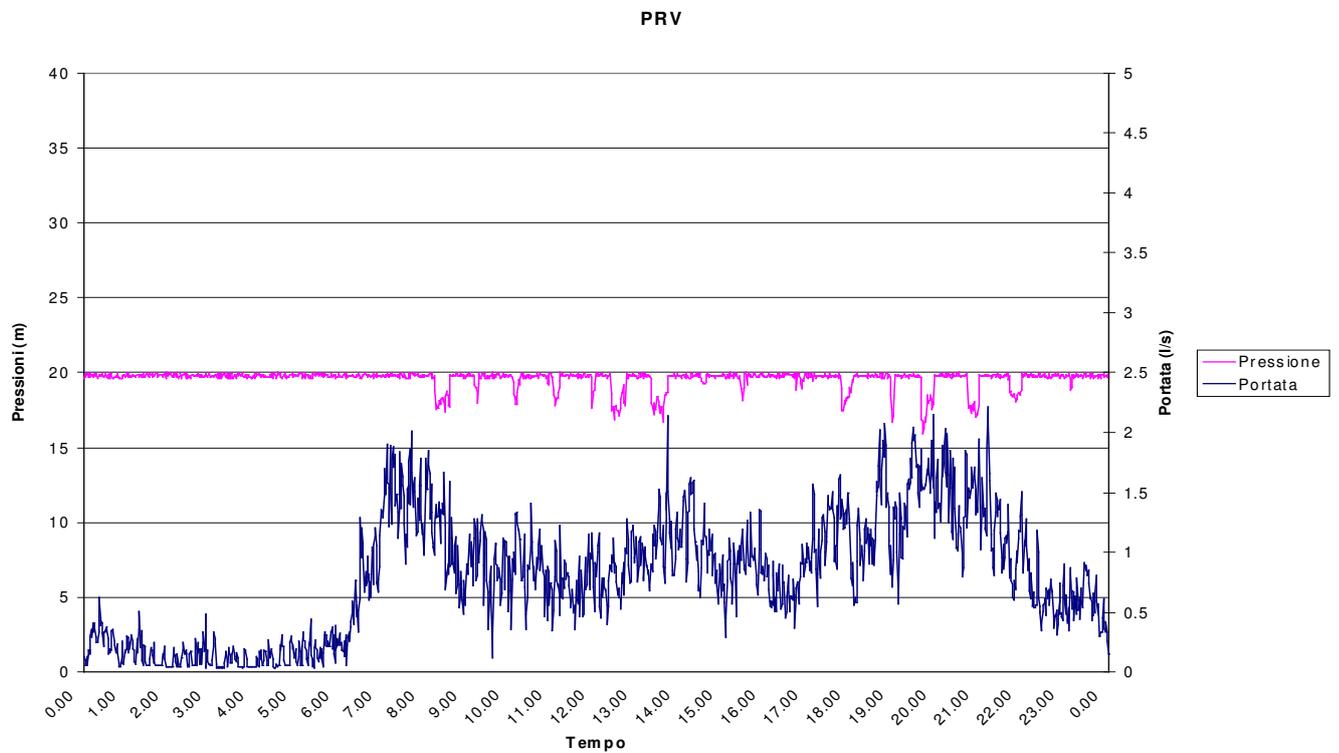


Figura 4.28 Portata e pressione al nodo 250 con PRV nel 2° scenario

La Figura 4.29 mostra come la PRV effettui un taglio netto delle pressioni al valore settato, che quindi non superano mai il valore prefissato di 20 m, e al contempo scendono solo nel momento in cui la richiesta è elevata, seguendo in tali momenti l'andamento delle pressioni in condizioni di normale funzionamento (standard). Mentre, con l'utilizzo delle saracinesche, le pressioni si abbassano fin sotto ai 5 metri e la notte restano molto superiori a 20 m; tutto ciò genera molti disagi alle utenze in relazione alla possibilità di prelevare acqua che potrebbe portare a preferire una sospensione programmata nell'erogazione dell'acqua.

4.2.3 Simulazione del 3° scenario di riduzione della pressione

Il 3° scenario prevede, come era già stato fatto per lo scenario 2°, una riduzione riferita alla pressione media al nodo critico 136, ipotizzando di passando dagli attuali 24.62 m a 20 m. Dopo avere settato singolarmente le valvole al fine di raggiungere con buona approssimazione le pressioni volute, i risultati riguardanti i volumi totali sono di seguito tabulati.

| Saracinesche | | Volume in ingresso | | |
|--------------|----------|--------------------|----------|----------|
| domanda | | | | |
| perdite | l/giorno | default | favad | esterna |
| | default | 64559.66 | 60155.6 | 63761.3 |
| | favad | 64608.37 | 60191.08 | 63806.38 |

| PRV | | Volume in ingresso | | |
|---------|----------|--------------------|----------|----------|
| domanda | | | | |
| perdite | l/giorno | default | favad | esterna |
| | default | 71972.64 | 67949.16 | 71462.88 |
| | favad | 71978.96 | 67956.47 | 71469.31 |

| Saracinesche | | Recupero di Volume in ingresso | | |
|--------------|----------|--------------------------------|----------|----------|
| domanda | | | | |
| perdite | l/giorno | default | favad | esterna |
| | default | 13439.66 | 17843.72 | 14238.02 |
| | favad | 13390.95 | 17808.24 | 14192.94 |

| PRV | | Recupero di Volume in ingresso | | |
|---------|----------|--------------------------------|----------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | l/giorno | default | favad | esterna |
| | default | 6026.67 | 10050.16 | 6536.43 |
| | favad | 6020.36 | 10042.85 | 6530.01 |

| Saracinesche | | Recupero di Volume in ingresso | | |
|--------------|---------|--------------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 17.23 | 22.88 | 18.25 |
| | favad | 17.17 | 22.83 | 18.20 |

| PRV | | Recupero di Volume in ingresso | | |
|---------|---------|--------------------------------|--------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 7.727 | 12.885 | 8.380 |
| | favad | 7.718 | 12.876 | 8.372 |

Da questi primi dati emerge come anche in questo caso fissando le pressioni medie con l'utilizzo delle saracinesche si riesce ad ottenere recuperi in termini di volume superiori, come sintetizzato in termini percentuali in Figura 4.29.

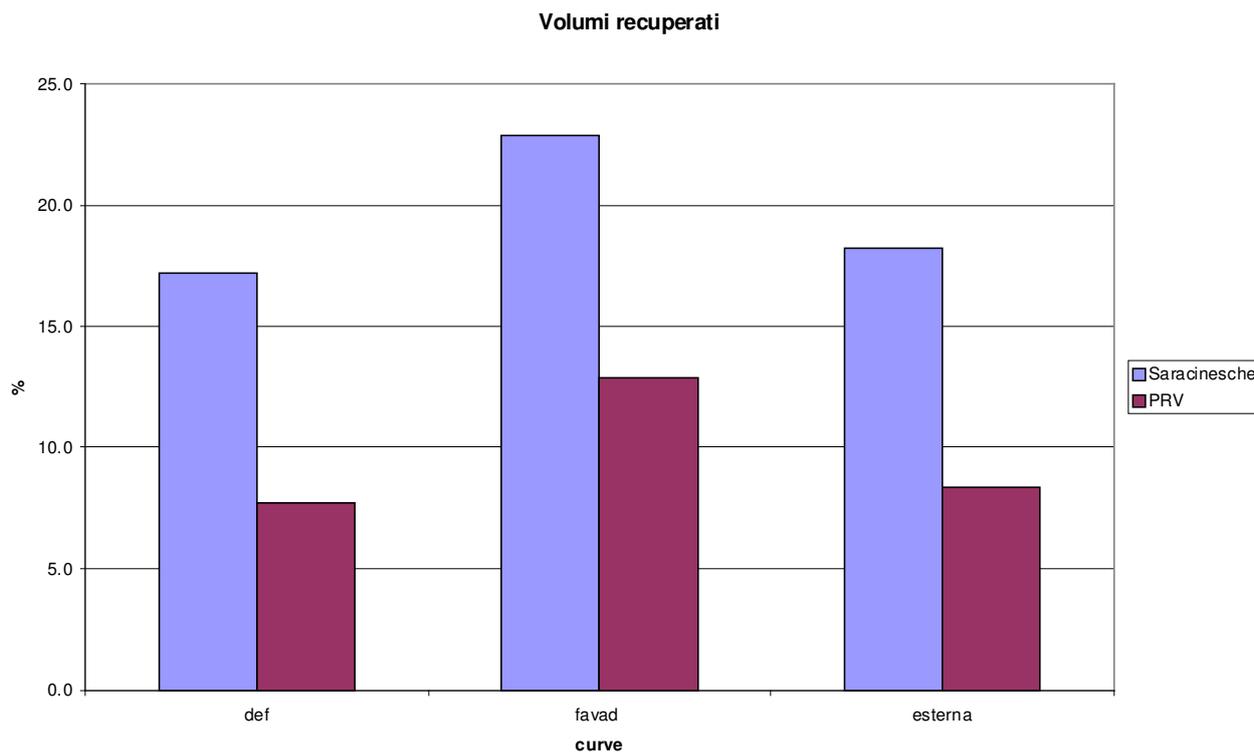


Figura 4.29 Percentuale di volume recuperate

Il maggior guadagno ottenuto con l'utilizzo delle saracinesche è però dovuto ad una drastica riduzione delle pressioni in rete che rende la scelta delle saracinesche onerosa rispetto alle esigenze degli utenti.

Le Figure 4.30, 4.31, 4.32, 4.33 mostrano la distribuzione in termini di portate in ingresso e di pressioni per il 3° scenario. Si può notare come le pressioni minime generate dalle saracinesche si abbassino eccessivamente, infatti la minima è di 5.33 m contro i 14.01 m presenti in condizioni normali.

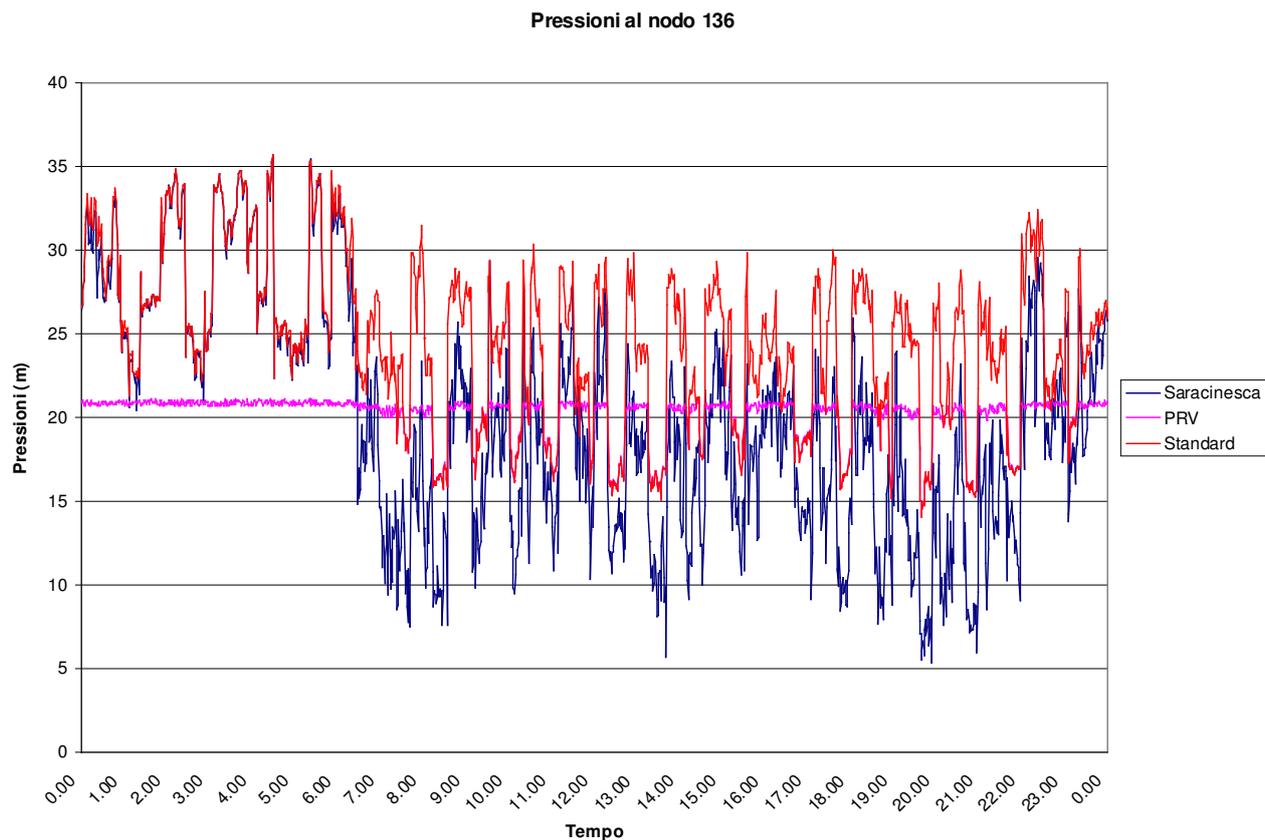


Figura 4.30 Pressioni al nodo critico 136 nel 3° scenario

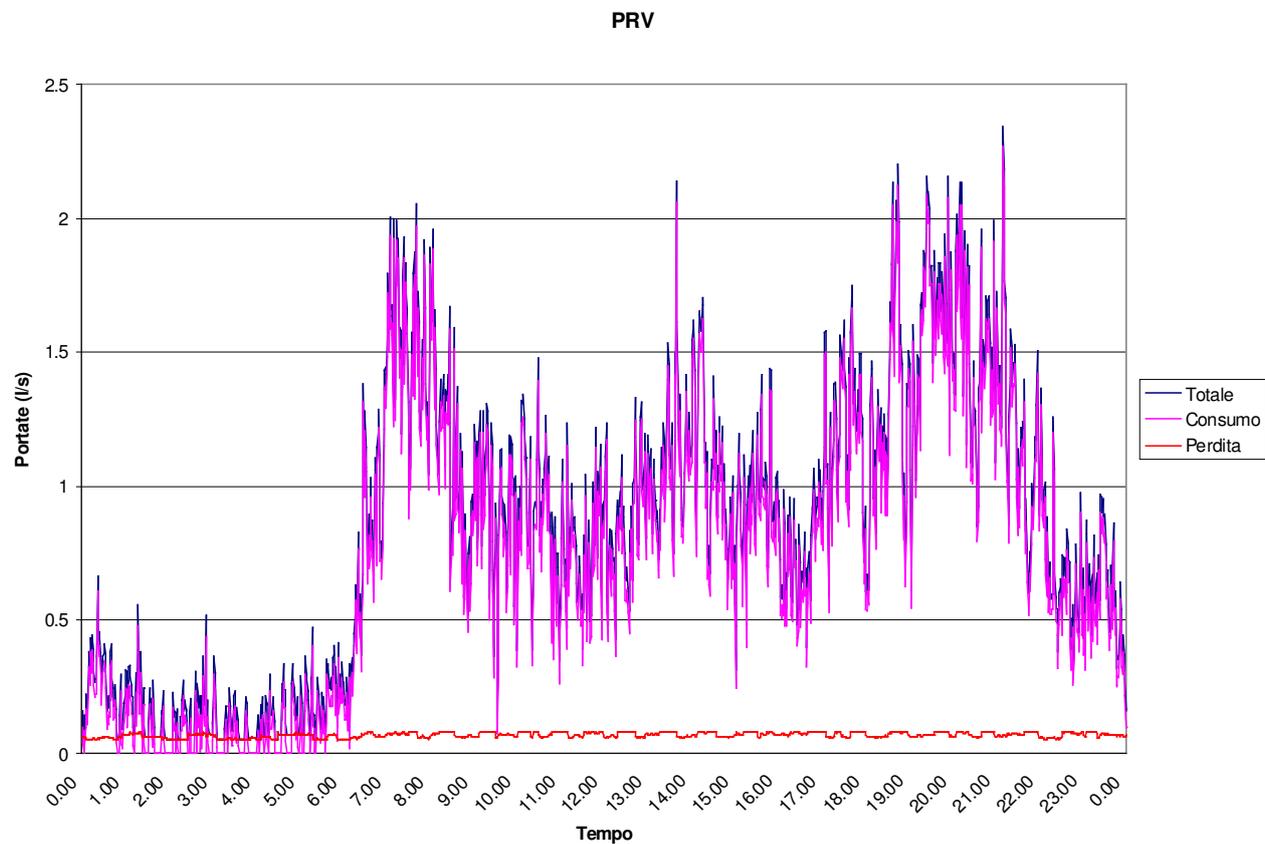


Figura 4.31 Portate in ingresso nel caso delle saracinesche nel 3° scenario

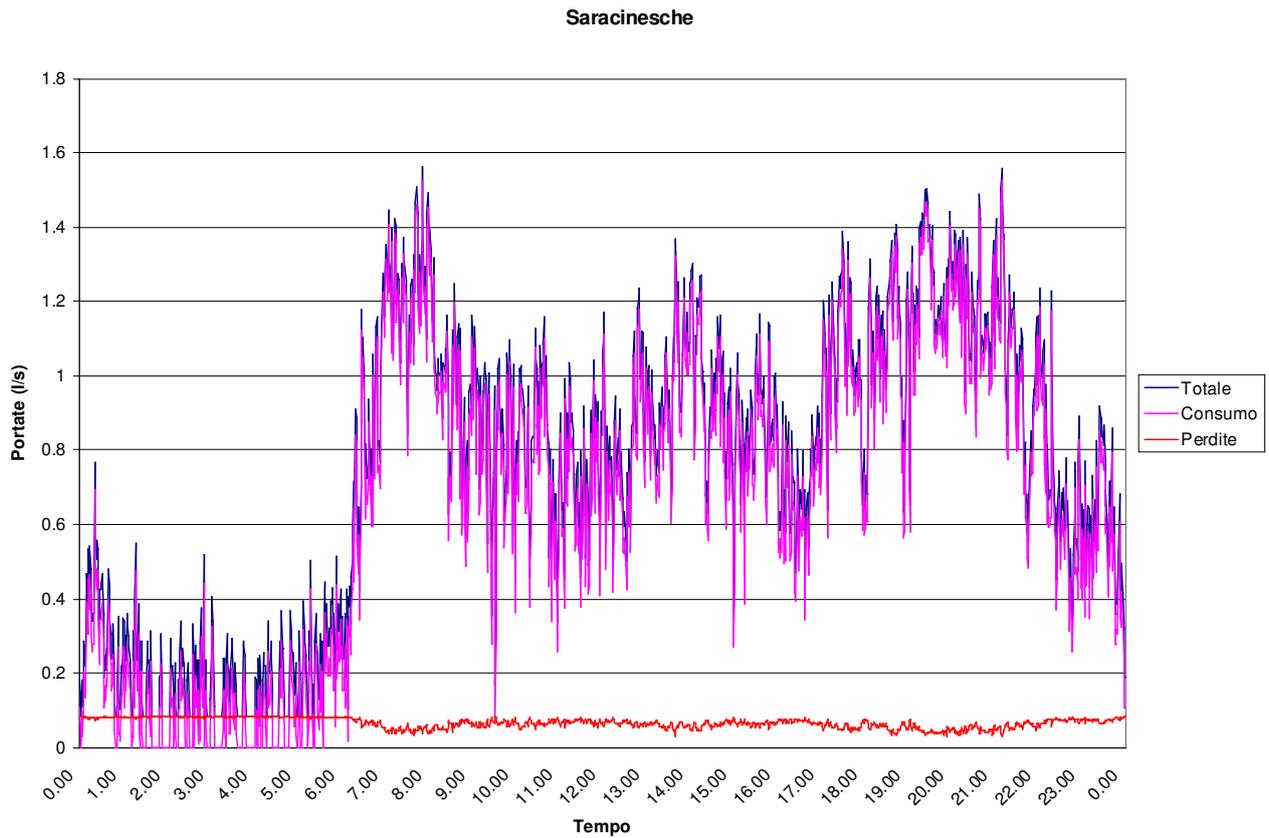


Figura 4.32 Portate in ingresso nel caso delle PRV nel 3° scenario

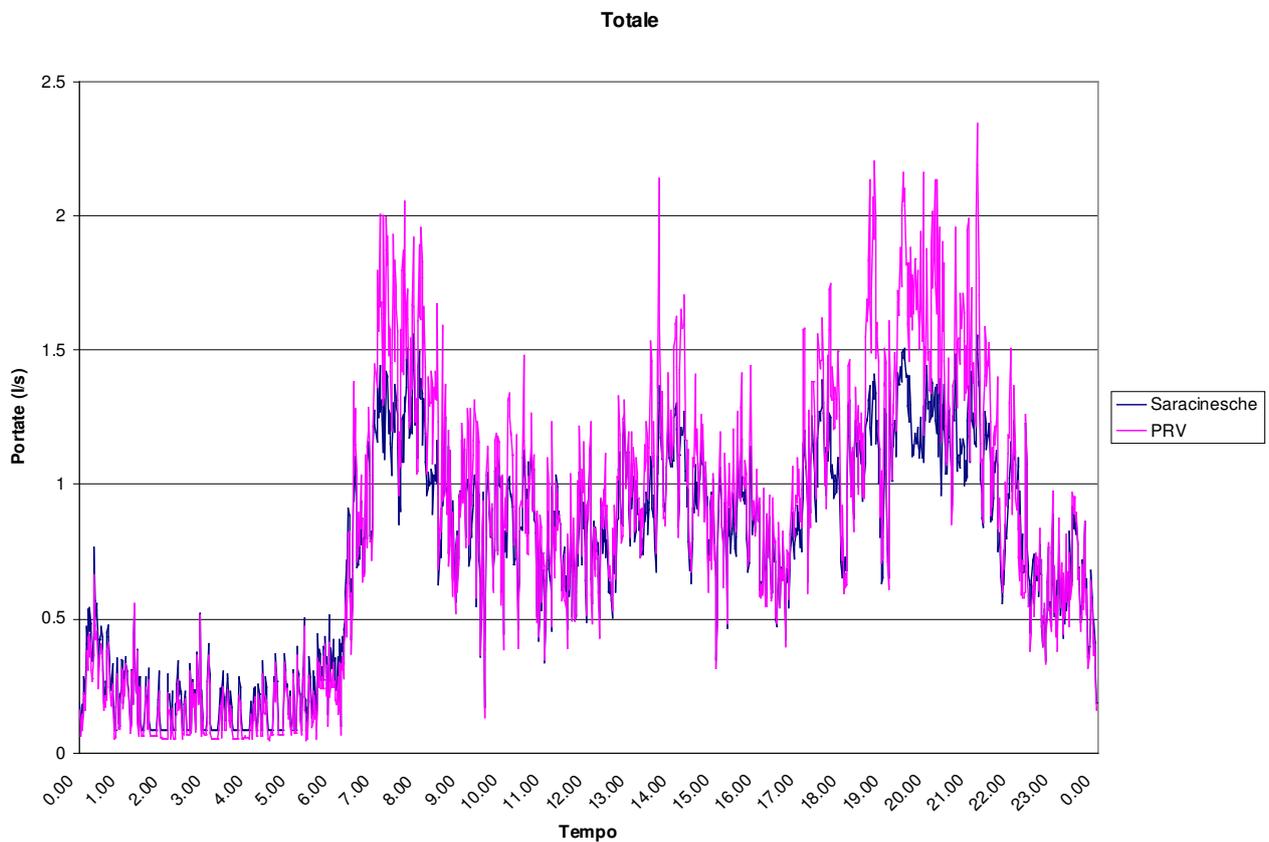


Figura 4.33 Confronto tra le portate totali nel 3° scenario con saracinesche o PRV

Così come osservato per il 2° scenario, la portata di perdita presenta un comportamento inverso tra le PRV e le saracinesche. Anche in questo caso le saracinesche non influiscono quasi per nulla sulla portata di perdita notturna. Le tabelle che seguono mostrano numericamente le percentuali di recupero sulle perdite.

| Saracinesche | | Recupero sui Volumi di perdita | | |
|--------------|---------|--------------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 17.00 | 23.52 | 18.19 |
| | favad | 17.05 | 23.56 | 18.23 |

| PRV | | Recupero sui Volumi di perdita | | |
|---------|---------|--------------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 6.93 | 12.61 | 7.65 |
| | favad | 6.93 | 12.61 | 7.65 |

La successiva analisi riguarda il tempo di interruzione del servizio idrico per avere un equivalente recupero in termini di volume, che si renderebbe necessaria nel caso in cui si ritenesse opportuna una misura di turnazione.

| Saracinesche | | Ore di mancata erogazione | | |
|--------------|---------|---------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | hh.mm | default | favad | esterna |
| | default | 7.51 | 9.48 | 8.47 |
| | favad | 7.46 | 9.48 | 8.45 |

| PRV | | Ore di mancata erogazione | | |
|---------|---------|---------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | hh.mm | default | favad | esterna |
| | default | 1.2 | 3.1 | 1.32 |
| | favad | 1.2 | 3.1 | 1.32 |

I tempi di chiusura dell'erogazione sono evidentemente maggiori per recuperare i volumi ottenuti utilizzando saracinesche parzializzate e superando le 9 ore di

interruzione consecutiva, cioè tutta la notte, sempre nell'ipotesi di sospendere l'erogazione di acqua durante la giornata in orari compresi tra le 21:00 e le 06:00 e, successivamente, tra le 13:00 e le 18:00 o oltre se necessario.

IN Tabella 4.5 sono riportate le velocità massime registrate durante le simulazioni nelle configurazioni Standard, con le saracinesche parzializzate o con le PRV regolate per mantenere la P media al nodo 136 pari a 20m.

| Velocità massime (m/s) | | | |
|------------------------|----------|--------------|-------|
| Ramo | Standard | Saracinesche | PRV |
| M96 | 0 | 0 | 0 |
| M97 | -0.12 | -0.07 | -0.11 |
| M102 | 0.09 | 0.06 | 0.08 |
| M98 | -0.12 | -0.07 | -0.11 |
| M101 | 0.05 | 0.03 | 0.04 |
| M99 | -0.13 | -0.08 | -0.11 |
| M100 | -0.07 | -0.04 | -0.06 |
| M103 | -0.11 | -0.07 | -0.1 |
| M177 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M106 | 0.09 | 0.06 | 0.08 |
| M107 | -0.54 | -0.33 | -0.5 |
| M108 | 0.1 | 0.06 | 0.09 |
| M109 | -0.43 | -0.26 | -0.4 |
| M112 | 0.08 | 0.05 | 0.07 |
| M110 | -0.47 | -0.29 | -0.44 |
| M111 | 0.06 | 0.04 | 0.05 |
| M116 | 0.13 | 0.08 | 0.12 |
| M113 | -0.36 | -0.22 | -0.34 |
| M206 | 0 | 0 | 0 |
| M114 | -0.38 | -0.23 | -0.36 |
| M115 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M9 | 0.11 | 0.07 | 0.14 |
| M117 | -0.19 | -0.12 | -0.18 |
| M120 | 0.15 | 0.09 | 0.14 |
| M118 | -0.28 | -0.17 | -0.26 |
| M119 | 0.14 | 0.08 | 0.12 |
| M122 | -0.09 | -0.06 | -0.1 |
| M121 | 0.1 | 0.06 | 0.09 |
| M123 | -0.08 | -0.02 | -0.04 |
| M124 | 0.08 | 0.05 | 0.07 |
| M125 | -0.08 | 0.02 | 0.02 |
| M126 | 0.23 | 0.14 | 0.21 |
| M127 | 0.17 | 0.11 | 0.14 |
| M128 | 0.08 | 0.05 | 0.08 |
| M129 | 0.23 | 0.14 | 0.19 |
| M130 | 0.2 | 0.12 | 0.18 |
| M131 | 0.35 | 0.21 | 0.31 |
| M132 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M141 | -0.01 | -0.01 | -0.01 |
| M11 | 0 | 0 | 0 |
| M133 | -0.01 | 0 | -0.01 |
| M135 | 0 | 0 | 0 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| M136 | 0 | 0 | 0 |
| M138 | -0.01 | 0 | -0.01 |
| M139 | 0.04 | 0.02 | 0.04 |
| M140 | -0.02 | -0.01 | -0.02 |
| M142 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M144 | 0.04 | 0.02 | 0.03 |
| M146 | -0.03 | -0.02 | -0.03 |
| M143 | -0.06 | -0.04 | -0.06 |
| M145 | -0.04 | -0.02 | -0.03 |
| M149 | -0.04 | -0.02 | -0.03 |
| M147 | -0.08 | -0.05 | -0.07 |
| M148 | 0 | 0 | 0 |
| M150 | -0.04 | -0.02 | -0.04 |
| M151 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M154 | -0.05 | -0.03 | -0.04 |
| M152 | -0.07 | -0.04 | -0.06 |
| M153 | -0.05 | -0.03 | -0.05 |
| M155 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M191 | 0.04 | 0.03 | 0.04 |
| M188 | -0.08 | -0.05 | -0.07 |
| M156 | 0 | 0 | 0 |
| M159 | 0.06 | 0.04 | 0.05 |
| M157 | 0.05 | 0.03 | 0.05 |
| M158 | 0.01 | 0 | 0.01 |
| M160 | -0.05 | -0.03 | -0.04 |
| M161 | -0.05 | -0.03 | -0.04 |
| M162 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M166 | 0.07 | 0.04 | 0.06 |
| M163 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M164 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| M167 | 0 | 0 | 0 |
| M169 | 0.07 | 0.05 | 0.07 |
| M168 | -0.01 | 0 | -0.01 |
| M170 | -0.08 | -0.05 | -0.08 |
| M171 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M174 | 0.06 | 0.04 | 0.05 |
| M172 | 0 | 0 | 0 |
| M173 | 0.05 | 0.03 | 0.05 |
| M12 | 0.11 | 0.07 | 0.14 |
| M22 | -0.15 | -0.1 | -0.19 |
| M104 | 0.6 | 0.36 | 0.55 |
| M175 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| M176 | -0.08 | -0.05 | -0.08 |
| M178 | 0 | 0 | 0 |
| M179 | -0.03 | -0.02 | -0.03 |
| M183 | 0.04 | 0.03 | 0.04 |
| M180 | -0.09 | -0.05 | -0.08 |
| M181 | -0.09 | -0.05 | -0.08 |
| M182 | 0.04 | 0.03 | 0.04 |
| M184 | -0.08 | -0.05 | -0.07 |
| M187 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| M186 | -0.08 | -0.05 | -0.08 |
| M185 | -0.06 | -0.03 | -0.05 |
| M189 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| M190 | 0.04 | 0.03 | 0.04 |
| M192 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M194 | 0.39 | 0.23 | 0.34 |
| M193 | 0.36 | 0.21 | 0.31 |
| M195 | -0.02 | -0.01 | -0.01 |
| M200 | -0.09 | -0.05 | -0.08 |
| M201 | -0.08 | -0.05 | -0.07 |
| M202 | 0.36 | 0.21 | 0.31 |
| M25 | 0 | 0 | 0 |
| M26 | 0.27 | 0.16 | 0.24 |
| M28 | 0.26 | 0.15 | 0.23 |
| M204 | -0.37 | -0.22 | -0.34 |
| M205 | 0 | 0 | 0 |
| M27 | -0.14 | -0.09 | -0.12 |
| M29 | 0.07 | 0.04 | 0.06 |
| M30 | 0.25 | 0.15 | 0.23 |
| M32 | 0.25 | 0.15 | 0.22 |
| M31 | -0.09 | -0.05 | -0.08 |
| M33 | 0.01 | 0 | 0.01 |
| M35 | -0.07 | -0.04 | -0.07 |
| M36 | -0.24 | -0.14 | -0.22 |
| M37 | -0.14 | -0.08 | -0.12 |
| M40 | 0 | 0 | 0 |
| M38 | 0 | 0 | 0 |
| M39 | -0.14 | -0.08 | -0.12 |
| M41 | 0.04 | 0.03 | 0.04 |
| M42 | -0.05 | -0.03 | -0.04 |
| M43 | -0.15 | -0.09 | -0.14 |
| M44 | -0.14 | -0.08 | -0.12 |
| M45 | -0.12 | -0.07 | -0.11 |
| M46 | -0.12 | -0.07 | -0.11 |
| M47 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| M48 | -0.12 | -0.07 | -0.11 |
| M50 | 0 | 0 | 0 |
| M49 | -0.12 | -0.07 | -0.11 |
| M51 | -0.01 | -0.01 | -0.01 |
| M52 | -0.12 | -0.07 | -0.11 |
| M54 | 0.12 | 0.07 | 0.1 |
| M53 | 0 | 0 | 0 |
| M55 | 0.01 | 0 | 0.01 |
| M58 | 0.11 | 0.07 | 0.1 |
| M7 | -0.11 | 0.03 | 0.04 |
| M56 | 0 | 0 | 0 |
| M57 | -0.05 | -0.03 | -0.04 |
| M59 | 0.08 | 0.05 | 0.08 |
| M61 | 0.1 | 0.06 | 0.09 |
| M60 | 0.09 | 0.06 | 0.08 |
| M63 | 0.04 | 0.02 | 0.04 |
| M65 | 0.09 | 0.05 | 0.08 |
| M62 | -0.09 | -0.05 | -0.08 |
| M64 | 0.07 | 0.04 | 0.07 |
| M69 | -0.04 | 0.04 | 0.06 |
| M66 | -0.15 | -0.09 | -0.13 |
| M67 | -0.04 | -0.03 | -0.04 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| M68 | 0.06 | 0.04 | 0.05 |
| M70 | 0.07 | 0.04 | 0.06 |
| M73 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| M71 | -0.03 | -0.02 | -0.03 |
| M72 | 0.05 | 0.03 | 0.05 |
| M74 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M77 | 0.05 | 0.03 | 0.05 |
| M75 | -0.03 | -0.02 | -0.03 |
| M8 | -0.12 | -0.07 | -0.15 |
| M23 | 0.27 | 0.16 | 0.24 |
| M76 | 0.04 | 0.03 | 0.04 |
| M78 | 0.06 | 0.04 | 0.06 |
| M80 | 0.04 | 0.02 | 0.03 |
| M79 | -0.06 | -0.04 | -0.05 |
| M165 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M81 | -0.15 | -0.09 | -0.13 |
| M82 | 0.1 | 0.06 | 0.09 |
| M83 | -0.14 | -0.09 | -0.13 |
| M84 | -0.14 | -0.08 | -0.13 |
| M86 | 0.09 | 0.05 | 0.08 |
| M85 | -0.04 | -0.02 | -0.03 |
| M87 | -0.13 | -0.08 | -0.12 |
| M90 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| M88 | -0.13 | -0.08 | -0.12 |
| M89 | -0.03 | -0.02 | -0.03 |
| M91 | -0.13 | -0.08 | -0.12 |
| M92 | -0.07 | -0.04 | -0.07 |
| M93 | -0.13 | -0.08 | -0.11 |
| M94 | -0.13 | -0.08 | -0.11 |
| M95 | 0 | 0 | 0 |
| M24 | 0.27 | 0.16 | 0.24 |
| M105 | 0.6 | 0.36 | 0.55 |

Tabella 4.5 Confronti tra le velocità massime nel 3° scenario

Le velocità risultano diminuite in quasi tutta la rete, come può mostrare le Figure 4.34, 4.35 e 4.36 di confronto tra le varie configurazioni.

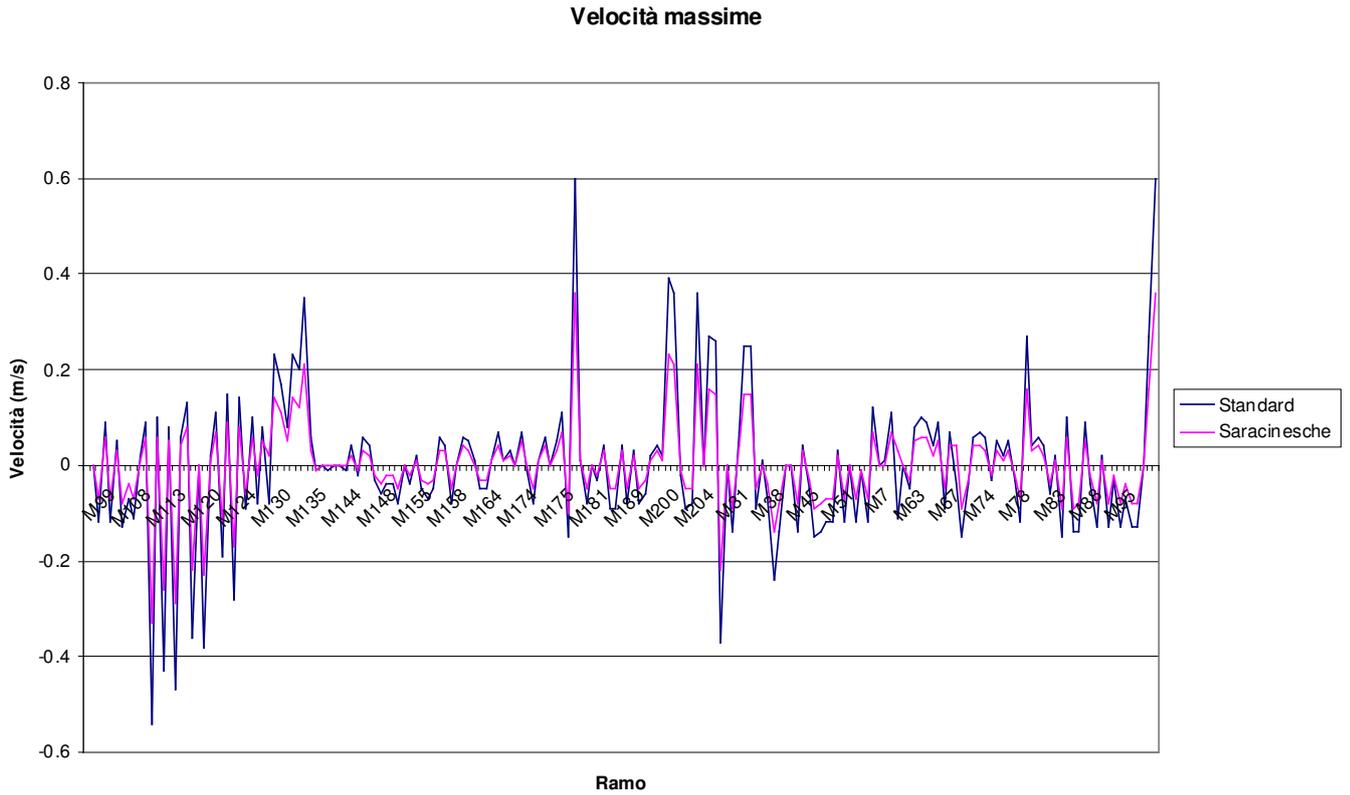


Figura 4.34 Velocità massime registrate nei rami con l'utilizzo delle saracinesche nel 3° scenario

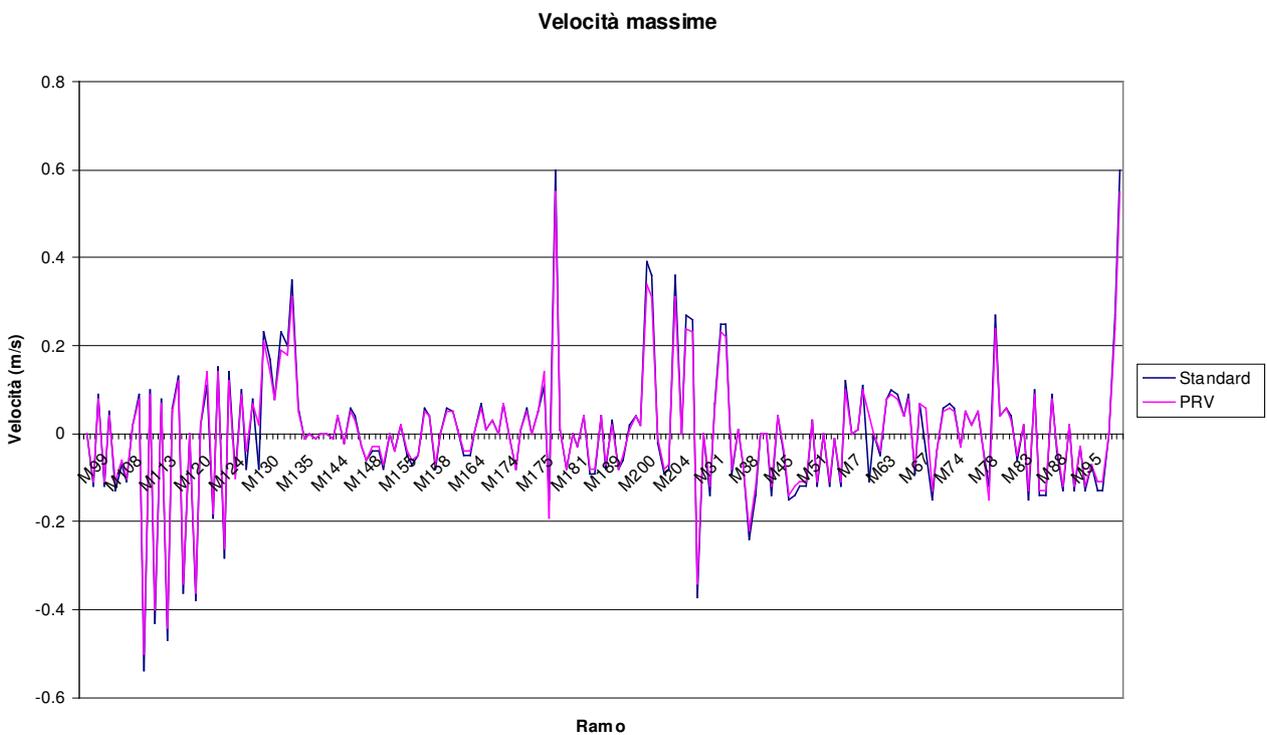


Figura 4.35 velocità massime registrate nei rami con l'utilizzo delle PRV nel 3° scenario

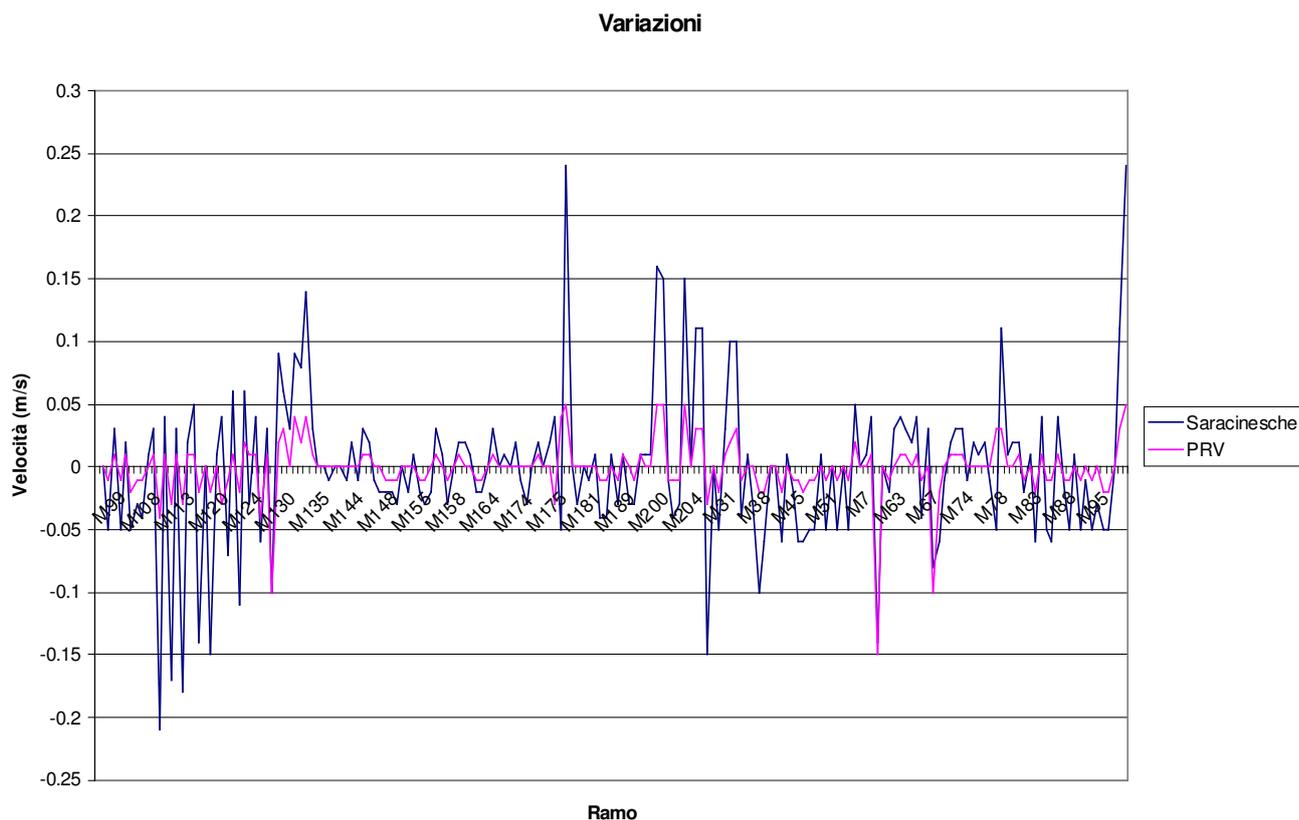


Figura 4.39 Confronti tra le variazioni delle velocità massime registrate nei rami nel 3° scenario con l'uso delle saracinesche o delle PRV

Entrambe le configurazioni simulate abbassano le velocità ma nel caso delle saracinesche le variazioni sono maggiori e questo è un problema soprattutto in relazione ad una rete dove le velocità massime erano già notevolmente basse.

In Figura 4.37 vengono riportate le distribuzioni di velocità nei rami della rete nel momento di minima pressione al nodo 136.

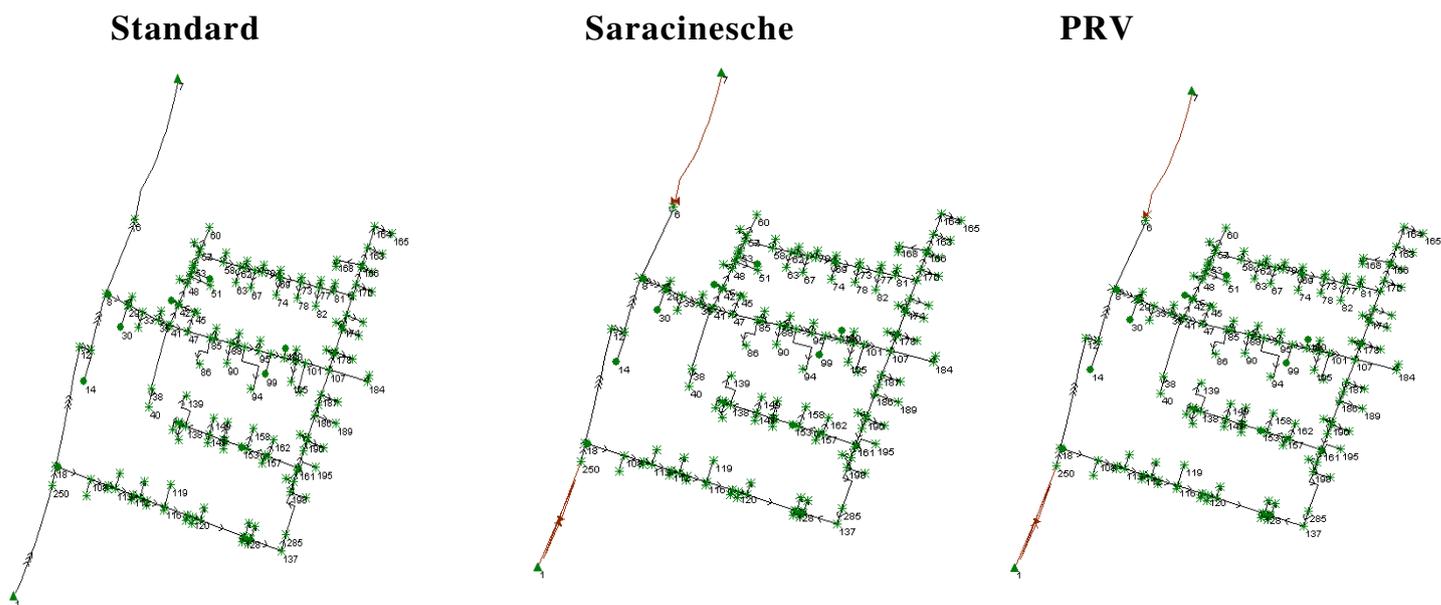


Figura 4.37 Distribuzioni delle velocità in rete nel momento di minima pressione al nodo 136

Un dato importante legato alla qualità dell'acqua è il numero di inversioni di flusso nelle tubazioni; in Figura4.38 sono riportati i cambi di direzione registrati durante le simulazioni sotto forma di istogramma.

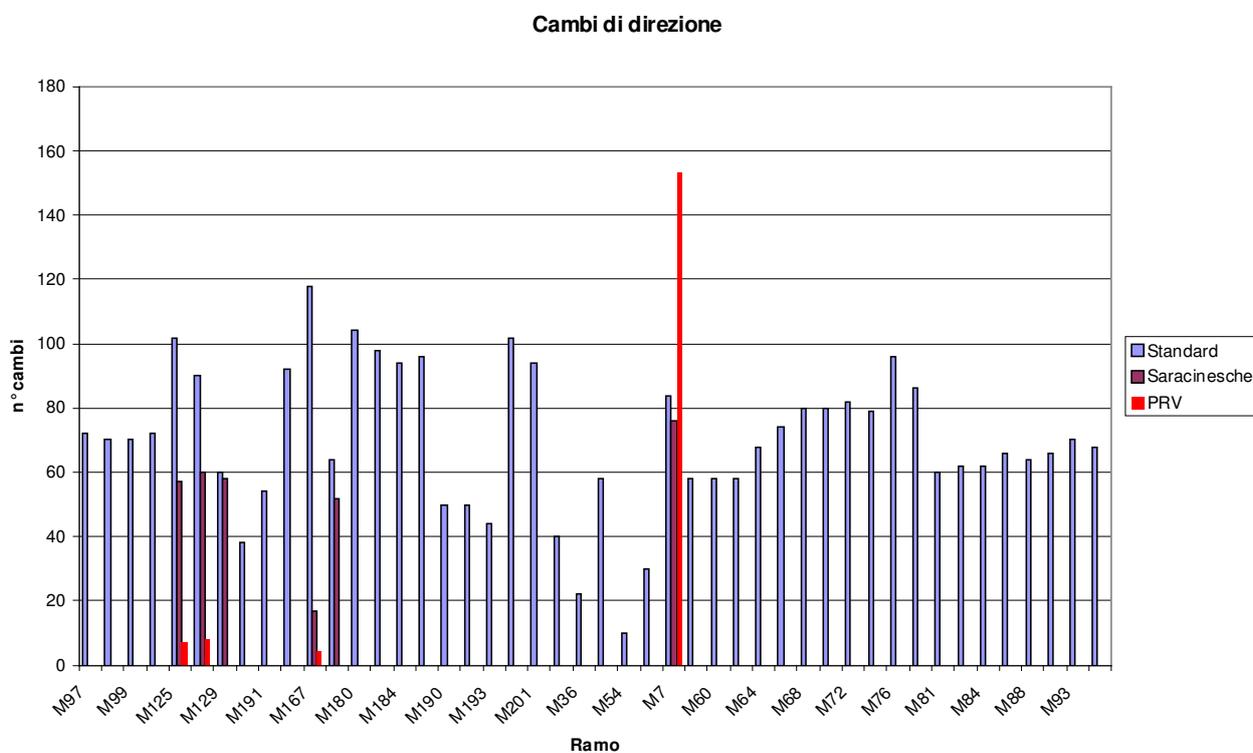


Figura 4.38 Cambi di direzione nei rami della rete nelle condizioni standard, con l'utilizzo delle saracinesche o con le PRV

In Figura 4.39 e 4.40 mostrano le evoluzioni della pressione e della portata al nodo 250 si con l'utilizzo delle PRV che con le saracinesche.

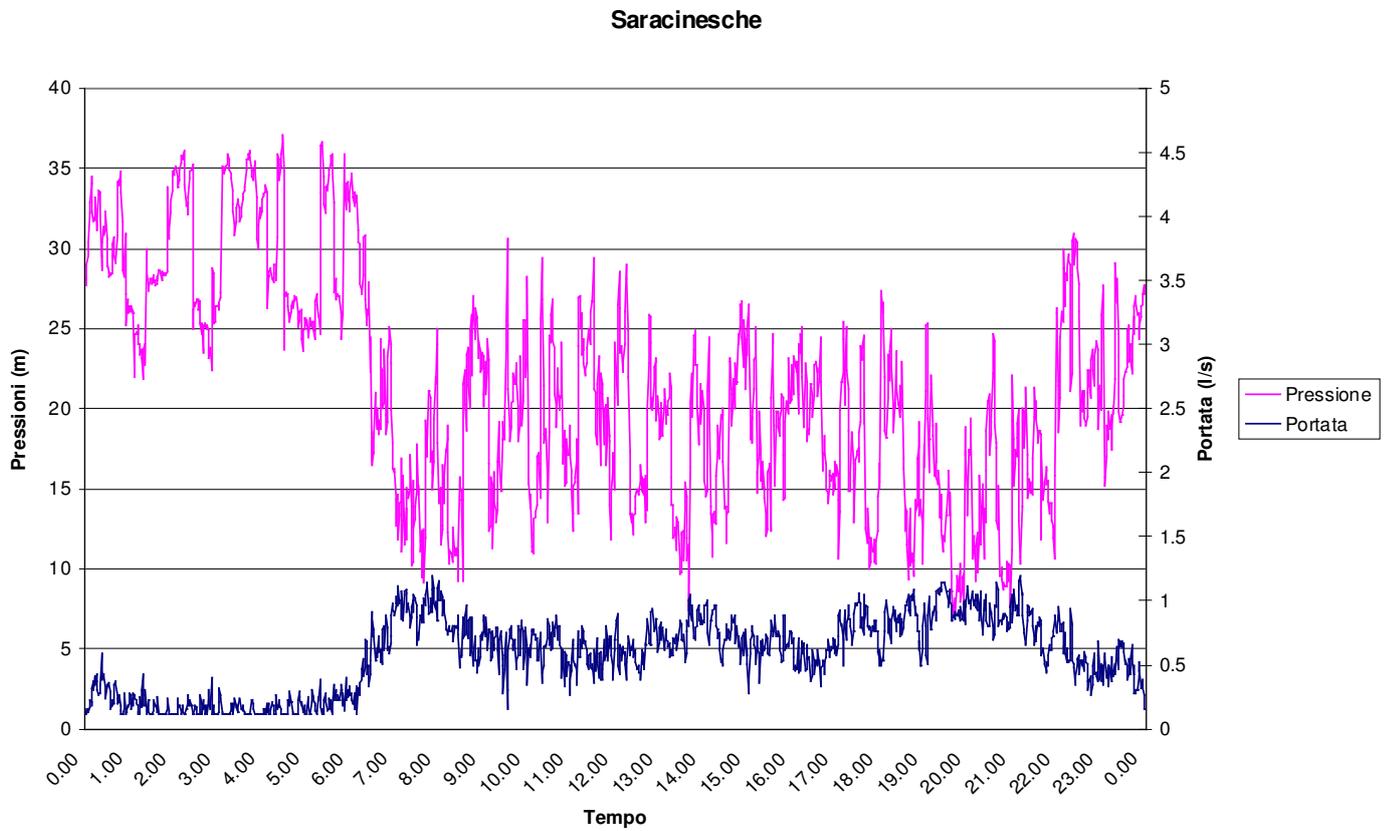


Figura 4.39 Portata e pressione al nodo 250 con l'utilizzo delle saracinesche nel 3° scenario

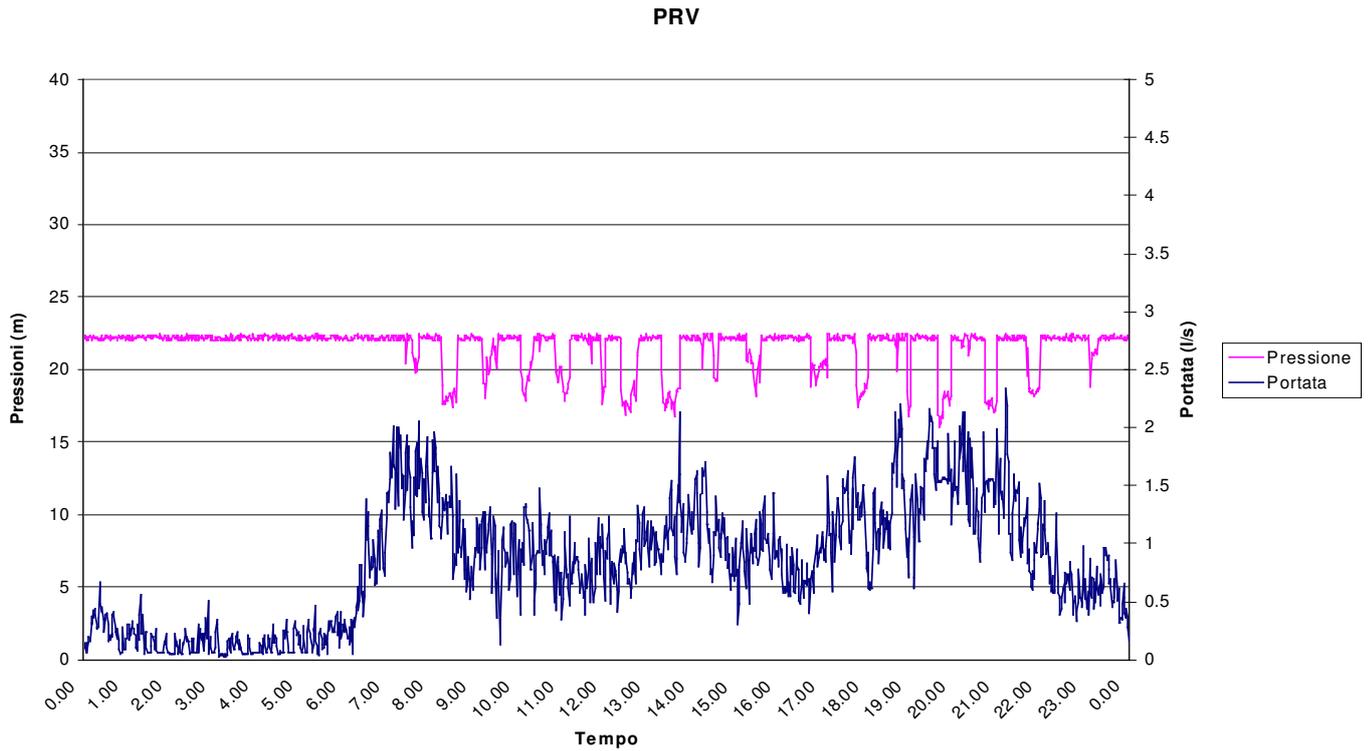


Figura 4.40 Portata e pressione al nodo 250 con l'utilizzo delle PRV nel 3°scenario

4.3 Confronto tra gli scenari di riduzione della pressione

Di seguito sono riportate le percentuali di recupero sul volume totale per ogni simulazione.

Saracinesche

| P minima 12 m al nodo critico 136 | | Percentuale di recupero | | |
|-----------------------------------|---------|-------------------------|-------|---------|
| | | domanda | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 2.9 | 4.7 | 3.1 |
| | favad | 2.9 | 4.7 | 3.1 |

| P media 18 m al nodo critico 136 | | Percentuale di recupero | | |
|----------------------------------|---------|-------------------------|-------------|-------------|
| | | domanda | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | <u>24.6</u> | <u>30.6</u> | <u>25.9</u> |
| | favad | 24.6 | 30.6 | 25.8 |

| P media 20 m al nodo critico 136 | | Percentuale di recupero | | |
|----------------------------------|---------|-------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 17.2 | 22.9 | 18.3 |
| | favad | 17.2 | 22.8 | 18.2 |

PRV

| P minima 12 m al nodo critico 136 | | Percentuale di recupero | | |
|-----------------------------------|---------|-------------------------|-------------|-------------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | <u>27.4</u> | <u>41.2</u> | <u>30.3</u> |
| | favad | 27.2 | 40.9 | 30.1 |

| P media 18 m al nodo critico 136 | | Percentuale di recupero | | |
|----------------------------------|---------|-------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 12.0 | 19.5 | 13.1 |
| | favad | 12.0 | 19.5 | 13.0 |

| P media 20 m al nodo critico 136 | | Percentuale di recupero | | |
|----------------------------------|---------|-------------------------|-------|---------|
| domanda | | | | |
| perdite | % | default | favad | esterna |
| | default | 7.7 | 12.9 | 8.4 |
| | favad | 7.7 | 12.9 | 8.4 |

In rosso sono stati individuati i valori massimi di recupero percentuale; ma mentre nel caso della PRV le condizioni di pressione sono sostenibili anche per una riduzione pari al 27.4 % ,se prendiamo come riferimento le curve di default, nel caso delle saracinesche una riduzione del 24.6% genera un andamento delle pressioni non sostenibile perché troppo basse. Questo particolare comportamento è evidenziato nella Figura 4.41.

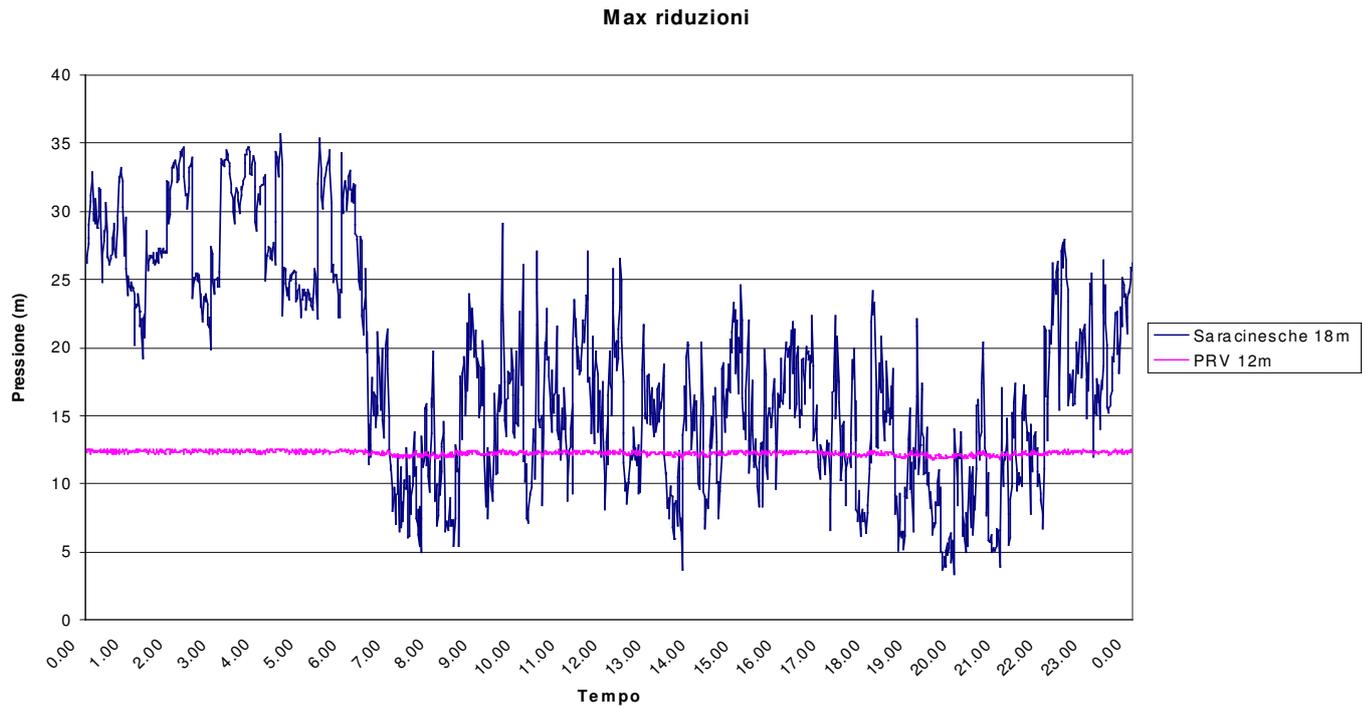


Figura 4.41 Confronto delle pressioni tra le due configurazioni generanti i massimi recuperi

Come si vede dal grafico le pressioni generate dall'intervento delle saracinesche sono troppo basse e per troppo tempo non consentirebbero il prelievo alle utenze; infatti le pressioni scendono spesso sotto i 9 m che possiamo considerare come minima pressione per servire una abitazione di 3 piani.

L'utilizzo delle PRV consente sia di risparmiare più acqua (il 40% invece del 30%), sia di mantenere le pressioni in rete ad un livello accettabile anche se basso.

In generale si nota quali siano i diversi comportamenti dei due tipi di organi a seconda che si voglia fissare una pressione media o minima. Infatti mentre la PRV induce andamenti delle pressioni costanti e facilmente prevedibili, la saracinesca induce variazioni più complesse; in particolare accentua il divario fra pressioni massime e minime all'aumentare dei volumi recuperati. Tutto ciò avviene riducendo le pressioni minime e tenendo costanti le massime; questo tipo di comportamento ha due svantaggi: non riduce le perdite notturne e fa scendere le pressioni minime diurne sotto livelli accettabili.

Il settaggio delle saracinesche e delle PRV ha richiesto varie simulazioni di prova prima di ottenere i valori di pressione voluti. Nelle tabelle sono riportate le aperture e le pressioni di controllo.

| | Saracinesche | | | % di apertura |
|------|--------------|---------|-------|---------------|
| | | Scenari | | |
| nodi | | 1° | 2° | 3° |
| | 6 | 0.6 | 0.545 | 0.51 |
| | 250 | 2 | 0.854 | 0.9 |

| | PRV | | | P di controllo |
|------|-----|---------|--------|----------------|
| | | Scenari | | |
| nodi | | 1° | 2° | 3° |
| | 6 | 15.85 | 19.799 | 22.2 |
| | 250 | 13.79 | 19.799 | 22.2 |

Come si vede dalle tabelle le percentuali di apertura delle saracinesche sono estremamente piccole: si va da aperture del 2% per ottenere recuperi di volume attorno al 3% sino ad aperture del 0.5 % per ottenere recuperi maggiori. Praticamente le saracinesche sono quasi completamente chiuse. Inoltre nella realtà può essere complicato regolare le saracinesche con tale precisione, anche perché variare di 0.1 % di apertura genera significativi cambiamenti delle pressioni in rete.

CONCLUSIONI

Le simulazioni svolte ipotizzando varie configurazioni hanno evidenziato i differenti risultati che si ottengono utilizzando, quali organi idraulici per il controllo della pressione, le valvole riduttrici di pressione PRV e le saracinesche. L'utilizzo di tali valvole è una misura di mitigazione in condizioni di scarsità idrica finalizzata al recupero di volume d'acqua.

Nello studio si è ipotizzato di mantenere le aperture delle saracinesche costanti per tutto il giorno e la stessa cosa vale per le pressioni di controllo delle PRV, tale scelta è stata fatta sia per riuscire a confrontare i comportamenti dei due tipi di valvole, sia per riprodurre una modalità operativa tempestivamente implementabile in condizioni di pre-allerta e di allerta. Nella realtà però è possibile impostare un funzionamento degli organi che, variando il settaggio di riduzione della pressione nell'arco della giornata, consenta di recuperare maggiori volumi con minore disagio per le utenze.

La saracinesca genera una riduzione del carico proporzionale al quadrato della velocità del flusso che l'attraversa e quindi durante la notte la riduzione è sempre molto limitata, invece nelle ore diurne, quando le velocità crescono, la riduzione è più consistente. Il risultato di un tale comportamento è che per ridurre i consumi occorre abbassare pesantemente le pressioni diurne. Nella configurazione in cui si impone una pressione media di 18m al nodo critico 136 questa problematica viene portata alla luce, con una erogazione discontinua e poco prevedibile, che porta a preferire una situazione di erogazione turnata in cui l'utenza, pur nel disagio della sospensione del prelievo, sa quando il servizio verrà interrotto.

La valvola di riduzione delle pressioni PRV invece mantiene la pressione a valle della valvola costante, con un comportamento quindi più efficiente nel recuperare volumi dalle perdite idriche rispetto a quanto fa la saracinesca e creando un regime di pressione in cui le utenze risentono meno della misura di mitigazione.

In generale, lo studio mostra quantitativamente e per differenti scenari come le saracinesche, meno costose rispetto alle PRV e già presenti nelle reti acquedottistiche, presentino un impiego nella riduzione delle pressioni poco efficiente, con volumi recuperati bassi se non a fronte di maggiore disagio alle utenze rispetto a quanto accade per le PRV.

BIBLIOGRAFIA

- Linee Guida del Progetto MEDROPLAN;
- Rossi;
- “Comparison of Methods for Predicting Deficient-Network Performance” di R. Gupta e P. R. Bhave (1996), prosposta da Wagner et al. (1988) e Chandapillai (1991)
- Approccio pre-attivo per il controllo delle perdite idriche con monitoraggio in telelettura; T. Liserra¹, S. Artina¹, C. Bragalli¹, C. Anzalone², G. Leoni², D. Giunchi²
- Piano degli interventi urgenti per fronteggiare la crisi idrica 15 Giugno 2007 (Agenzia Regionale di Protezione Civile e Direzione Generale Ambiente Difesa del Suolo e della Costa)
- Manuale di IndoWorks WS