



Ricerca di Sistema elettrico

Definizione di scenari di funzionamento
di una rete acquedottistica in funzione di
scenari di funzionamento della rete
elettrica in situazioni straordinarie

Antonia Longobardi

DEFINIZIONE DI SCENARI DI FUNZIONAMENTO DI UNA RETE ACQUEDOTTISTICA IN FUNZIONE DI SCENARI DI FUNZIONAMENTO DELLA RETE ELETTRICA IN SITUAZIONI STRAORDINARIE

Antonia Longobardi (Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile)

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: D.6 Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano

Obiettivo: Obiettivo d: Sicurezza infrastrutture critiche e monitoraggio Smart District - Sotto-Obiettivo d.1: DSS protezione e sicurezza delle infrastrutture critiche

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“Definizione di scenari ottimali di funzionamento della rete acquedottistica in funzione della minima erogazione di energia da parte della rete elettrica in situazioni ordinarie e straordinarie”*

Responsabile scientifico ENEA: Grazia Fattoruso

Responsabile scientifico Università di Salerno: Antonia Longobardi

Indice

| | |
|---|----|
| SOMMARIO..... | 4 |
| 1 INTRODUZIONE..... | 5 |
| 2 CASO DI STUDIO..... | 7 |
| 3 IL MODELLO IDRAULICO DELLA RETE DI DISTRIBUZIONE DELLO SCENARIO BASELINE..... | 12 |
| 4 DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI MALFUNZIONAMENTO ELETTRICA ED IDRAULICA..... | 18 |
| 4.1 ANALISI DI VULNERABILITÀ DELLA RETE IDRICA..... | 18 |
| 4.2 SCENARI DI CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO..... | 23 |
| 5 ANALISI DELLA RETE DI DISTRIBUZIONE IN CONDIZIONI OPERATIVE..... | 26 |
| 6 CONCLUSIONI..... | 46 |
| 7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI..... | 48 |
| 8 BREVE CURRICULUM VITAE..... | 49 |

Dipartimento di
Ingegneria Civile

Sommario

Il report in questione descrive le attività sviluppate al fine di identificare una metodologie per lo studio e l'analisi della interdipendenza funzionale tra due infrastrutture critiche a servizio di una comunità urbana, l'infrastruttura elettrica e quella acquedottistica, allo scopo di approfondire il funzionamento delle infrastrutture idraulica in condizioni straordinarie di funzionamento. L'analisi della interdipendenza oltre che a mettere in luce le eventuali fragilità della rete acquedottistica rappresenta uno strumento di pianificazione di strategie mirate a mitigare i danni connessi al rischio di malfunzionamento della rete idrica in condizioni straordinarie oltre che un elemento di supporto alla progettazione strutturale della medesima.

In una prima fase del lavoro si è proceduti alla ricostruzione del caso di studio, attraverso una raccolta dati relativi alle caratteristiche strutturali ed idrauliche della rete di distribuzione testata ed alle relative sollecitazioni in termini di domanda idrica, identificando anche tutti quelli che sono gli elementi interconnessi al funzionamento della linea elettrica. I dati raccolti sulle infrastrutture idriche sono stati organizzati nel GeoDatabase del DSS di CIPCast.

Conseguentemente si è potuto predisporre il modello dati ed al modello idraulico della stessa mediante l'utilizzo dei software InfoWater e EPANET rispettivamente, che rappresenta lo strumento di rappresentazione e simulazione successivamente utilizzato per esprimere un giudizio di affidabilità relativo al funzionamento della rete idrica nelle condizioni straordinarie.

In una seconda fase si è passati alle definizione degli scenari di funzionamento della rete elettrica in condizioni straordinarie. Per condizioni straordinarie si sono intese quelle determinate dall'occorrenza di un sisma di assegnate caratteristiche (quali periodo di ritorno, probabilità di superamento). Come conseguenza di tale occorrenza si sono considerati scenari multipli derivanti dalla rottura delle singole condotte, interruzione di energia elettrica, combinazioni tra le precedenti situazioni. Ciascuno scenario è stato caratterizzato per una probabilità di occorrenza calcolata a partire dal rischio di danneggiamento dei singoli elementi computato in funzione delle caratteristiche geometriche e strutturali di questi ultimi oltre che in funzione della severità della sollecitazione sismica, a caratterizzare la vulnerabilità del sistema modellato. Per ciascuno scenario sono state in ultimo determinate le variazioni di portata da associare allo schema idraulico.

Nella terza ed ultima fase si è proceduto alla simulazione della rete idraulica mediante il software EPANET. I risultati delle simulazioni idrauliche relative a ciascuno scenario (condizioni straordinarie) sono state confrontate con uno scenario baseline che rappresenta il funzionamento della rete acquedottistica nelle condizioni ordinarie. Attraverso la computazione e successiva comparazione di indici basati sulla capacità di erogazione della rete acquedottistica e dei carichi idraulici nodali, si è potuto esprimere un giudizio di affidabilità della stessa per ciascun scenario potendo quindi anche identificare e caratterizzare in probabilità di occorrenza le situazione connesse ai maggiori rischi di assenza o inaffidabilità del funzionamento idrico per la comunità servita.

1 Introduzione

In accordo all'art. 2 della direttiva 2008/114/CE del Consiglio dell'Unione Europea per infrastruttura critica si intende "un elemento, un sistema o parte di questo ubicato negli Stati membri che è essenziale per il mantenimento delle funzioni vitali della società, della salute, della sicurezza e del benessere economico e sociale dei cittadini ed il cui danneggiamento o la cui distruzione avrebbe un impatto significativo in uno Stato membro a causa dell'impossibilità di mantenere tali funzioni". I sistemi di Infrastrutture Critiche (CI) comprendono in particolare reti di utilità come energia, acqua, telecomunicazioni e sistemi di trasporto, ovvero strutture critiche discrete come ospedali, porti e aeroporti tra gli altri. Per ragioni di natura economica, sociale, politica e tecnologica queste infrastrutture sono diventate sempre più complesse ed interdipendenti [1-3]. Se ciò ha consentito di migliorare la qualità dei servizi erogati e contenerne i costi, ha tuttavia indotto in queste infrastrutture un alto livello di vulnerabilità ad un insieme di eventi naturali o meno che ne possono provocare danneggiamenti o distruzione [4]. Per la difesa e protezione delle infrastrutture critiche sono necessarie azioni governative, dei singoli che agiscono all'interno di una cultura orientata alla sicurezza e del mondo accademico, convergendo verso lo sviluppo di nuovi approcci e metodologie per ridurre le vulnerabilità e fronteggiare le nuove minacce a cui questi complessi sistemi, sempre più indispensabili per il nostro vivere quotidiano e la sicurezza e prosperità di un Paese, sono soggetti.

Un focus della normativa, sia comunitaria che nazionale, è sui settori dell'energia e trasporti. Nel settore energia il sistema elettricità (ECI) - Infrastrutture e impianti per la produzione e la trasmissione di energia elettrica per la fornitura di elettricità – rappresenta uno dei tre sotto settori.

Le ECI svolgono un ruolo fondamentale nel sostenere la società moderna e sono fondamentali per la fornitura agevole di servizi critici come la salute, l'acqua, le acque reflue e le telecomunicazioni, tra gli altri. [5]. In particolare per quel che concerne le reti di adduzione e distribuzione delle acque destinate al consumo domestico, irriguo ed industriale, numerose sono le apparecchiature che per il relativo funzionamento del servizio idrico necessitano una alimentazione elettrica. Questa circostanza pone una forte dipendenza della CI acque dalla CI elettricità.

Nella letteratura corrente sono piuttosto numerosi gli studi che illustrano l'effetto di fenomeni naturali sulle ECI. La storia insegna che disastri naturali connessi ai cambiamenti climatici, quali alluvioni e ondate di calore anomalo, rappresentano gli elementi critici rispetto al funzionamento delle ECI. Una sostanziale revisione di quegli che sono gli impatti associati al cambiamento climatico è illustrata in Varianou Mikellidou et al. [6]. Ma anche gli effetti che i terremoti hanno sulle ECI sono studiati dalla letteratura [7]. Quali siano invece gli effetti che situazioni critiche nelle ECI determinino in sistemi fortemente interconnessi come quelli dedicati al servizio idrico non sono invece altrettanto ben studiati [8].

In questo contesto, si inserisce il lavoro di ricerca relativo all'Accordo di collaborazione in questione, focalizzato alla definizione di un approccio metodologico mediante il quale identificare la interdipendenza funzionale tra due infrastrutture critiche a servizio di una comunità urbana, l'infrastruttura elettrica (oggetto di analisi nell'ambito delle attività del Sotto-Obiettivo d.1, cfr. Report RdS/PAR2017/061) e quella acquedottistica, e valutarne gli effetti che malfunzionamenti dell'una, quella elettrica, vengono a generarsi per l'altra, quella idraulica. Allo scopo sono state progettate un insieme di attività. Tali attività, di seguito descritte, si sviluppano per fasi essendo l'una l'input dell'altra, ed hanno lo scopo di approfondire il funzionamento delle infrastruttura idraulica in particolare in condizioni straordinarie di funzionamento.

In una prima fase viene analizzato il caso di studio, rappresentato da due sistemi idraulici principali. Un primo, ovvero l'acquedotto esterno che dalle aree di captazione delle sorgenti Capore e Peschiera, alimenta il serbatoio a servizio della zona di Ottavia (Municipio Roma XIV della città di Roma). Un secondo rappresentato dalla rete di distribuzione idrica che serve, a valle del serbatoio menzionato, la medesima zona.

Identificato e caratterizzato il caso di studio si è proceduti alla creazione del modello dati delle infrastrutture idrauliche, mediante il software InfoWater, e del modello idraulico mediante il software EPANET evidenziando le componenti di tale sistema che sono soggette al funzionamento elettrico. Benché possano essere diversi, sono stati considerati organi sensibili al funzionamento della rete elettrica essenzialmente le stazioni di sollevamento meccanico dell'acqua, operato mediante l'ausilio di pompe azionate con motori elettrici. Rispetto al caso di studio questi sono localizzati in due sezioni ovvero sul ramo dell'acquedotto esterno che proviene dal lago di Bracciano, che alimenta la città in condizioni straordinarie di funzionamento, ed a monte del serbatoio che serve la zona di Ottavia.

In una terza fase, identificate le reti di adduzione e di distribuzione e gli elementi critici rispetto al funzionamento idraulico/elettrico, si è proceduti alla definizione di un insieme di scenari di funzionamento della rete elettrica in condizioni straordinarie. Per condizioni straordinarie si sono intese quelle determinate dall'occorrenza di un sisma di assegnate caratteristiche (quali periodo di ritorno e probabilità di superamento). Come conseguenza di tale occorrenza si sono considerati scenari multipli derivanti dalla rottura delle singole condotte, interruzione di energia elettrica, combinazioni tra le precedenti situazioni. Ciascuno scenario è stato caratterizzato per una probabilità di occorrenza calcolata a partire dal rischio di danneggiamento dei singoli elementi computato in funzione delle caratteristiche geometriche e strutturali di questi ultimi oltre che in funzione della severità della sollecitazione sismica, a caratterizzare la vulnerabilità del sistema modellato. Per ciascuno scenario sono state in ultimo determinate le variazioni di portata da associare allo schema idraulico.

Nell'ultima fase è stata eseguita una analisi di affidabilità del sistema acquedottistico, ed in particolare della rete di distribuzione, in maniera da sintetizzare gli stati di non funzionamento o di mal funzionamento conseguenti a ciascuno scenario prima identificato. Note infatti le portate da associare allo schema idraulico per ciascuno scenario, si è proceduto alla simulazione della rete idraulica mediante il software EPANET. I risultati delle simulazioni idrauliche, relative a ciascuno scenario (condizioni straordinarie), sono state confrontate con uno scenario baseline che rappresenta il funzionamento della rete acquedottistica nelle condizioni ordinarie. Attraverso la computazione e successiva comparazione di indici basati essenzialmente sulla capacità di erogazione della rete acquedottistica, si è potuto esprimere un giudizio di affidabilità della stessa per ciascun scenario potendo quindi anche identificare e caratterizzare in probabilità di occorrenza le situazione connesse ai maggiori rischi di assenza o inaffidabilità del funzionamento idrico per la comunità servita.

Le attività descritte nel presente Report, sono state portate avanti in collaborazione con i gruppi di lavoro ENEA afferenti al Laboratorio DTE-FSN-DIN del C.R. Portici ed al Laboratorio DTE-SEN-APIC del C.R. Casaccia, nell'ambito del Sotto-Obiettivo d.1 ("DSS protezione e sicurezza delle infrastrutture critiche") del Progetto D.6, nel cui contesto si è inserito l'Accordo di Collaborazione tra Università di Salerno ed ENEA.

2 Caso di studio

La rete acquedottistica oggetto di studio nel presente lavoro è l'acquedotto del Peschiera-Capore che nasce dalle pendici del Monte Nuria in provincia di Rieti e si estende fino alla città di Roma. L'approvvigionamento idrico di Roma risale al 1870. Fino alla Seconda guerra mondiale la distribuzione di acqua a Roma veniva assicurata da tre grandi acquedotti: il Vergine, il Felice e il Paolo. I progetti di sviluppo urbanistico di Roma Capitale, nel periodo che va dagli anni '30 ai '40 furono grandiosi e ambiziosi e quindi, la necessità di nuovi approvvigionamenti idrici diventò essenziale. Nel 1937 si dette inizio alla prima fase della realizzazione dell'acquedotto Peschiera, uno dei più grandi acquedotti d'acqua di sorgente.

L'acquedotto del Peschiera-Capore è gestito da Acea Ato2 (società del gruppo ACEA SpA), che gestisce l'intero ciclo dell'acqua nell'area del Lazio centrale-Roma ovvero la distribuzione e la depurazione delle acque, assieme alla gestione delle fognature, che servono un centinaio di Comuni incluso Roma, per un totale di 3,7 milioni di abitanti.

Tale approvvigionamento deriva per il 12% da pozzi, per il 3% da fonti superficiali e per l'85% da sorgenti, tra cui le sorgenti del Peschiera e delle Capore, punti di captazione delle acque per l'acquedotto del Peschiera-Capore. Le sorgenti del Peschiera nascono all'interno del monte Nuria e sono costituite da una grande caverna natale di origine carsica (Figura 1), di circa 20 m di diametro. La falda scorre a quota 400 metri sul livello del mare, su uno dei livelli base del sistema idrogeologico Nuria\Velino. L'acqua scaturisce perennemente dall'interno della caverna e da una lunga rete di cunicoli (circa 1.500 m) all'interno del monte. Le acque della polla centrale e delle gallerie confluiscono in una grande galleria colletttrice dalla quale ha inizio l'acquedotto.



Figura 1. Caverna carsica del Peschiera.

L'acquedotto del Peschiera nella normalità funziona da sé. Tranne per alcuni dislivelli naturali dove c'è bisogno di pressione, l'acqua arriva fino a Roma praticamente senza alcun dispendio energetico. Scorre nelle condotte a gravità grazie alla pendenza graduale con la quale sono state costruite. Viaggia sempre a pelo libero, in condotte scavate nella roccia viva (Figura 2), alte circa 2,70 metri, con una sezione policentrica che è la migliore per questa portata. Le condotte sono per la maggior parte in cemento armato ma ce ne sono alcune anche in acciaio.



Figura 2. Immagini della costruzione delle gallerie dell'acquedotto del Peschiera scavate nella roccia.

L'acquedotto è alimentato da due sorgenti: le sorgenti del Peschiera la cui portata è di $9\text{ m}^3/\text{s}$ e le sorgenti delle Capore con portata di $4,5\text{ m}^3/\text{s}$. Dalle vasche di captazione, le acque delle Capore scorrono attraverso una galleria di deviazione a pelo libero della lunghezza di 7 km e confluiscono nell'acquedotto del Peschiera prima di arrivare a Roma (Figura 3).



Figura 3. a) Sorgente Peschiera. b) Sorgente Capore e c) Deviazione fiume Farfa.

Le acque potabili derivanti da entrambe le sorgenti confluiscono nella centrale idroelettrica di Salisano e, sfruttando un salto di 240 m (Peschiera) e di 80 m (Capore), producono energia elettrica.

Da Salisano in poi la rete principale si divide in due rami inferiori (Figura 4):

- il ramo sinistro che ha una capacità di trasporto di $8.5\text{ m}^3/\text{s}$ ed è lungo circa 33Km;
- il ramo destro che convoglia $5\text{ m}^3/\text{s}$ è lungo circa 59 km quasi tutti in galleria.

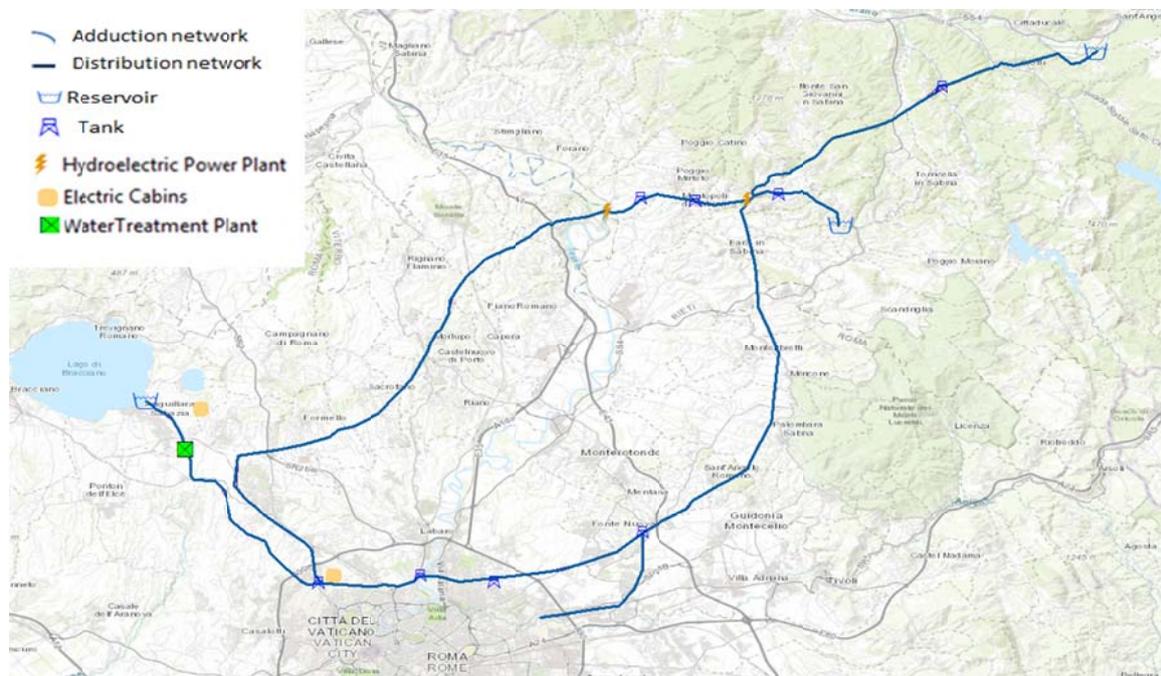


Figura 4. Schema Acquedotto del Peschiera-Capore.

Le acque del Peschiera giungono poi al centro idrico di Ottavia (Figura 5), costituito da:

- un serbatoio sopraelevato con capacità di 500 m^3 , alto 45 metri;
- una stazione di sollevamento costituita da 5 elettropompe che alimenta il serbatoio di Ottavia;

- due vasche di riunione e disconnessione di 4200 m³ che hanno il compito di raccogliere e derivare l'acqua.
- Il centro idrico di Ottavia svolge all'interno del sistema idrico romano un ruolo di grande importanza in quanto vi convergono:
- le acque del ramo destro del Peschiera (3,8 m³/s), attraverso una galleria di derivazione a pelo libero;
- le acque del ramo sinistro del Peschiera (1,2 m³/s) attraverso una condotta in pressione denominata "Monte Carnale-Ottavia", del diametro di 1600mm;
- le acque captate dal lago di Bracciano, utilizzate soltanto in caso di emergenza, attraverso una condotta in pressione di 2000 mm. Le condotte si trovano sul fondo del lago, a 55 m, e terminano in un manufatto che le collega al primo tratto dell'acquedotto, in superficie libera.

Tali portate in arrivo all'impianto, si uniscono nelle vasche di miscelazione e disconnessione idraulica, le quali sono poste a 130 metri sul livello del mare e permettono dunque la distribuzione dell'acqua a gravità.

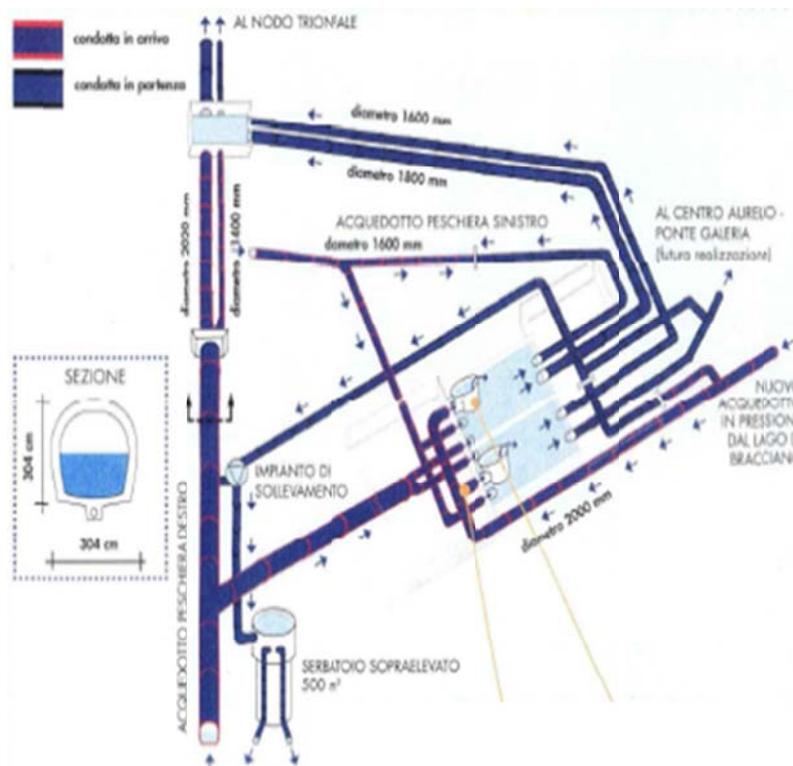


Figura 5. Schema di funzionamento del Centro idrico di Ottavia

Dalle vasche un sistema di pompaggio preleva una determinata quantità di acqua e la pompa nel serbatoio del centro idrico di Ottavia. Da qui la portata viene convogliata alla rete di distribuzione (Figura 6) attraverso una condotta di avvicinamento di 500 mm in acciaio. La rete di distribuzione è composta da 11 maglie chiuse principali che garantiscono la massima efficienza di funzionamento nel caso di interruzione di un tratto. Le maglie sono costituite da condotte in ghisa di diametro variabile, da un minimo di 50 mm ad un massimo di 250 mm.

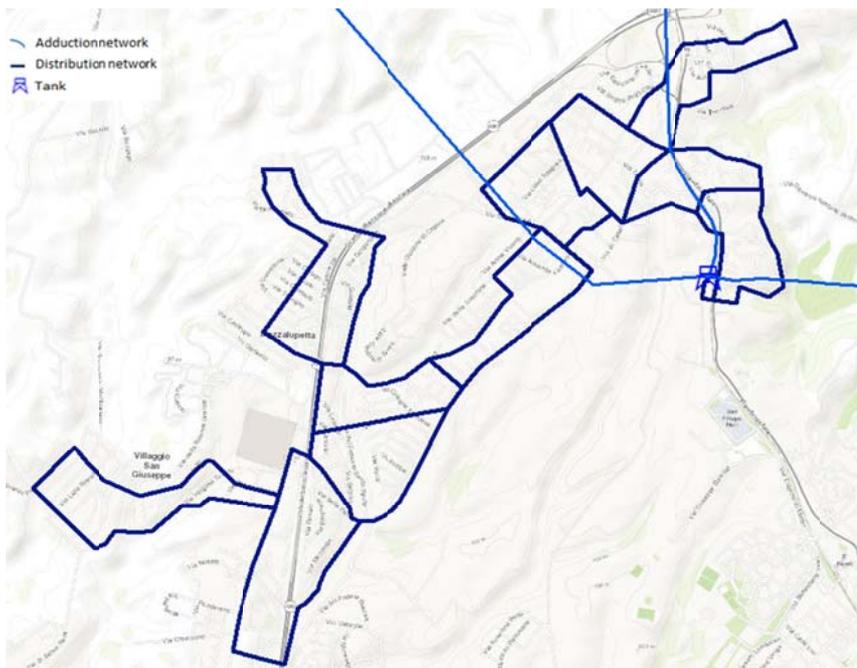


Figura 6. Rete di distribuzione zona l'Ottavia (Roma).

La rete di distribuzione copre una superficie di circa 4 km² ed eroga acqua ad una popolazione di 27.823 abitanti in corrispondenza di Ottavia, zona periferica di Roma (Figura 7). La portata media distribuita nella rete è di circa 48 l/s e tiene conto sia della dotazione idrica pro capite che del numero totale di abitanti.

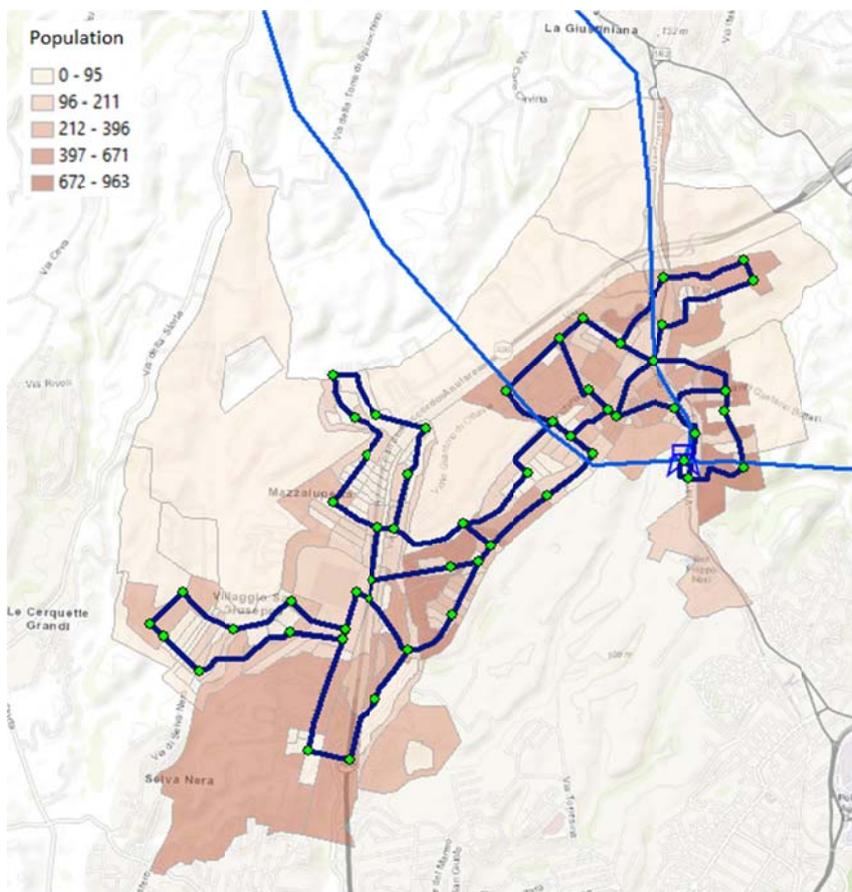


Figura 7. Distribuzione della popolazione area servita

L'acquedotto del Peschiera-Capore è il principale acquedotto del Lazio che presenta una pericolosità sismica caratterizzata da valori di PGA (accelerazione di picco) molto variabili, minimi lungo tutta la parte costiera e via via crescenti in direzione dell'Appennino, in provincia di Rieti (Figura 8). La pericolosità sismica è la stima dello scuotimento atteso, con una certa probabilità di accadimento, in una determinata zona e in un dato tempo di osservazione e dipende esclusivamente dalle caratteristiche della sismicità dell'area.

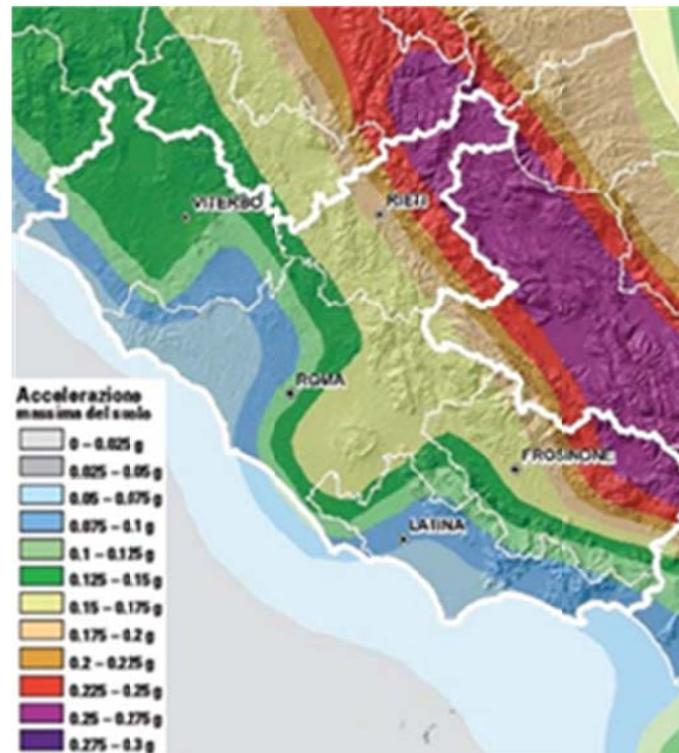


Figura 8. Valori di PGA Regione Lazio.

3 Il modello idraulico della rete di distribuzione e definizione dello scenario baseline

Il modello dati dei sistemi idraulici di adduzione e distribuzione precedentemente descritti, è stato creato mediante l'applicativo software Innovyze-InfoWater, un software di gestione e modellazione delle reti idriche. Basato su Esri-ArcGIS™ utilizzando le più recenti tecnologie dei componenti Microsoft .NET ed Esri ArcObjects, InfoWater integra perfettamente funzionalità avanzate di modellazione e ottimizzazione della rete idrica con l'ultima generazione di ArcGIS. InfoWater sfrutta l'intelligenza e la versatilità dell'architettura geodatabase per offrire livelli senza precedenti di analisi geospaziale, gestione dell'infrastruttura e pianificazione aziendale.

Per entrambi i sistemi idraulici di adduzione e distribuzione è stato costruito il layout dello schema idraulico, secondo il modello dati (Water) Network, che rappresenta le diverse componenti idrauliche (i.e. pipe, tank, reservoir, junction, valve) come entità geografica caratterizzati da proprietà spaziali (i.e. coordinate spaziali, geometria e topologia) e proprietà descrittive (i.e. materiale, scabrezza, caratteristiche topografiche, idrauliche, etc). I dati raccolti sulle infrastrutture idriche sono stati organizzati nel GeoDatabase del DSS di CIPCast. Nel modello dati sono stati inseriti anche i componenti relazionati al funzionamento della rete elettrica, ovvero le stazioni di pompaggio, le stazioni idroelettriche, i sistemi di trattamento delle acque e le cabine elettriche che consentono alle stazioni di sollevamento del centro idrico di Ottavia e del lago di Bracciano di funzionare (Figura 9 e Figura 10).

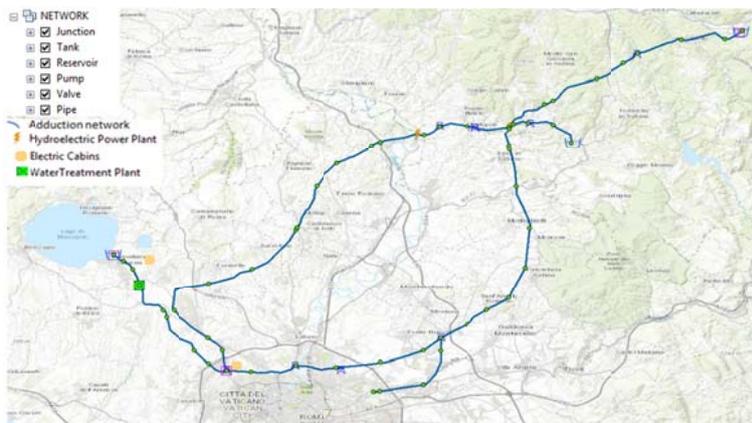


Figura 9. Rappresentazione rete di adduzione in InfoWater.

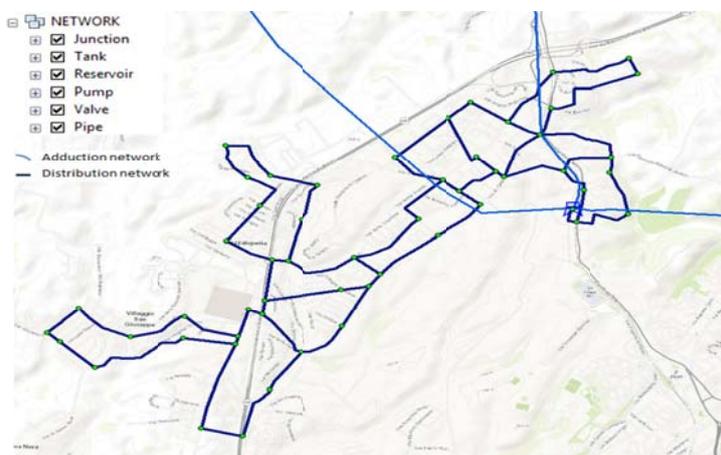


Figura 10. Rappresentazione rete di distribuzione in InfoWater.

La modellazione del comportamento idraulico della rete è stata eseguita mediante il software EPANET (United States Environmental Protection Agency), usato su scala globale per eseguire la simulazione stazionaria o di lungo termine del comportamento idraulico e della qualità dell'acqua all'interno di reti di tubazioni in pressione, costituite da tubi, nodi (giunzioni), pompe, valvole, serbatoi di compenso e bacini idrici. Può essere utilizzato per tracciare il flusso di acqua in ciascun tubo, la pressione in ciascun nodo, l'altezza dell'acqua in ciascun serbatoio, la concentrazione chimica, l'età dell'acqua.

In accordo a quanto prevede la schematizzazione del sistema idraulico in EPANET (Figura 11), la rete si distingue in componenti fisici (nodi e collegamenti) e non fisici (curve caratteristiche, pattern di domanda, controlli sul sistema).

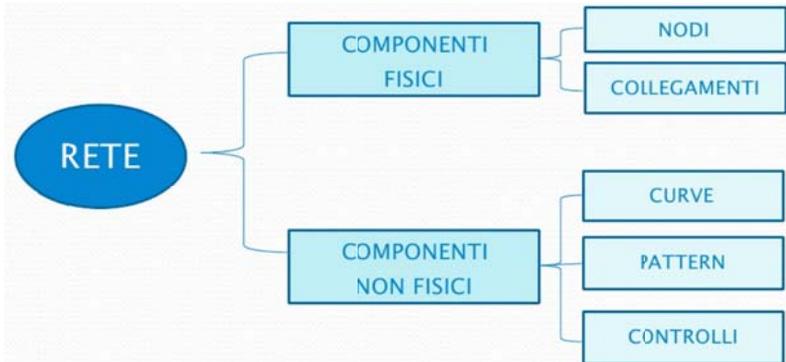


Figura 11. Componenti del sistema idraulico in EPANET.

In particolare le componenti fisiche (Figura 12) sono rappresentate da elementi puntuali (sorgenti, serbatoi, bacini idrici) e da elementi di connessione (le tubazioni per eccellenza, ma anche le valvole di controllo e le pompe).

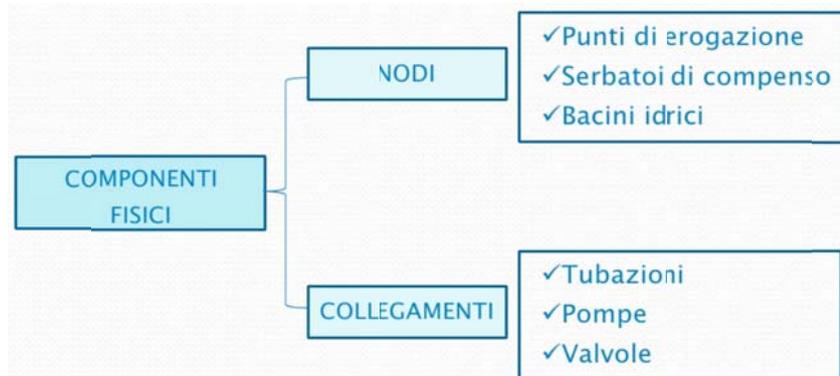


Figura 12. Componenti fisiche del sistema idraulico in EPANET.

Le componenti non fisiche (Figura 13) si riferiscono alle curve caratteristiche che illustrano le relazioni tra volumi e altezze di un serbatoio ovvero portate e carichi di una pompa, pattern di variabilità temporale delle portate erogate ovvero richieste ai nodi, elementi di controllo dei sistemi di gestione dei manufatti.

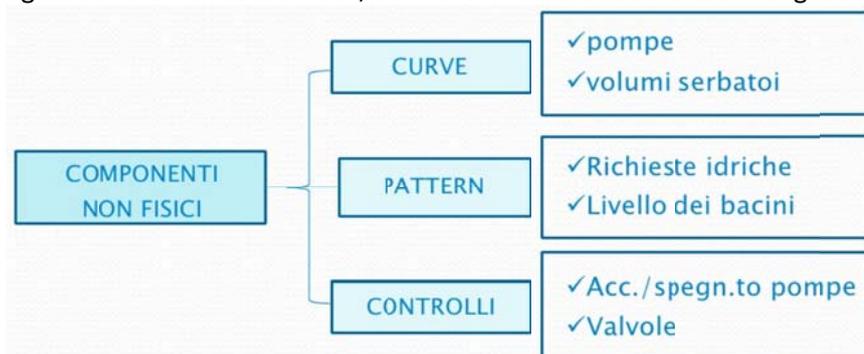


Figura 13. Componenti non fisiche del sistema idraulico in EPANET.

Il modello EPANET definisce:

Tabella 1. Principali componenti fisici e non fisici di EPANET.

| Elementi | Spiegazione |
|-------------------|--|
| Junctions | <p>Sono punti nella rete in cui i collegamenti si uniscono e dove entra l'acqua o lascia la rete. I dati di input di base richiesti per le giunzioni sono: elevazione sopra un piano di riferimento (di solito significa livello del mare), fabbisogno idrico, qualità dell'acqua iniziale. I risultati di output calcolati per le junctions in tutti i periodi di una simulazione sono, la pressione idraulica, il carico idraulico e la qualità dell'acqua. Le junctions possono anche avere una domanda varia nel tempo, avere più categorie di richieste assegnate, avere richieste negative che indicano che l'acqua sta entrando nella rete, essere fonti di qualità dell'acqua in cui i componenti entrano nella rete, contenere emettitori (o sprinkler) che dipendono dalla velocità di deflusso sulla pressione.</p> |
| Reservoirs | <p>I reservoirs (bacini idrici) sono nodi che rappresentano una fonte esterna infinita. Sono usati per modellare elementi come laghi, fiumi, falde acquifere sotterranee, e legami con altri sistemi. I serbatoi possono anche servire come punti di origine della qualità dell'acqua.</p> <p>Le proprietà di input primarie per un serbatoio sono il carico idraulico (uguale al pelo libero del serbatoio se non è sotto pressione) e la qualità dell'acqua iniziale. Essendo un reservoir un punto di confine di una rete, il suo carico e la qualità dell'acqua non possono essere influenzati da ciò che accade all'interno della rete. Pertanto non ci sono proprietà di output calcolate. Tuttavia il carico può essere fatto variare nel tempo assegnando un modello temporale ad esso (pattern).</p> |
| Tanks | <p>I tank (serbatoi) sono nodi con capacità di stoccaggio, in cui il volume di acqua immagazzinata può variare con il tempo durante una simulazione. Le proprietà di input primarie per i serbatoi sono, altezza del fondale (dove il livello dell'acqua è zero), diametro (o forma se non cilindrico), livelli d'acqua iniziali, minimi e massimi, qualità dell'acqua iniziale. Le principali uscite calcolate nel tempo sono: il carico idraulico e la qualità dell'acqua.</p> <p>I tanks sono tenuti a operare entro i loro livelli minimi e massimi. EPANET interrompe il deflusso se un serbatoio è al suo livello minimo e arresta l'afflusso se è al massimo livello. I serbatoi possono anche servire come punti di origine della qualità dell'acqua.</p> |

| | |
|----------------------|---|
| <p>Pipes</p> | <p>I pipes (tubazioni) sono collegamenti che trasportano l'acqua da un punto della rete a un altro. EPANET presume che tutti i tubi siano pieni in ogni momento. I principali parametri di input idraulico per i tubi sono Inizio e fine dei nodi, diametro, lunghezza, coefficiente di scabrezza (per determinare la perdita di carico), stato (aperto, chiuso o contenente una valvola di ritegno). Il parametro status consente ai pipe di contenere implicitamente valvole di shutoff (gate) e controllare le valvole (senza ritorno) (che consentono il flusso in una sola direzione). I parametri di output calcolati per i tubi includono portata, velocità, perdita di carico, fattore di attrito di Darcy-Weisbach, velocità di reazione media (oltre la lunghezza del tubo), qualità media dell'acqua (oltre la lunghezza del tubo). La perdita di carico dall'acqua che scorre in un tubo a causa dell'attrito con le pareti del tubo può essere calcolato utilizzando una delle tre diverse formule di Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chezy-Manning. La formula di Hazen-Williams è la formula di headloss più comunemente usata negli Stati Uniti. Non può essere utilizzato per liquidi diversi dall'acqua ed è stato originariamente sviluppato per solo flusso turbolento. La formula di Darcy-Weisbach è la più teoricamente corretta. Essa si applica su tutti i regimi di flusso e su tutti i liquidi. La formula di Chezy-Manning è più comunemente usato per il flusso in canali a pelo libero aperto.</p> |
| <p>Pumps</p> | <p>Le pumps (pompe) sono collegamenti che impartiscono energia a un fluido aumentando così il carico idraulico. i principali parametri di input per una pompa sono i suoi nodi di inizio e fine e la sua curva caratteristica (relazione tra portata e prevalenza manometrica). I principali parametri di output sono la portata e la prevalenza. Il flusso attraverso una pompa è unidirezionale e EPANET non consente a una pompa di funzionare al di fuori del suo raggio di azione della curva caratteristica. Come per i tubi, le pompe possono essere accese e spente a orari prestabiliti o quando certe condizioni sussistono nella rete. Il funzionamento di una pompa può anche essere descritto assegnandogli un modello temporale delle impostazioni relative della velocità (pattern). EPANET può anche calcolare il consumo di energia e il costo connesso all'esercizio di una pompa.</p> |
| <p>Valves</p> | <p>Le valves (valvole) sono collegamenti che limitano la pressione o il flusso in un punto specifico della rete. I loro principali parametri di input includono Inizio e</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>fine dei nodi, diametro, ambientazione, stato. Le uscite calcolate per una valvola sono portata e perdita di carico.</p> <p>I diversi tipi di valvole incluse in EPANET sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Valvola di riduzione della pressione (PRV) · Valvola di sostegno della pressione (PSV) · Valvola rompi-pressione (PBV) · Valvola di controllo del flusso (FCV) |
|--|--|

Il modello dati con tutte le sue componenti (*junctions, pipes, valves, pumps, tanks*) è stato trasferito al software di modellazione idraulica EPANET, in maniera da creare non solo un archivio ma anche un modello di simulazione del comportamento idraulico della rete.

Ad integrazione della descrizione, si riporta il layout del modello EPANET della rete di distribuzione investigata. Nel layout viene riportato lo schema topologico della rete, con una rappresentazione delle maglie, lati e nodi che la costituiscono oltre che con una rappresentazione dei diametri che costituiscono i diversi lati (Figura 14).

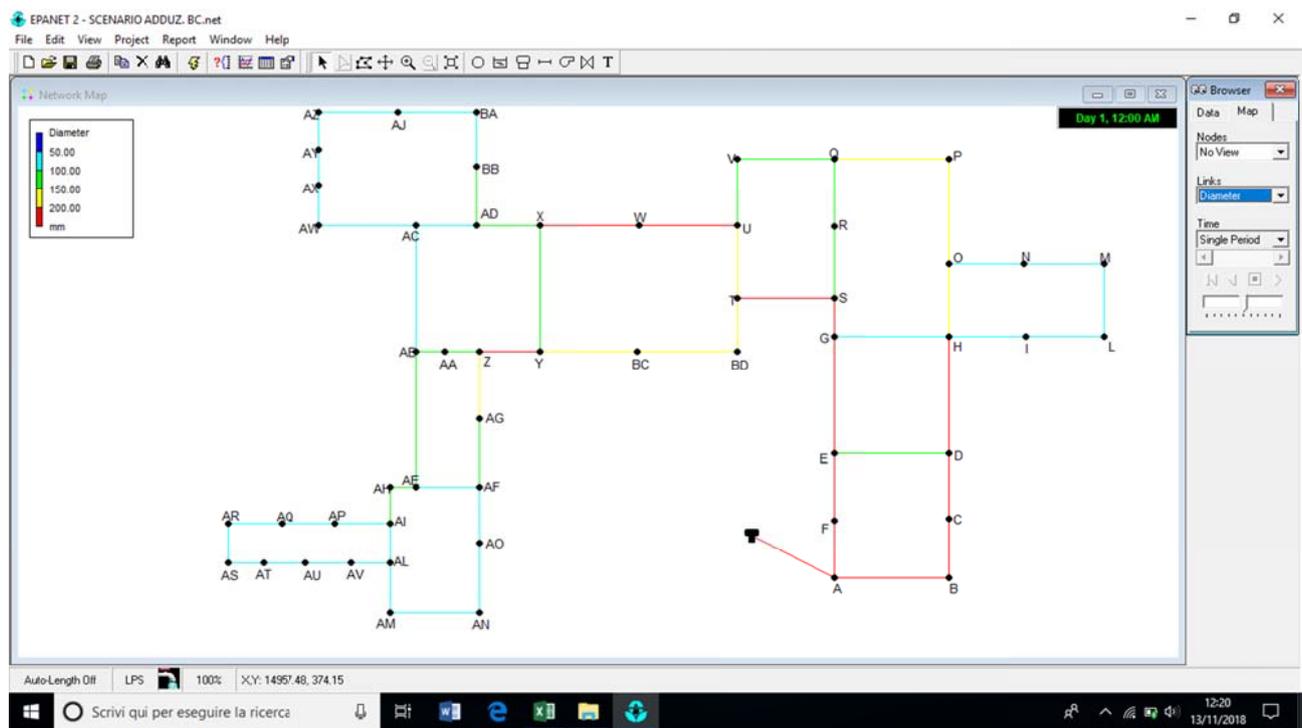


Figura 14. Schema topologico della rete di distribuzione studiata in EPANET.

Una volta noto lo schema topologico, sono stati inseriti i dati che consentono la simulazione idraulica. Si sono in primo luogo assegnate le portate da erogare per ciascun nodo, computate sulla base della numerosità degli abitanti da servire in ogni area di afferenza di ciascun tratto e sulla base della dotazione idrica. Si è poi scelto anche il modello di Darcy-Weisbach per il calcolo delle perdite di carico descritte dalle equazioni del moto applicato lungo ciascun tratto della rete. Terminata la fase di input dei dati si è proceduto al *run* del software e quindi all’acquisizione dei dati di output dello stesso, che consistono in carichi e pressioni in ciascun nodo della rete e velocità e portate in ciascun lato della rete (Figura 15).

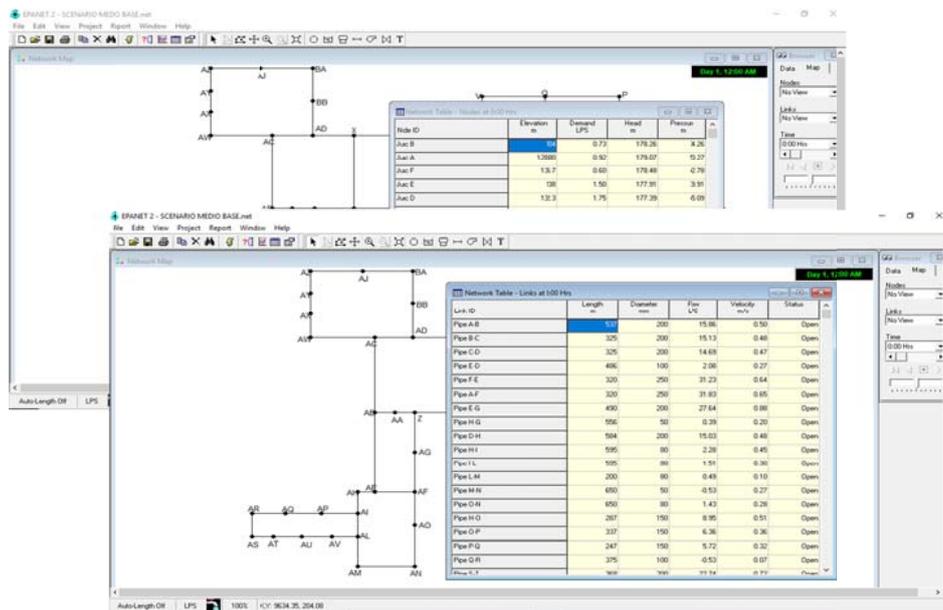


Figura 15. Esempio tabelle di output dello schema pilota in EPANET.

Di seguito vengono riportati i risultati di output relative ad una simulazione stazionaria che prevede la erogazione di una portata media di 48.6 l/s che rappresenta lo scenario di baseline, ovvero delle condizioni ordinarie, che sarà nel seguito preso a confronto per la definizione dei livelli di servizio e di affidabilità che la rete di distribuzione è in grado di fornire a seguito di perturbazioni al sistema, legate sia alla rottura meccanica di alcuni tratti sia al malfunzionamento della rete elettrica (Figura 16).

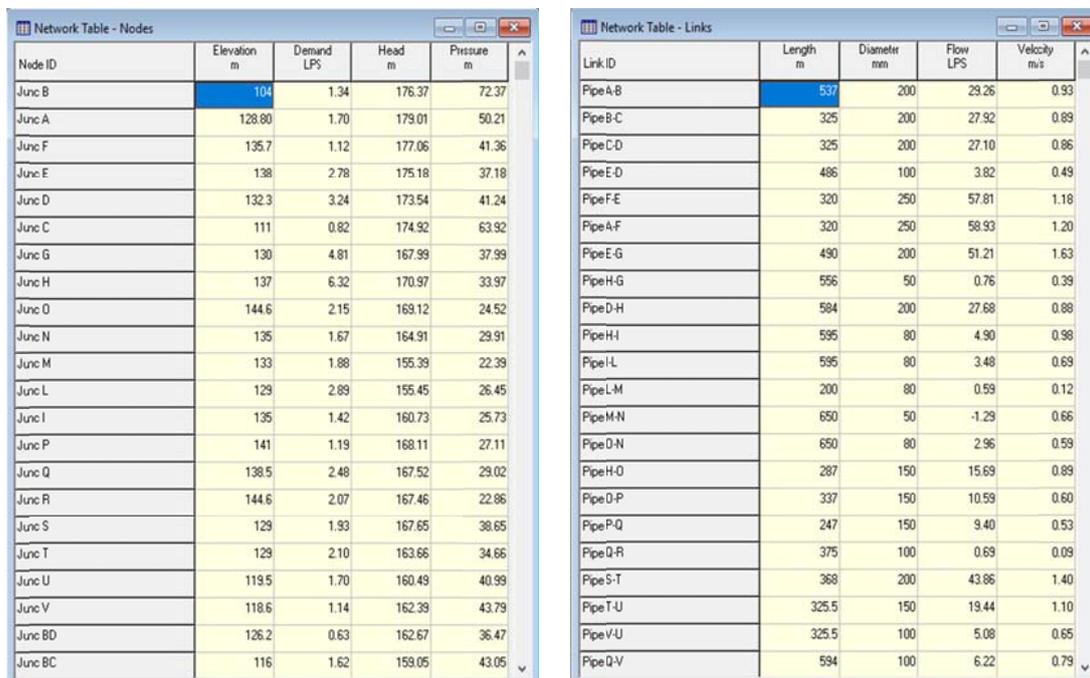


Figura 16. Tabelle di output che riportano i valori dei carichi e pressioni ai nodi e delle velocità e portata lungo i tratti relativamente allo scenario di baseline.

4 Definizione degli scenari di malfunzionamento delle reti elettrica ed idraulica

Una volta messo a punto il modello idraulico della rete di distribuzione, così come indicato al precedente paragrafo, si ha a disposizione un *tool* di simulazione idraulica che è in grado di mostrare la distribuzione nodale dei carichi idraulici, pressioni e portate in funzione della sollecitazione alla infrastruttura idraulica, ovvero in funzione della portata che viene immessa nello schema idraulico. Variazioni nella portata immessa insieme a variazioni strutturali del sistema, ad esempio mancato servizio (per rottura) di alcuni tratti o manufatti speciali (impianti di sollevamento), conducono a funzionamenti diversi ed in ultima analisi a prestazioni diverse della rete di distribuzione rispetto alle richieste che vengono fatte dall'utenza.

L'oggetto dell'analisi è lo studio della interdipendenza tra la rete idraulica di distribuzione e quella elettrica, in particolare in condizioni straordinarie. Per condizioni straordinarie di funzionamento, come già precedentemente introdotto e chiarito, si sono intese quelle determinate dall'occorrenza di un sisma di assegnate caratteristiche, quali periodo di ritorno e probabilità di superamento. A seguito dell'occorrenza di tale evento viene di fatto ipotizzato che le stazioni secondarie (appartenenti alla rete di distribuzione gestita da Areti, società appartenente anch'essa al gruppo ACEA SpA, cfr. Report RdS/PAR2017/061) a servizio degli organi elettromeccanici dislocati lungo lo schema idraulico, sostanzialmente impianti di sollevamento, si trovino in uno stato di non funzionamento.

Con riferimento allo schema acquedottistico studiato, ovvero il complesso delle opere di adduzione e distribuzione, gli impianti di sollevamento si trovano dislocati sulla derivazione proveniente da Lago di Bracciano che alimenta il centro urbano di Roma in condizioni di surplus di richiesta idrica, ed a monte del serbatoio di Ottavia localizzato nel nodo di connessione tra l'acquedotto eterno e quello interno.

L'occorrenza di un evento sismico determina tuttavia danneggiamento ad un insieme di infrastrutture critiche, quindi anche alla stessa rete idraulica, che può presentare un dato numero di rotture per ciascun tratto proporzionali alle caratteristiche geometriche dello stesso oltre che alle caratteristiche dell'evento sismico. Per completezza di trattazione quindi, nella identificazione degli scenari di malfunzionamento delle reti elettrica ed idraulica, si è ritenuto opportuno considerare non solo quelli che derivano dalla interruzione del servizio elettrico ma anche quelli che derivano dalla rottura delle singole condotte oltre che quelli derivanti da una combinazione di situazioni, ovvero dalla rottura delle condotte e contemporanea interruzione elettrica.

Gli scenari di danneggiamento, più specificamente di rottura, delle condotte sono stati identificati sulla base dell'analisi di vulnerabilità della rete idrica che associa a ciascuna condotta una probabilità di danneggiamento in relazione a eventi sismici con periodo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% e con periodi di ritorno più lunghi ovvero di 2500 anni e probabilità di superamento del 2%.

4.1 Analisi di vulnerabilità della rete idrica

Le reti acquedottistiche all'occorrenza di eventi sismici sia di forte che lieve intensità possono subire dei danneggiamenti fisici che interessano le diverse componenti della rete: dai serbatoi, agli impianti di trattamento delle acque, alle stazioni di pompaggio, alle tubazioni. In misura maggiore subiscono danneggiamenti le condotte attraverso rotture o perdite. Seguono, in ordine, le stazioni di pompaggio, i serbatoi e gli impianti di trattamento [9].

Dalla recente letteratura sulla vulnerabilità sismica delle reti idriche (quali reti interraste) e più in generale delle infrastrutture spazialmente distribuite [10,11,12,13,14] (e.g. reti stradali, reti di telecomunicazione, gasdotti reti fognarie) si evince che le *pipeline* subiscono danni per effetto combinato dello scuotimento del terreno (*ground shaking*) e della deformazione del terreno causata da fenomeni geotecnici di frana e liquefazione (*ground failure*). La risposta sismica di una rete idrica dipende anche da altri fattori, quali la rigidità dei corpi delle condotte, le connessioni, la lunghezza, il materiale, l'età e la corrosione.

Come per l'edificato, anche per le reti idriche sono state definite nel corso degli ultimi decenni funzioni di fragilità e di danneggiamento delle varie componenti [9]. Quelle relative alle condotte idrauliche sono funzione sia delle caratteristiche geometrico-strutturali delle reti che della pericolosità sismica delle stesse

e a partire da queste sono elaborate mappe di vulnerabilità sismica che diventano un utile strumento di supporto ai processi decisionali per gli enti gestori delle reti in situazioni straordinarie dovute all'occorrenza di un sisma. Tali mappe possono infatti fornire sia una stima preliminare dei costi di riparazione in caso di danneggiamento delle reti nonché supportare la scelta della priorità negli interventi sulla rete nella fase di gestione dell'emergenza post evento terremoto.

Per valutare la vulnerabilità di una infrastruttura idrica e più in generale di una infrastruttura spazialmente distribuita è necessario: (1) identificare le principali proprietà (i.e. geometrico, strutturali) delle componenti critiche dell'infrastruttura; (2) acquisire dati territoriali complementari che descrivono le caratteristiche geotecniche del suolo, la topografia, etc.; (3) definire la pericolosità sismica di ogni elemento dell'infrastruttura, espressa generalmente in termini di misure di intensità sismica quali PGA, PGV e PGD, a scala regionale (4) definire lo stato di fragilità e di danneggiamento dell'infrastruttura ovvero delle sue componenti quali le condotte attraverso opportune equazioni empiriche.

Tale metodologia è stata applicata alla rete idrica del Peschiera-Capore (Figura 5), quale caso studio del presente lavoro, tenendo in maggiore considerazione l'insieme di dati che l'ente gestore della rete può avere disponibile o a cui può facilmente accedere.

Per la rete idrica studio è stato quindi costruito lo schema idraulico (Figura 14), definendo le caratteristiche geometriche, strutturali e topografiche delle singole componenti della rete, in particolare delle condotte, e quelle idrauliche.

Relativamente alle condotte, le funzioni di vulnerabilità disponibili in letteratura calcolano il parametro *Repair Rate (RR)*, espresso in termini di lunghezza normalizzata ($1=km$), in funzione delle singole misure di intensità sismica *Peak Ground Velocity (PGV)*, *Peak Ground Acceleration (PGA)* e/o *Permanent Ground Displacement (PGD)* o della loro combinazione. Il parametro RR rappresenta il numero di riparazioni per ogni chilometro di condotta. Gli enti gestori delle infrastrutture hanno generalmente disponibile le mappe di scuotimento espresse in termini di *PGA* perché liberamente fornite dai servizi nazionali di rilievo geologico (in Italia, INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

Pertanto è stata eseguita una analisi di pericolosità sismica della rete studio definendo per ogni segmento di condotta il relativo valore *PGA* derivato dalle mappe di pericolosità sismica in termini di a_g su suolo rigido con probabilità di superamento in 50 anni pari a 10% e 2% e tempo di ritorno rispettivamente di 475 e 2500 anni (Fonte dei dati:INGV) (Figure 17 e 18).

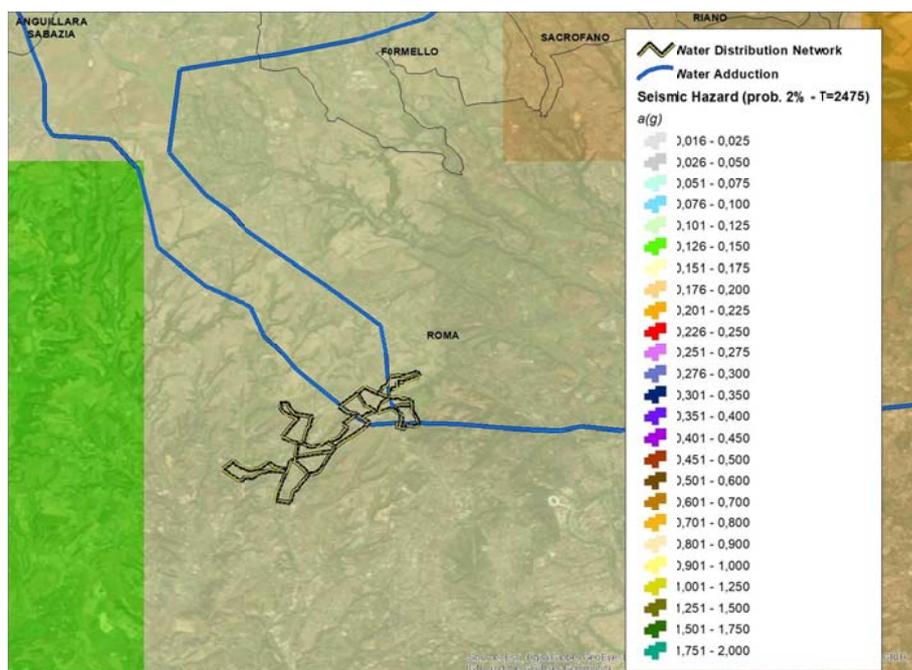


Figura 17. Mappa di pericolosità sismica dell'area studio in termini di a(g) su suolo rigido con probabilità di superamento in 50 anni pari a 2% e tempo di ritorno T=2500 anni (Fonte dati: INGV).

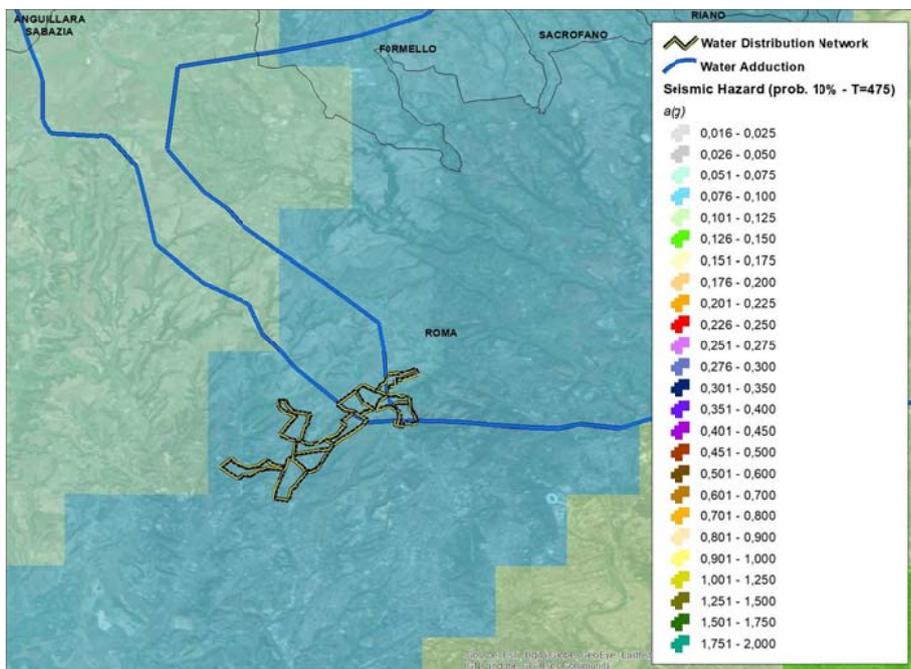


Figura 18. Mappa di pericolosità sismica dell'area studio in termini di a(g) su suolo rigido con probabilità di superamento in 50 anni pari a 10% e tempo di ritorno T=475 anni (Fonte dati: INGV).

A partire dai valori di PGA , è stato calcolato il valore RR attraverso l'equazione di fragilità empirica di Toprak (2007)[15], espressa come:

$$\text{Log}(RR)=1.3*\text{log}(PGA)-0.6$$

per tutti i tipi di condotte interrato.

Calcolati i valori di RR , ad ogni segmento di condotta è stata associata una probabilità di danneggiamento, calcolata sulla base della seguente relazione sperimentale (assumendo che il numero di condotte che subiscono una danneggiamento segue la distribuzione di Poisson) [16]:

$$P_f=1-\text{EXP}(-RR*L)$$

dove L è la lunghezza della condotta in km, RR è il valore *Repair Rate* delle condotte e P_f è la probabilità di danneggiamento della condotta.

P_f è calcolata per ogni condotta (o segmento di condotta) sia della rete di adduzione che della rete di distribuzione e sia in relazione a eventi sismici con periodo di ritorno di 2500 anni e probabilità di eccedenza del 2% (Figura 19, 20) che in relazione a eventi sismici con periodi di ritorno di 475 anni e probabilità di eccedenza del 10% (Figura 21, 22).

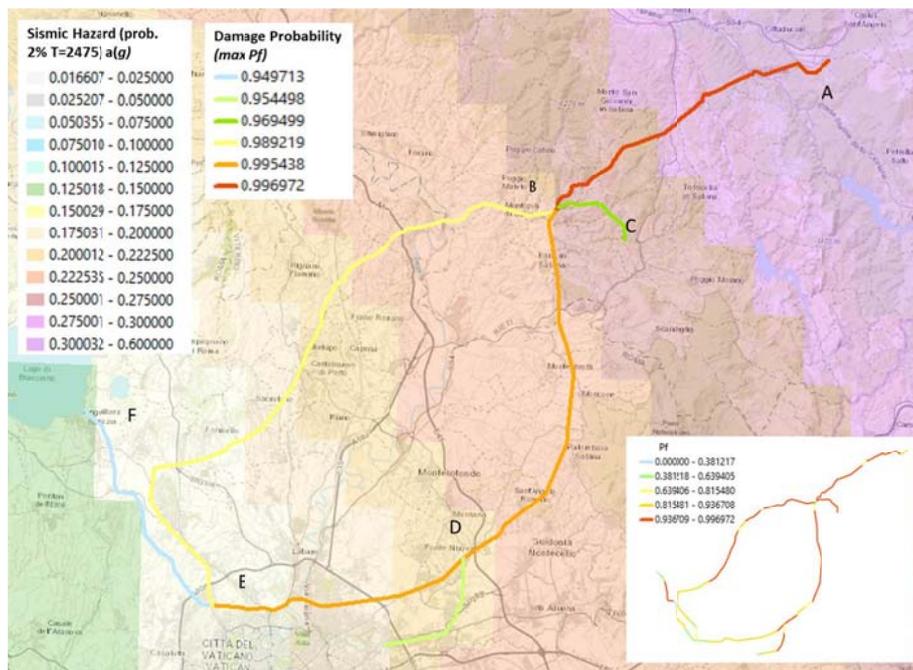


Figura 19. Mappa delle probabilità di danneggiamento della rete di adduzione per terremoti con tempo di ritorno di 2500 e probabilità di superamento in 50 anni pari al 2%.

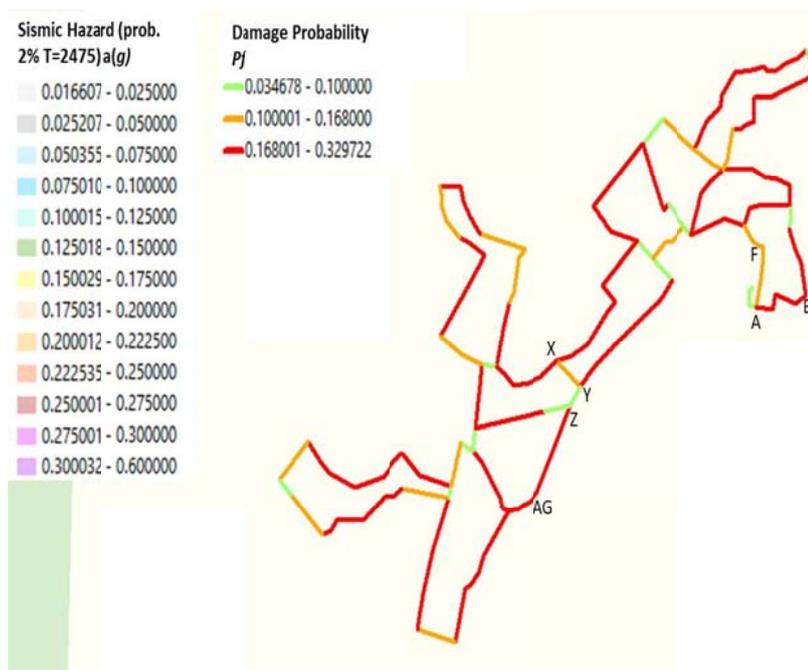


Figura 20. Mappa delle probabilità di danneggiamento della rete di distribuzione per terremoti con tempo di ritorno di 2500 anni e probabilità di superamento in 50 anni pari al 2%.

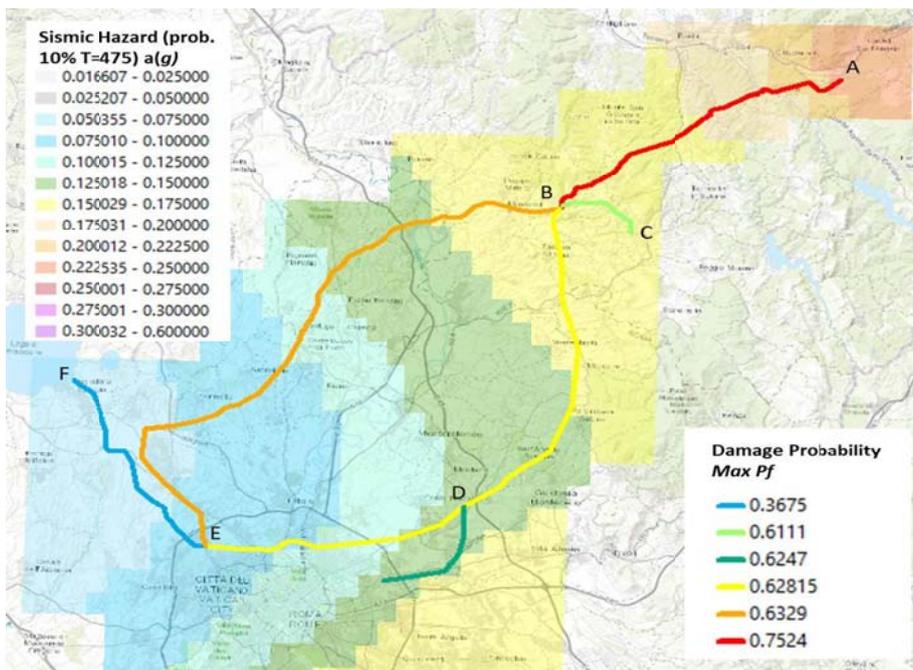


Figura 21. Mappa delle probabilità di danneggiamento della rete di adduzione per terremoti con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento in 50 anni pari al 10%.

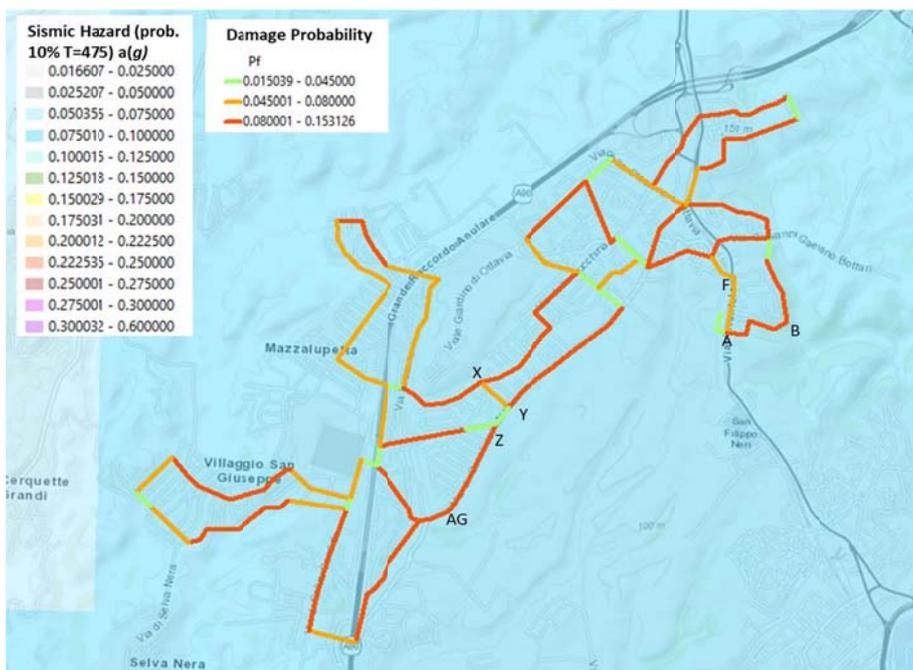


Figura 22. Mappa delle probabilità di danneggiamento della rete di distribuzione per terremoti con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento in 50 anni pari al 10%.

4.2 Scenari di condizioni di funzionamento straordinarie

Come conseguenza si sono considerati 12 differenti scenari ciascuno dei quali è stato caratterizzato per una probabilità di occorrenza calcolata P_{failure} a partire dal rischio di danneggiamento dei singoli elementi computato in funzione delle caratteristiche geometriche e strutturali di questi ultimi oltre che in funzione della severità della sollecitazione sismica, a caratterizzare la vulnerabilità del sistema modellato.

Per ciascuno scenario sono state in ultimo determinate le variazioni di portata da associare allo schema idraulico. I 12 scenari analizzati sono riportati nella [Tabella 2](#) e di seguito se ne illustra una breve descrizione.

SCENARIO 1: viene ipotizzata la rottura del tratto AB dell'acquedotto esterno ([Figura 21](#)), deputato al convogliamento delle acque del Peschiera. Dei 13.5 mc/s di portata che vengono derivati dalle sorgenti del Peschiera e delle Capore, il tratto AB convoglia la maggiore portata, ovvero 9 mc/s. L'evento di una rottura lungo questo tratto impone una riduzione del valore della portata media che viene immessa nella rete di distribuzione studiata in corrispondenza del serbatoio al nodo E, stimata nella misura di 16.2 l/s.

SCENARIO 2: viene ipotizzata la rottura del tratto BC dell'acquedotto esterno ([Figura 21](#)), deputato al convogliamento delle acque delle Capore. Dei 13.5 mc/s di portata che vengono derivati dalle sorgenti del Peschiera e delle Capore, il tratto BC convoglia la minore portata, ovvero 4.5 mc/s. L'evento di una rottura lungo questo tratto impone una riduzione del valore della portata media che viene immessa nella rete di distribuzione studiata in corrispondenza del serbatoio al nodo E, stimata nella misura di 32.4 l/s.

SCENARIO 3: viene ipotizzata la rottura del tratto BEsuperiore dell'acquedotto esterno ([Figura 21](#)). Dei 13.5 mc/s di portata che vengono derivati dalle sorgenti del Peschiera e delle Capore, il tratto BE superiore convoglia la minore portata, ovvero 5 mc/s. L'evento di una rottura lungo questo tratto impone una riduzione del valore della portata media che viene immessa nella rete di distribuzione studiata in corrispondenza del serbatoio al nodo E, stimata nella misura di 12.15 l/s.

SCENARIO 4: viene ipotizzata la rottura del tratto BEinferiore dell'acquedotto esterno ([Figura 21](#)). Dei 13.5 mc/s di portata che vengono derivati dalle sorgenti del Peschiera e delle Capore, il tratto BE inferiore convoglia la maggiore portata, ovvero 8.5 mc/s. L'evento di una rottura lungo questo tratto impone una riduzione del valore della portata media che viene immessa nella rete di distribuzione studiata in corrispondenza del serbatoio al nodo E, stimata nella misura di 36.45 l/s.

SCENARIO 5: viene ipotizzata la rottura del tratto FE dell'acquedotto esterno ([Figura 21](#)), ovvero della derivazione dal Lago di Bracciano che viene utilizzata ad incrementare le erogazioni nei momenti di surplus della domanda idrica. In questo scenario viene considerato un numero di abitanti incrementato del 15% rispetto a quelli corrispondenti allo scenario di baseline seppure la portata immessa in rete rimanga invariata, pari ad una portata media di 48.6 l/s. L'incremento della richiesta idrica è stato ipotizzato nel settore a sud-ovest della rete di distribuzione.

SCENARIO 6: viene ipotizzata l'interruzione del funzionamento elettrico a servizio dell'impianto di sollevamento posto in prossimità del serbatoio al nodo E ([Figura 21](#)). In questo scenario viene supposto che il serbatoio risulti pieno, per un volume di 500 mc, al momento della interruzione del servizio elettrico. Desiderando erogare una portata media giornaliera a servizio di tutti gli utenti è possibile immettere in rete una portata di soli 5.78 l/s (garantisce una dotazione di soli 18 l/ab*g a fronte della dotazione ordinaria considerata di 150 l/ab*g).

SCENARIO 7: viene ipotizzata l'interruzione del funzionamento elettrico a servizio dell'impianto di sollevamento posto in prossimità del serbatoio al nodo E ([Figura 21](#)). In questo scenario viene supposto che il serbatoio risulti mezzo pieno, per un volume di 250 mc, al momento della interruzione del servizio elettrico. Desiderando erogare una portata media giornaliera a servizio di tutti gli utenti è possibile immettere in rete una portata di soli 2.89 l/s (garantisce una dotazione di soli 9 l/ab*g a fronte della dotazione ordinaria considerata di 150 l/ab*g).

SCENARIO 8: viene ipotizzata la rottura del tratto compreso tra i nodi A e B della rete di distribuzione (Figura 22). Questo scenario risulta critico in quanto interessa un tratto immediatamente a valle della condotta di avvicinamento. Non essendovi interruzioni sull'acquedotto esterno, la portata immessa in rete è pari a quella media ovvero 48.6 l/s.

SCENARIO 9: viene ipotizzata la rottura del tratto compreso tra i nodi A e F della rete di distribuzione (Figura 22). Questo scenario risulta critico in quanto interessa un tratto immediatamente a valle della condotta di avvicinamento. Non essendovi interruzioni sull'acquedotto esterno, la portata immessa in rete è pari a quella media ovvero 48.6 l/s.

SCENARIO 10: viene ipotizzata la rottura congiunta dei tratti compresi tra i nodi X e Y ed Ag e Z della rete di distribuzione (Figura 22). Questo scenario risulta critico in quanto i tratti interessati hanno una alta probabilità di rottura e rappresentano le dorsali principali che connettono il serbatoio di alimentazione alla zona sud-ovest della rete. Non essendovi interruzioni sull'acquedotto esterno, la portata immessa in rete è pari a quella media ovvero 48.6 l/s.

SCENARIO 11: viene ipotizzata la rottura del tratto compreso tra i nodi A e B della rete di distribuzione (Figura 22) congiuntamente ad una interruzione della rete elettrica a servizio dell'impianto di sollevamento nel nodo E, considerato pieno. Rappresenta una combinazione degli scenari 8 e 6.

SCENARIO 12: viene ipotizzata la rottura del tratto compreso tra i nodi A e B della rete di distribuzione (Figura 22) congiuntamente ad una interruzione della rete elettrica a servizio dell'impianto di sollevamento nel nodo E, considerato mezzo pieno. Rappresenta una combinazione degli scenari 8 e 7.

A commento di quanto delineato, si sottolinea che gli scenari sono stati disegnati sotto alcune ipotesi semplificative che tuttavia non rappresentano un limite alla significatività delle analisi. Gli scenari, in particolare per quel che riguarda il relativo funzionamento idraulico, sono stati disegnati nell'ipotesi di funzionamento ideale del sistema, ovvero di assenza di perdite legate allo stato di usura delle infrastrutture. In aggiunta, alcuni degli scenari, in particolari quelli connessi al mancato funzionamento dell'impianto di sollevamento a monte del serbatoio nel nodo E, sono fortemente condizionati dalle condizioni al contorno che li definiscono.

Le scarsissime erogazioni che possono realizzarsi, determinate dalla scarsa o nulla capacità di compenso del serbatoio stesso nei riguardi dell'utenza da servire, andrebbero prese in maggior considerazione se rientranti nella definizione di un piano di intervento straordinario destinato al servizio di un particolare settore od utenza del tessuto urbano su cui insiste piuttosto che in un servizio diffuso all'intera utenza.

Ancora, relativamente agli scenari che combinano il malfunzionamento del sistema elettrico e le rotture delle condotte, è importante indicare che la relativa numerosità è potenzialmente molto grande, ma che lo scopo non è quello di ricercare lo scenario a cui corrisponde il peggiore funzionamento della rete (che renderebbe necessaria la identificazione di tutti i possibili scenari) ma quello di illustrare una metodologia attraverso la quale studiare gli effetti di tali malfunzionamenti sulla infrastruttura idraulica.

Tabella 2. Scenari straordinari di malfunzionamento del sistema acquedottistico

| N° scenario | Infrastruttura idraulica | Tipo guasto | Tratto rete | Nab serviti | Vol serb (mc) | Pfailure (T=2000 anni) | Pfailure (T=475 anni) | Q _m (l/s) |
|-------------|--------------------------|---|-------------------|-------------|---------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1 | Rete adduttrice | Rottura condotta | AB | N | - | 0.75 | 0.99 | 16.2 |
| 2 | Rete adduttrice | Rottura condotta | BC | N | - | 0.61 | 0.96 | 32.4 |
| 3 | Rete adduttrice | Rottura condotta | BE sup | N | - | 0.63 | 0.98 | 12.15 |
| 4 | Rete adduttrice | Rottura condotta | BE inf | N | - | 0.62 | 0.99 | 36.45 |
| 5 | Rete adduttrice | Interruzione elettrica | FE | N + 15%N | - | - | - | 48.6 |
| 6 | Serbatoio testata | Interruzione elettrica | Serbatoio E | N | 500 | - | - | 5.78 |
| 7 | Serbatoio testata | Interruzione elettrica | Serbatoio E | N | 250 | - | - | 2.89 |
| 8 | Rete distribuzione | Rottura condotta | A-B | N | - | 0.09 | 0.20 | 48.6 |
| 9 | Rete distribuzione | Rottura condotta | A-F | N | - | 0.06 | 0.12 | 48.6 |
| 10 | Rete distribuzione | Rottura condotta | X-Y+AG-Z | N | - | 0.08 | 0.18 | 48.6 |
| 11 | 8 + 6 | Rottura condotta/Interruzione elettrica | A-B + Serbatoio E | N | 500 | 0.09 | 0.20 | 5.78 |
| 12 | 8 + 7 | Rottura condotta/Interruzione elettrica | A-B + Serbatoio E | N | 250 | 0.09 | 0.20 | 2.89 |

5 Analisi della rete di distribuzione in condizioni straordinarie

Gli scenari identificati al paragrafo precedente vengono utilizzati come input per il modello idraulico della rete di distribuzione della municipalità analizzata ed i risultati vengono interpretati in maniera da esprimere un giudizio circa le prestazioni del sistema idraulico in condizioni e situazioni di funzionamento diverse da quelle ordinarie, precedentemente identificate e indicate come scenario di baseline, ovvero delle condizioni di regime. Questo tipo di analisi va sotto il nome di analisi di prestazione o di affidabilità del sistema e spesso si fonda sulla definizione di una serie di indicatori di prestazione che mettono a confronto le diverse situazioni di funzionamento della rete, generalmente in termini di portate e carichi idraulici ai nodi della rete.

Definiti gli scenari così come indicato al precedente paragrafo, per ciascuno di essi viene condotta una simulazione idraulica utilizzando il software EPANET, in modo da ricavare la distribuzione delle portate erogate ai nodi e dei carichi idraulici ovvero delle pressioni ai nodi. Le simulazioni vengono condotte in accordo ad uno schema DDA ovvero Demand Driven Analysis, integrato dalla maggior parte dei modelli di calcolo attualmente utilizzati.

Così come meglio discusso nella fase introduttiva, in particolare per quanto concerne l'acquedotto esterno, la prestazione del sistema viene analizzata, secondo una metodica condivisa dalla comunità scientifica, attraverso un indice R basato sul rapporto tra i volumi effettivamente erogati W_E e quelli richiesti W_R , durante il periodo di valutazione:

$$R = \frac{W_E}{W_R}$$

in cui W_E è il volume erogato per ciascuno scenario e W_R è il volume della domanda corrispondente allo scenario baseline. L'indice R così definito ha il vantaggio rispetto ad altri indicatori di avere un significato fisico semplice ed immediato e di poter essere rapidamente connesso al danno che il particolare stato di non o malfunzionamento arreca alla comunità nella erogazione del servizio idrico. L'orizzonte temporale di analisi considerato è quello di un giorno ed essendo gli scenari analizzati connessi tutti a situazioni di emergenza si ipotizza una situazione in cui la domanda sia stazionaria durante il tempo di valutazione e sia pari al valore medio, funzione della numerosità degli abitanti e della dotazione idrica fissata. Benché suscettibile di una valutazione al singolo nodo, non avendo utilizzato negli schemi di simulazione il legame tra portata erogata e carico idraulico, l'indice è stato determinato come valore medio sull'intera rete.

Nelle [Figure 23-30](#) vengono riportati, per ciascun nodo e per ciascuna simulazione o scenario, il confronto tra le portate erogate nella specifica simulazione e quelle erogate nello scenario di baseline. È possibile osservare come per ciascuno scenario il valore delle portate nodali è sempre inferiore rispetto a quello dello scenario baseline, in maniera più o meno importante, a seconda della riduzione della portata totale immessa in rete. Fa eccezione il risultato della simulazione relativo allo scenario 5 che, si ricorda, considera rispetto agli altri, un aumento del numero degli abitanti pari al 15%, che viene concentrato nell'area e nelle relative maglie a sud ovest della rete, così come anche rappresentato in [Figura 27-28](#). Questo scenario corrisponde al mancato funzionamento della linea elettrica, e quindi degli impianti di sollevamento che sono a servizio del tratto di adduzione proveniente dal lago di Bracciano, che viene utilizzato in situazioni di deficit idrico.

A valle di queste rappresentazioni, l'indice di prestazione R è indicato nella [Tabella 3](#). Gli scenari a cui corrispondono le prestazioni più elevate sono gli scenari 2 e 4 a cui corrispondono chiaramente le maggiori portate immesse in rete. L'indice non è computato per lo scenario % che rispetto agli altri vede una portata immessa pari proprio a quella media ma allo stesso tempo vede una numerosità differente degli abitanti serviti. Prestazioni particolarmente basse sono affidate agli scenari 6 e 7, ovvero a quelli corrispondenti al mancato funzionamento della rete elettrica e quindi dell'impianto di sollevamento a servizio del serbatoio nel nodo E. le portate esigue che vengono immesse in rete in questi scenari, che determinano le scarsissime prestazioni, sono di fatto legate alla praticamente nulla capacità di compenso di cui è dotato il serbatoio sopraelevato a servizio dell'area urbana. L'indice non è poi calcolato per gli scenari che vanno dall'8 al 10,

ovvero quelli per la rete di distribuzione, essendo il malfunzionamento dei sistemi di questa infrastruttura non riconducibile ad una limitazione di portata immessa nello schema idraulico. Maggiori approfondimenti in termini di prestazioni verranno espressi per questi, come per gli altri scenari, da una analisi del cielo piezometrico conseguente a ciascuno scenario.

Sempre in termini di approfondimento, per ciascuno scenario e per il corrispondente numero di abitanti servito, viene fornito il valore della dotazione idrica che è possibile assegnare (Tabella 4). Si osserva come questa possa variare tra un valore massimo pari a 134 l/ab*g nel caso dello scenario 5, e si riduce fino a diventare irrilevante, 9 l/ab*g, nel caso degli scenari 6 e 7 che corrispondono al mancato sollevamento nel nodo E. In ultimo la Tabella 5 riporta il numero di abitanti che è possibile rifornire per ciascuno scenario con una dotazione idrica che corrisponde allo scenario di baseline ovvero di 150 l/ab*g. Nella migliore ipotesi, scenario 4, è possibile rifornire circa il 75% della popolazione residente con una erogazione media e solo il 12% ovvero il 6% nel caso degli scenari 6 e 7 rispettivamente. In particolare per questi ultimi due, l'informazione così raggiunta può rappresentare una importante informazione da utilizzare in fase di emergenza dal gestore del sistema idrico, che potrà decidere di convogliare la risorsa disponibile in una specifica area sensibile del centro urbano con la migliore prestazione possibile (ad esempio una zona ospedaliera).

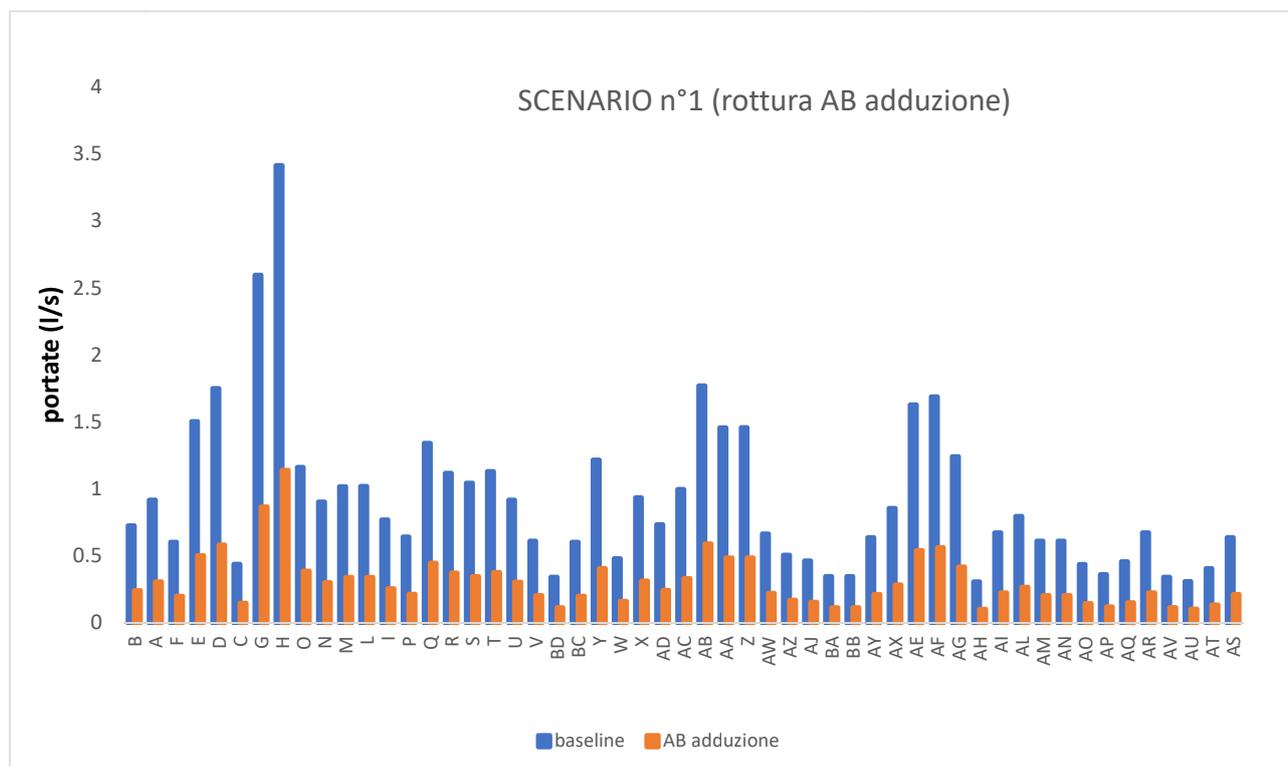


Figura 23. Andamento delle portate nodali per lo scenario n°1 confrontate con lo scenario baseline.

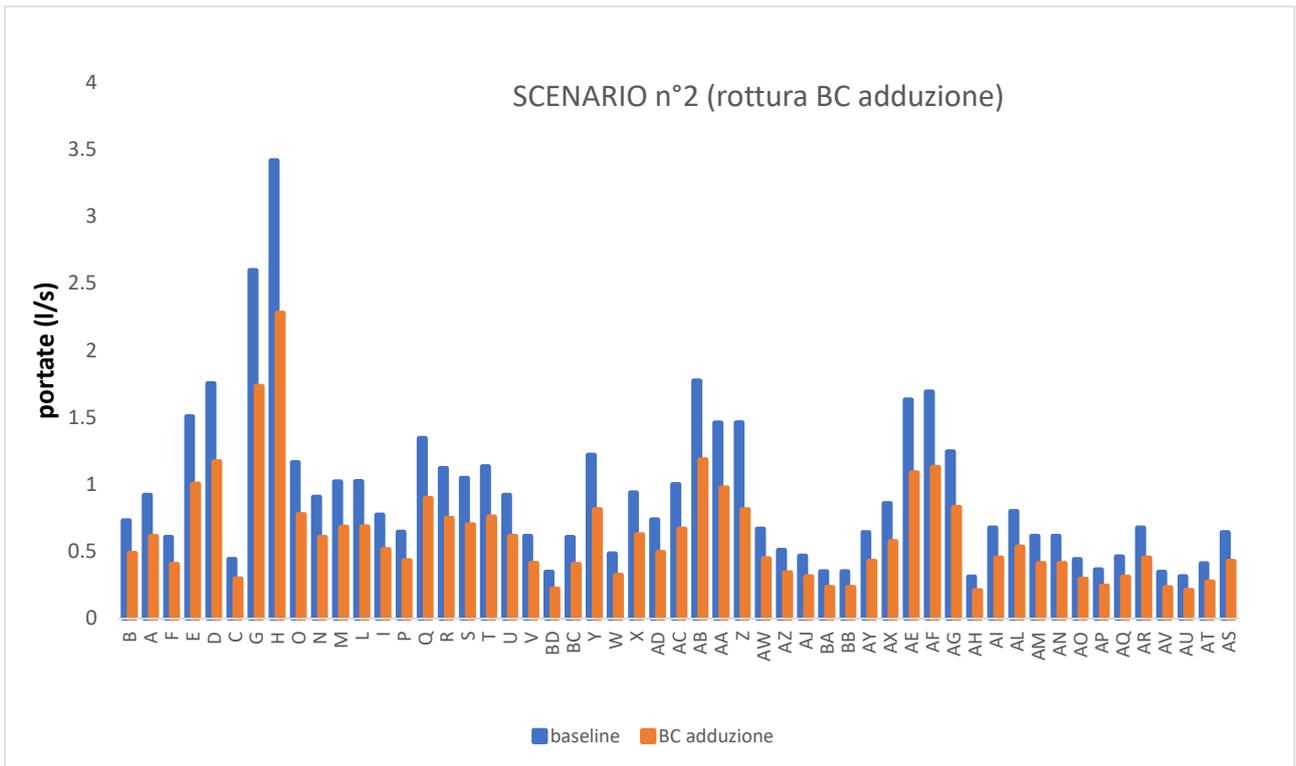


Figura 24. Andamento delle portate nodali per lo scenario n°2 confrontate con lo scenario baseline.

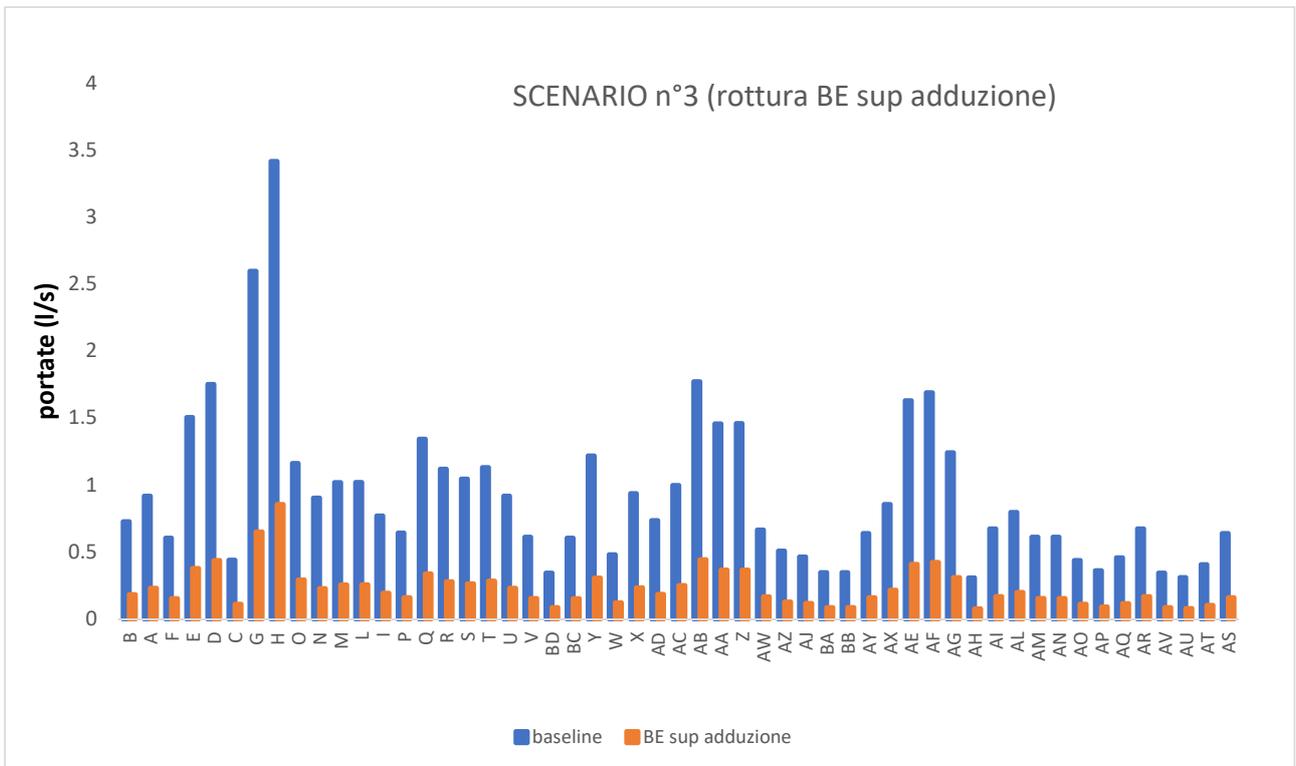


Figura 25. Andamento delle portate nodali per lo scenario n°3 confrontate con lo scenario baseline.

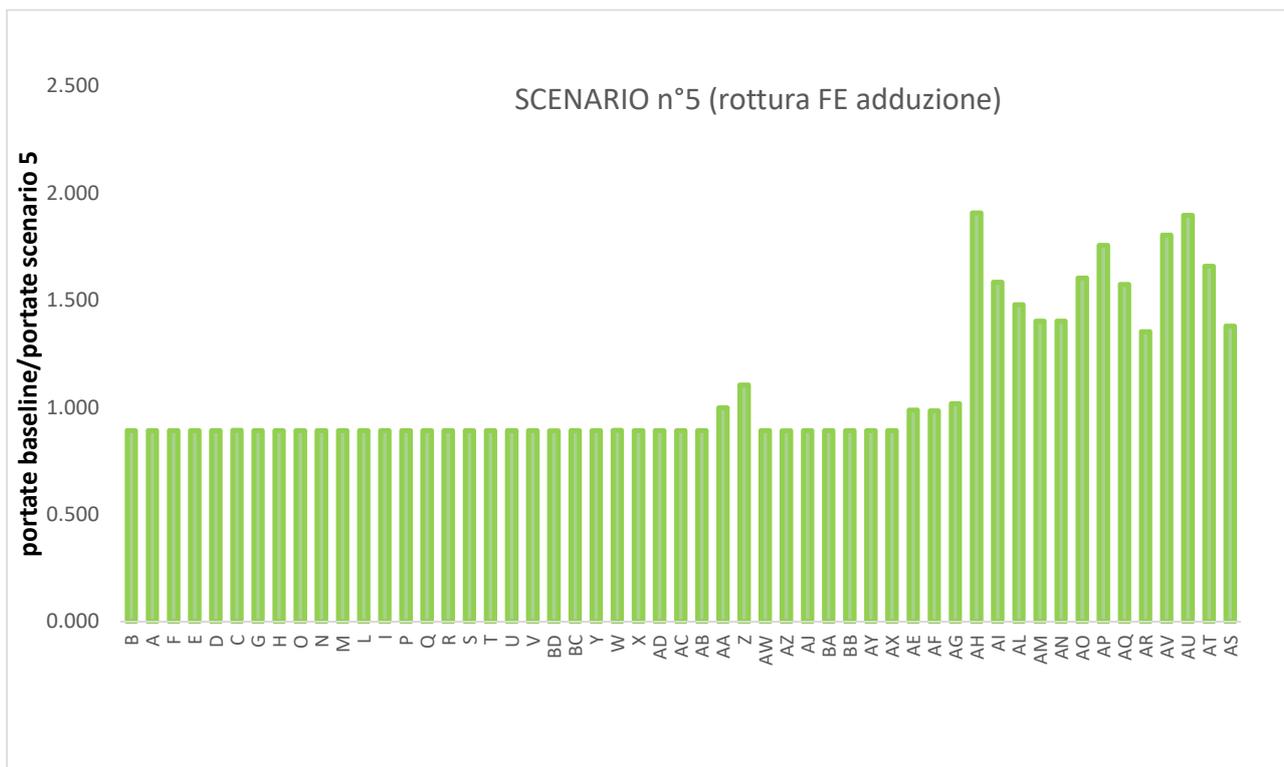


Figura 28. Andamento del rapporto di portate tra lo scenario baseline e lo scenario n°5.

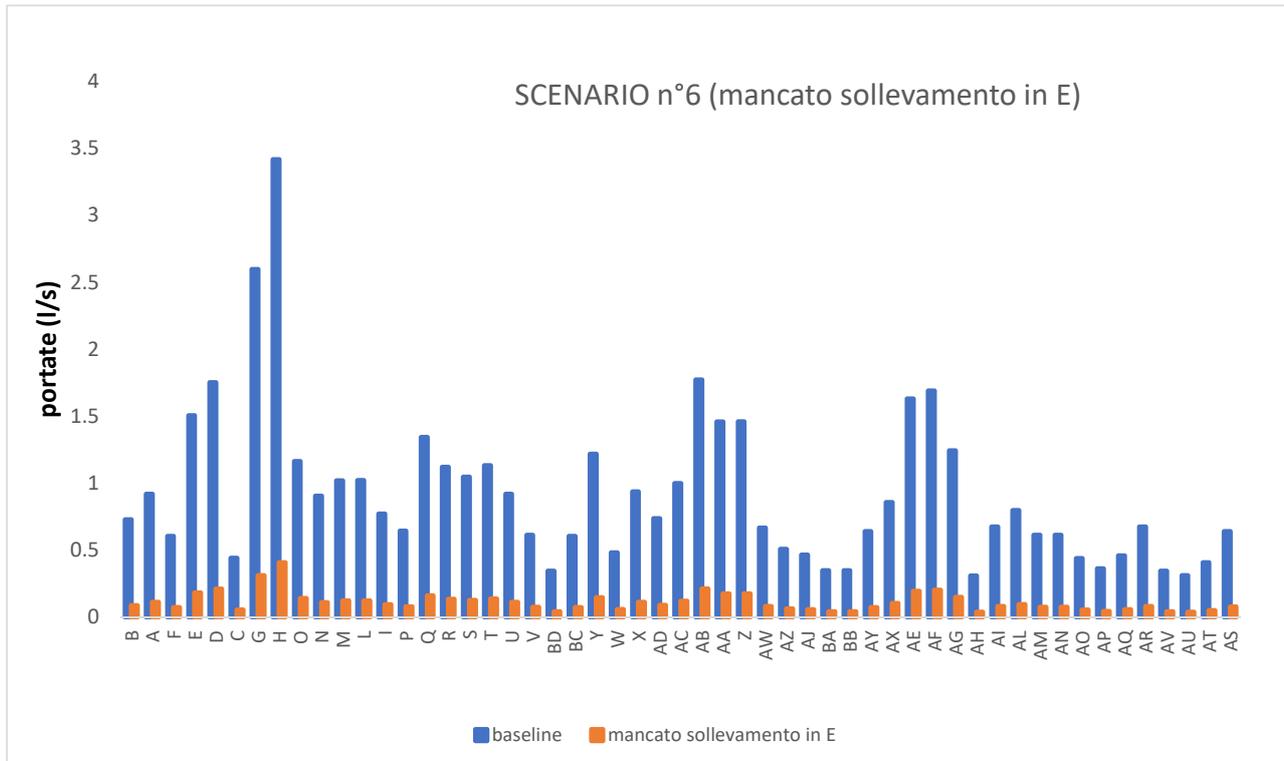


Figura 29. Andamento delle portate nodali per lo scenario n°6 confrontate con lo scenario baseline.

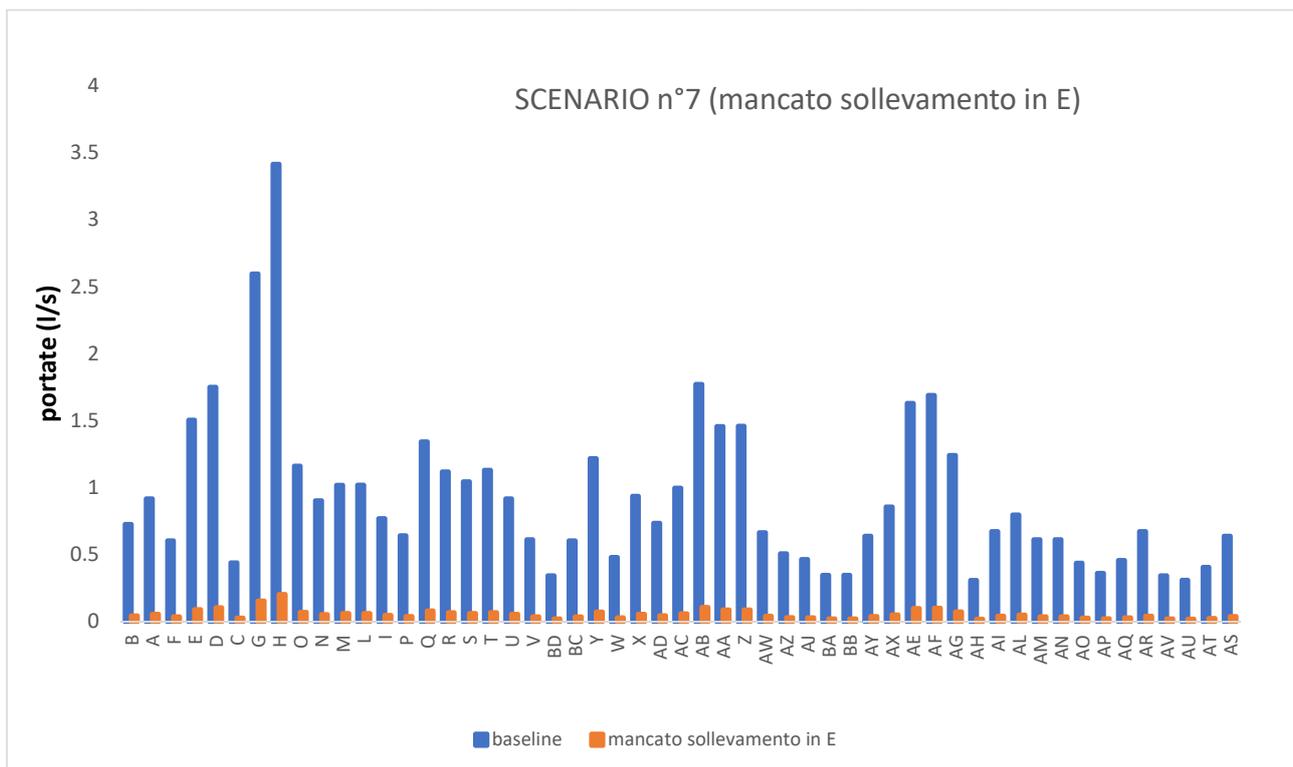


Figura 30. Andamento delle portate nodali per lo scenario n°7 confrontate con lo scenario baseline.

Tabella 3. Indice di prestazione (R)

| N° scenario | R |
|-------------|------|
| 1 | 0.33 |
| 2 | 0.66 |
| 3 | 0.25 |
| 4 | 0.75 |
| 5 | - |
| 6 | 0.12 |
| 7 | 0.06 |
| 8 | - |
| 9 | - |
| 10 | - |
| 11 | 0.12 |
| 12 | 0.06 |

Tabella 4. Dotazione idrica nell'ipotesi di distribuzione a tutta l'utenza urbana.

| N° scenario | Nab serviti | δ (l/s) |
|-------------|-------------|----------------|
| 1 | 27823 | 50 |
| 2 | 27823 | 101 |
| 3 | 27823 | 38 |
| 4 | 27823 | 113 |
| 5 | 31223 | 134 |
| 6 | 27823 | 18 |
| 7 | 27823 | 9 |
| 8 | - | - |
| 9 | - | - |
| 10 | - | - |
| 11 | 27823 | 18 |
| 12 | 27823 | 9 |

Tabella 5. Numero totale di abitanti che è possibile soddisfare con una dotazione idrica pari a quella delle condizioni ordinarie ($d = 150$ l/ab*g).

| N° scenario | Nab | % Nab |
|-------------|-------|-------|
| 1 | 9331 | 34 |
| 2 | 18662 | 67 |
| 3 | 6998 | 25 |
| 4 | 20995 | 75 |
| 5 | - | - |
| 6 | 3329 | 12 |
| 7 | 1665 | 6 |
| 8 | - | - |
| 9 | - | - |
| 10 | - | - |
| 11 | 3329 | 12 |
| 12 | 1665 | 6 |

Non essendo stato esplicitamente portato in conto, in fase di simulazione, il legame tra portate erogate e carichi idraulici ai nodi, nel seguito vengono fatte alcune considerazioni relative al cielo piezometrico che viene a determinarsi per ciascuno scenario. Si sottolinea che la conoscenza dei valori nodali dei carichi idraulici impatta la effettiva capacità di erogazione della rete per ciascun nodo oltre che rappresentare una informazione sensibile al fine della tutela statica della infrastruttura idrica.

Gli scenari che vanno dal n°1 al n°7 (Figure 31-37) sono accomunati dal fatto di vedere pressioni ai nodi superiori a quelle che vengono generate nello scenario di baseline. Questa situazione è spiegabile nelle minori perdite di carico che vengono a calcolarsi negli scenari indicati a causa delle minori erogazioni ovvero dei minori valori di portate circolanti nei vari lati della rete. Ciò è ancora più evidente nelle rappresentazioni di Figure 38-44, in cui viene espressa la differenza tra la pressioni simulate per i vari scenari e quelle calcolate nello scenario di baseline. Un altro elemento che accomuna gli scenari dal n°1 al n°7 (Figure 31-37) è anche il fatto che le maggiori differenze vengono osservate a valle del nodo Y della rete di distribuzione, ovvero nel settore occidentale nella rete, situazione potenzialmente generata da una minore richiesta idrica concentrata in questo settore rispetto alla rete nella sua totalità.

Le pressioni che nel caso dello scenario di baseline raggiungo circa gli 80 metri sul piano stradale, ancora ammissibili rispetto al funzionamento statico della infrastruttura, diventano piuttosto importanti fino a raggiungere valori superiori a 120 metri sul piano stradale in corrispondenza di scenari quali quello 6 e 7, che diventano quindi sensibili anche dal punto di vista statico per la rete di distribuzione.

Fa eccezione ancora una volta tra questi scenari relativi alla rottura/malfunzionamento dell'acquedotto esterno, lo scenario n°5 (Figura 35 e Figura 42). Mentre nel caso del settore orientale della rete le pressioni che si instaurano sono praticamente simili a quelle dello scenario baseline, queste tendono ad aumentare nel settore occidentale, per poi diminuire e divenire più piccole nel settore sud-occidentale. Questa considerazione, carichi inferiori a quelli dello scenario baseline, insieme agli incrementi di portata richiesti nello stesso settore (Figura 27), comporterebbero in una simulazione che esplicitamente porta in conto il legame tra portate erogate e carichi ai nodi degli indicatori di prestazioni piuttosto bassi (viene richiesto un eccesso di erogazione con un deficit di carico rispetto alla situazione ordinaria).

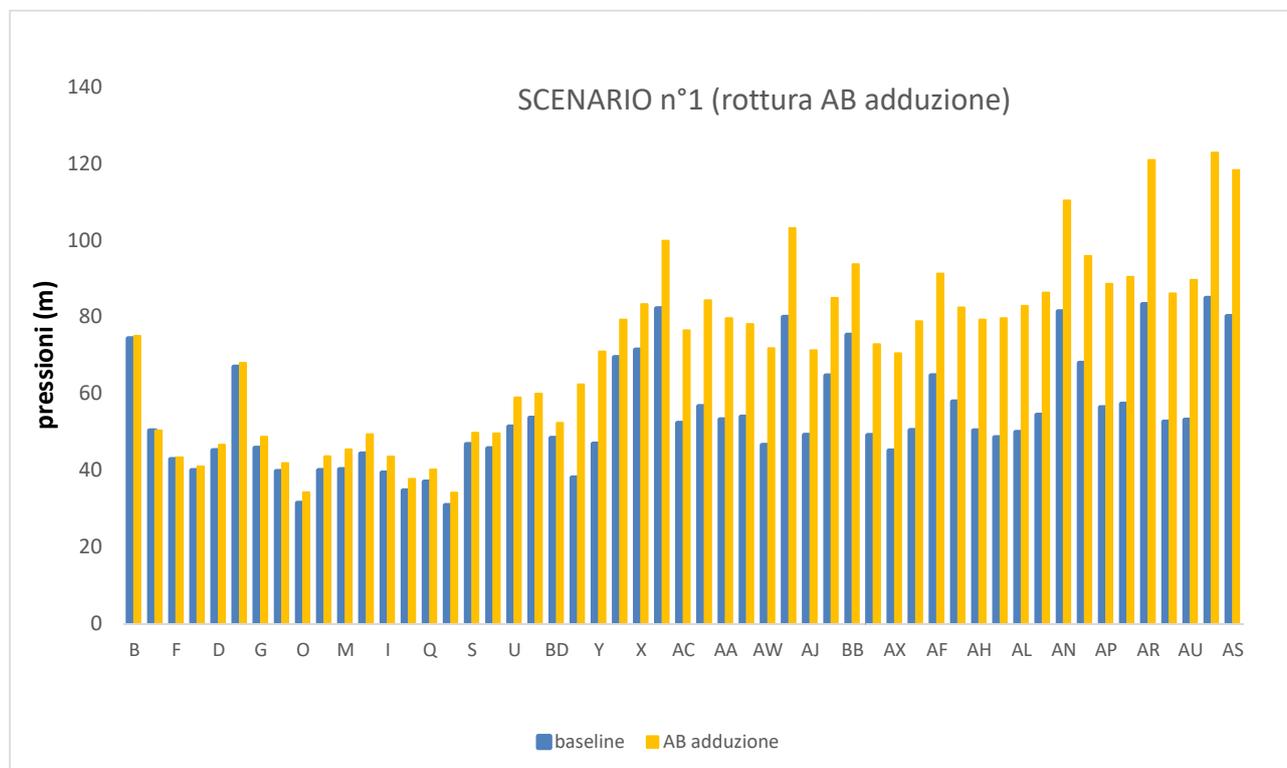


Figura 31. Andamento delle pressioni nodali per lo scenario n°1 confrontate con lo scenario baseline.

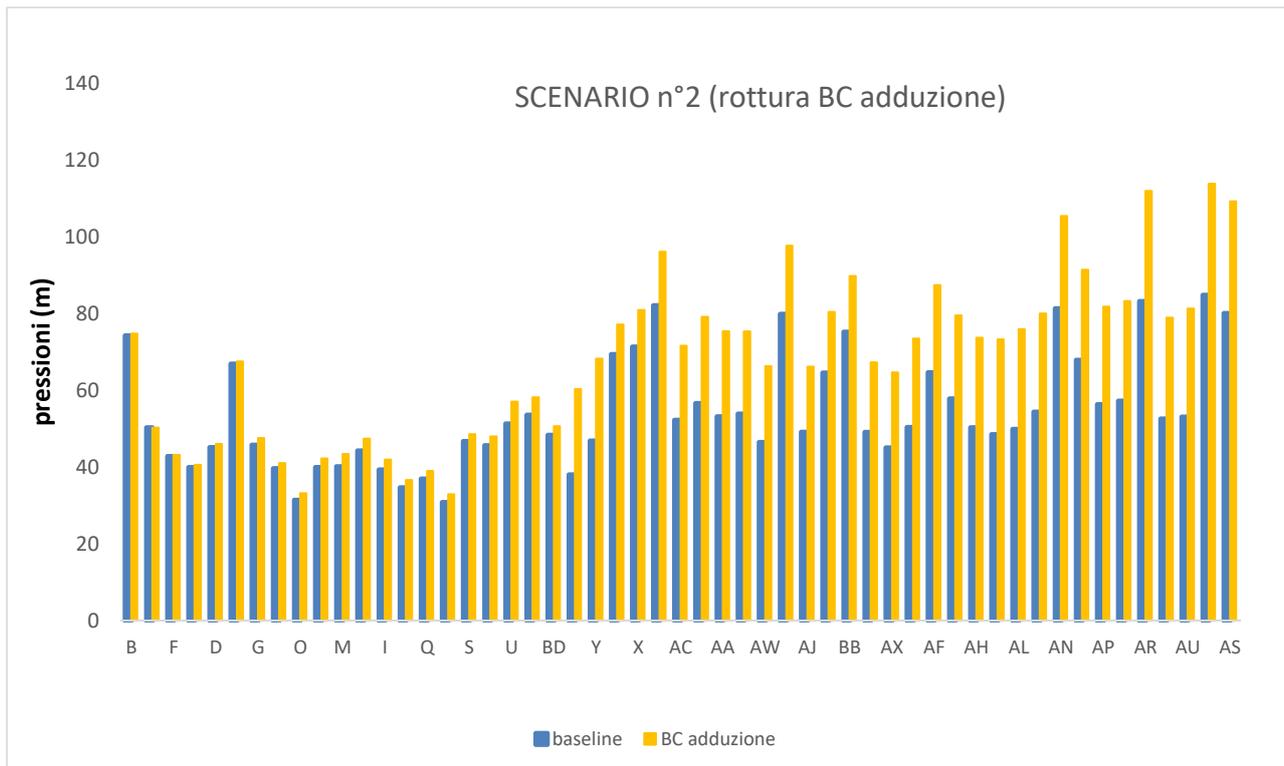


Figura 32. Andamento delle pressioni nodali per lo scenario n°2 confrontate con lo scenario baseline.

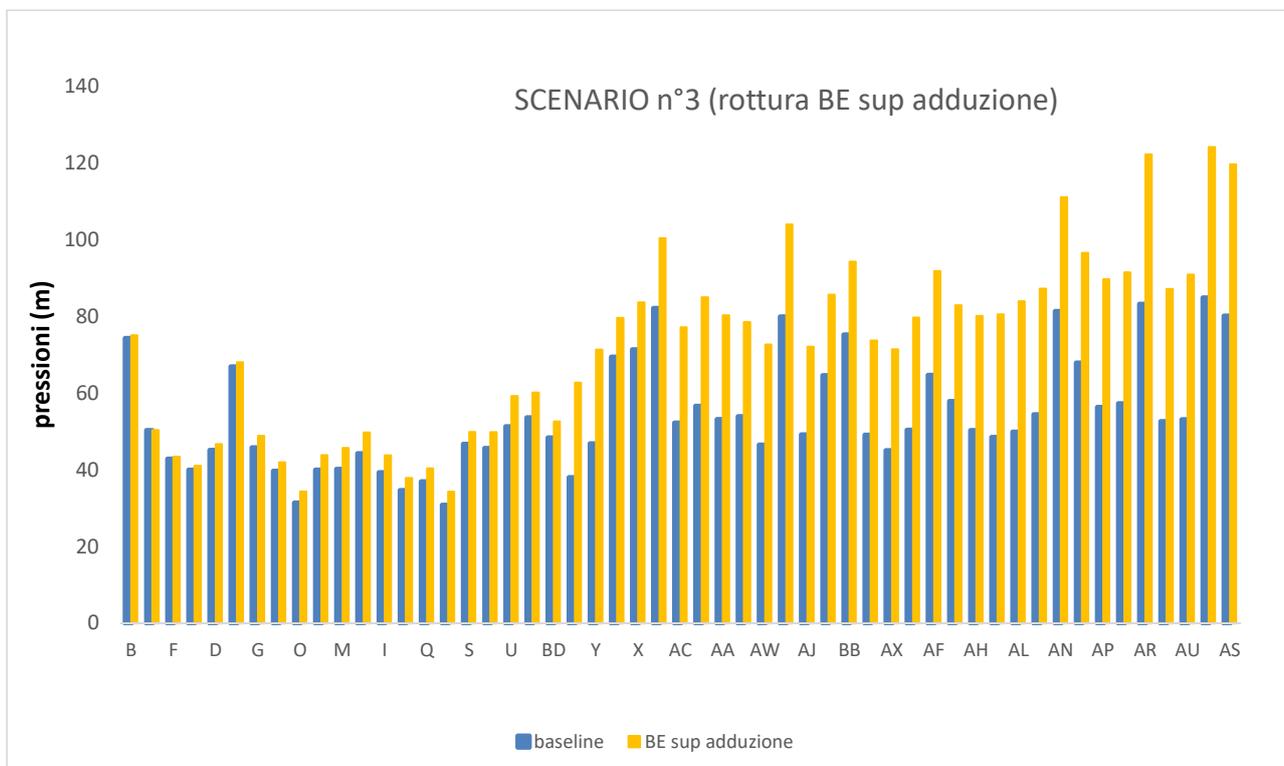


Figura 33. Andamento delle pressioni nodali per lo scenario n°3 confrontate con lo scenario baseline.

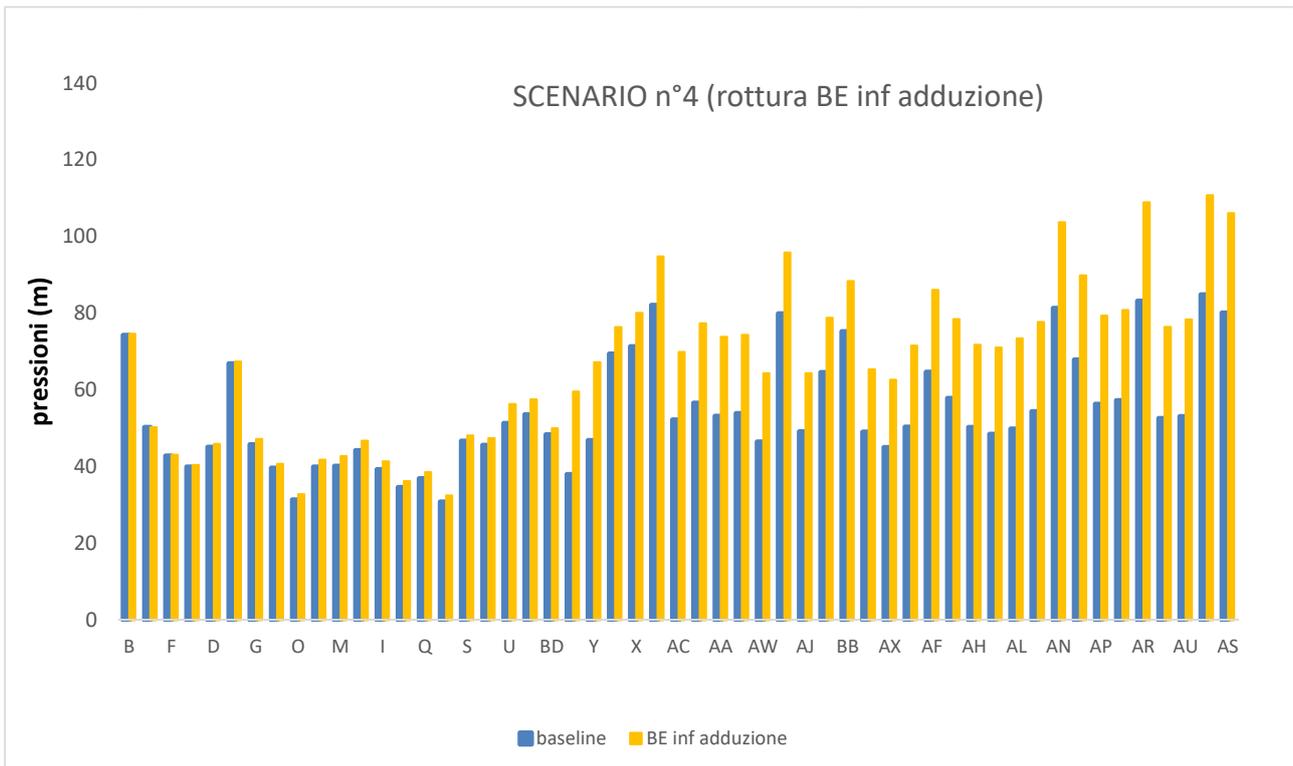


Figura 34. Andamento delle pressioni nodali per lo scenario n°4 confrontate con lo scenario baseline.

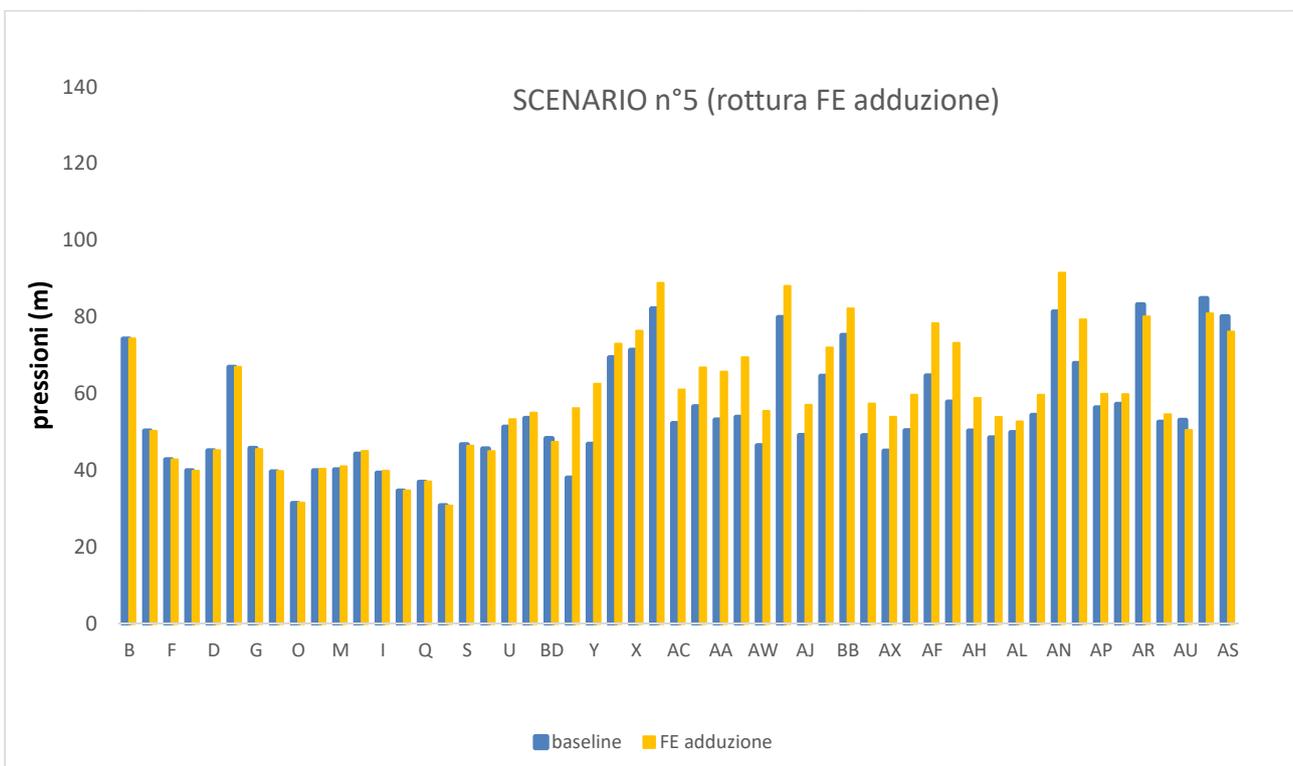


Figura 35. Andamento delle pressioni nodali per lo scenario n°5 confrontate con lo scenario baseline.

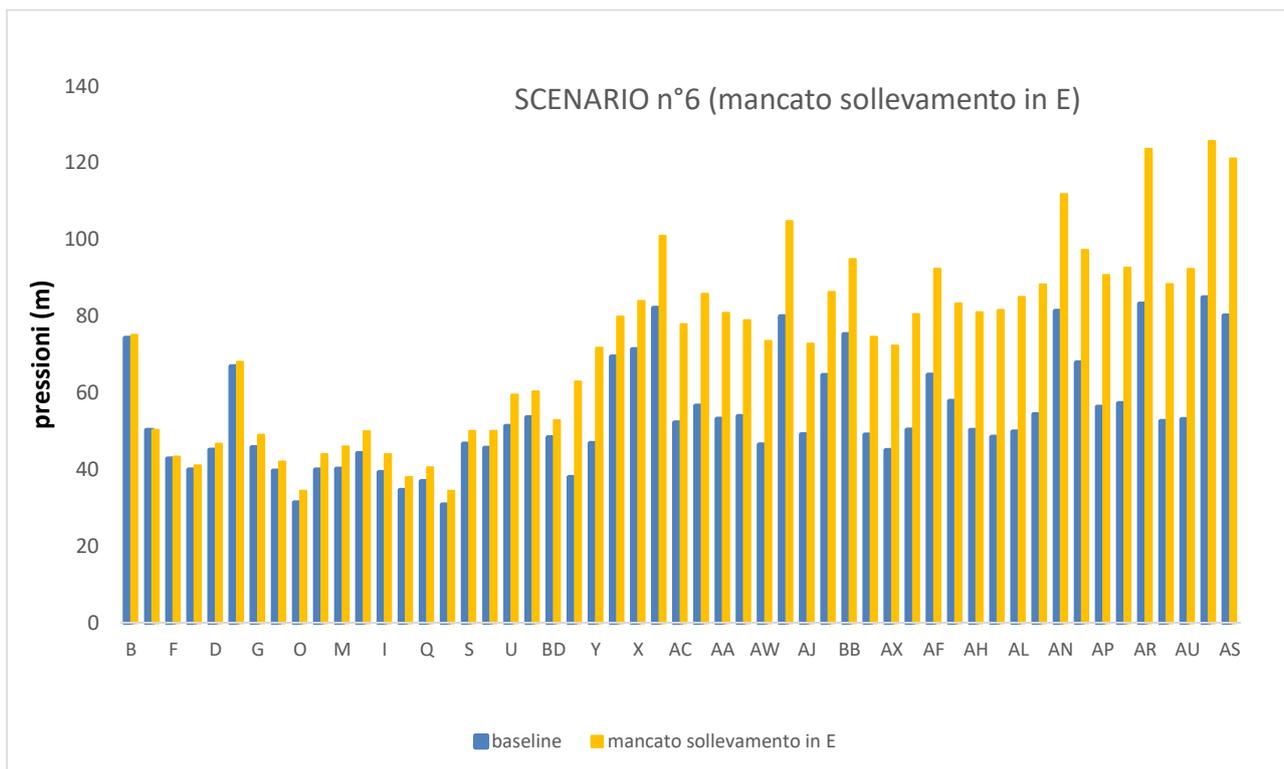


Figura 36. Andamento delle pressioni nodali per lo scenario n°6 confrontate con lo scenario baseline.

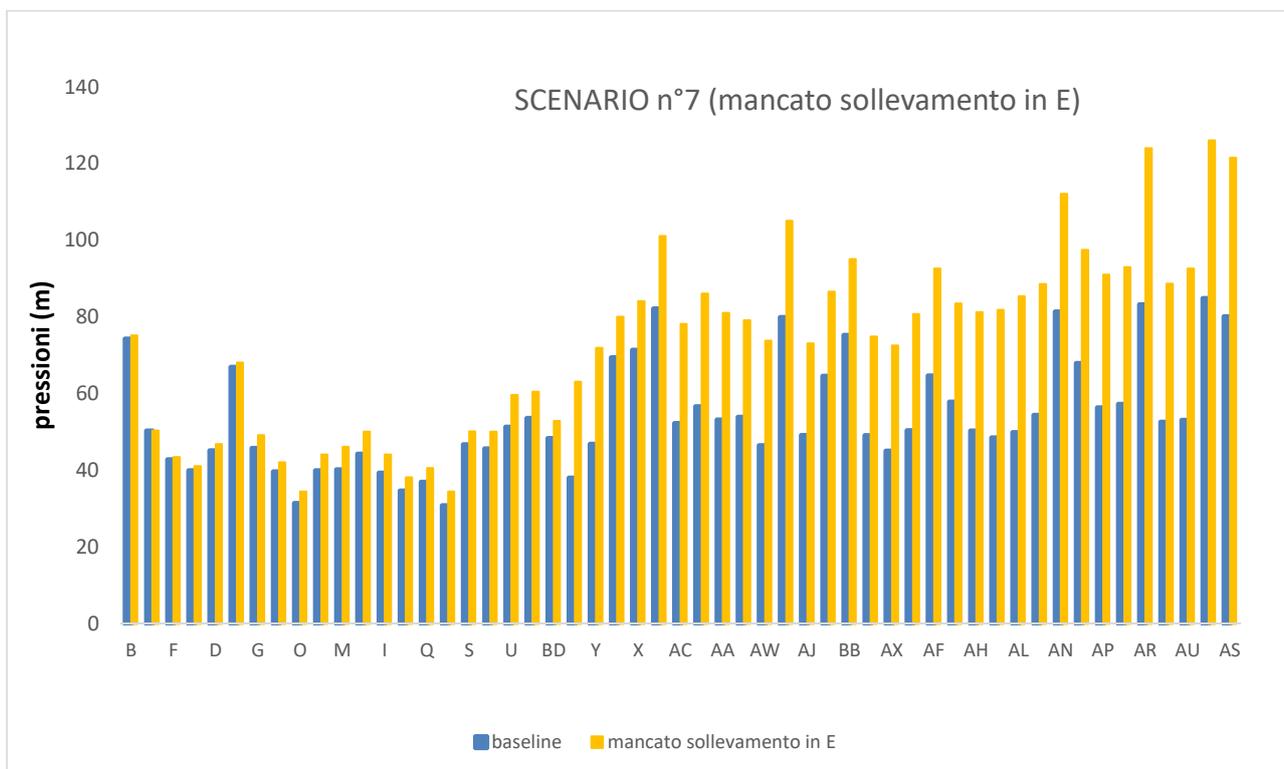


Figura 37. Andamento delle pressioni nodali per lo scenario n°7 confrontate con lo scenario baseline.

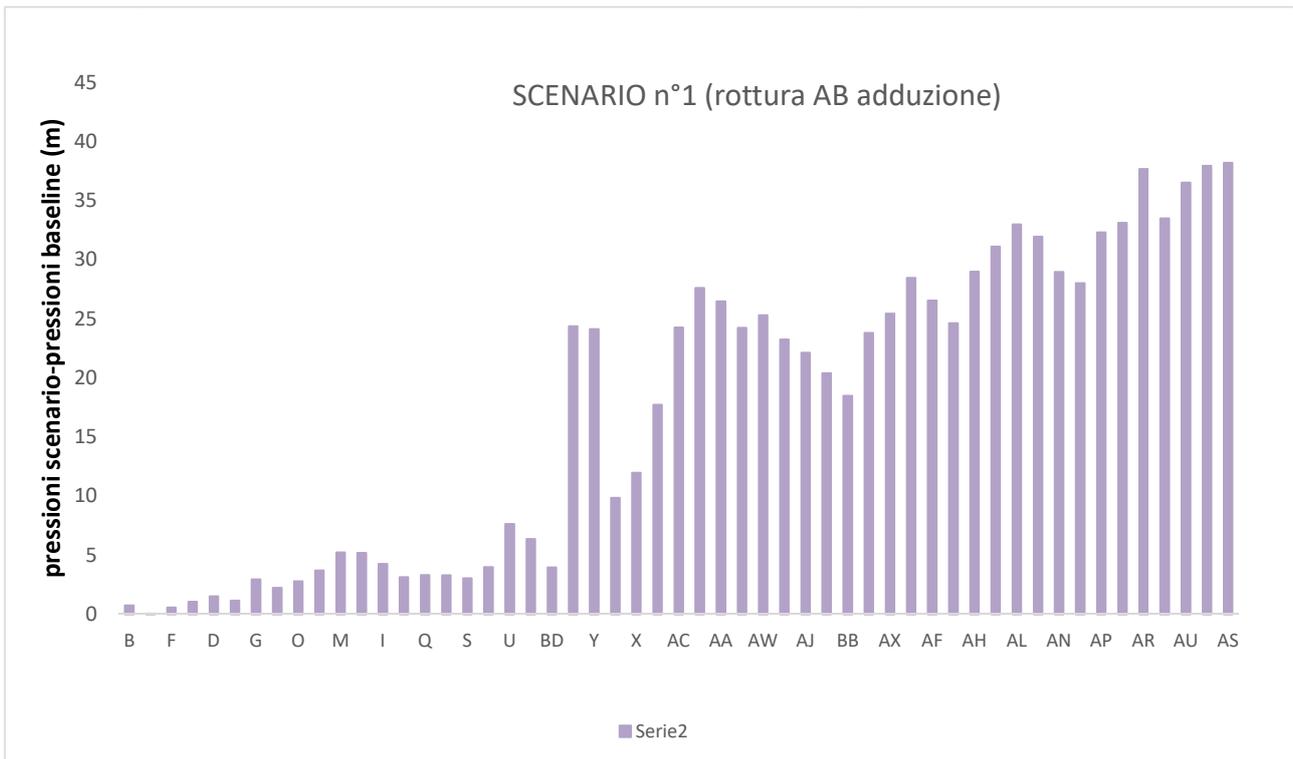


Figura 38. Andamento della differenza tra le pressioni nodali per lo scenario n°1 e quelle per lo scenario baseline.

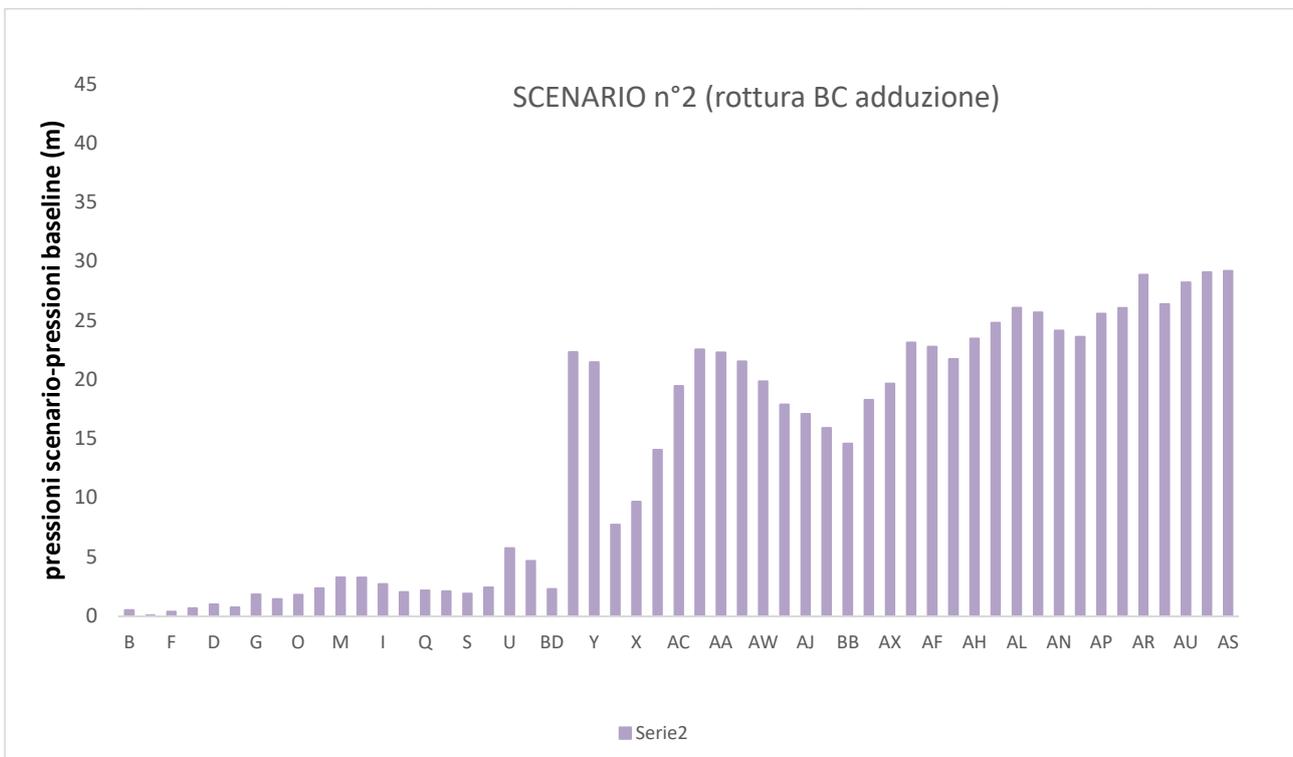


Figura 39. Andamento della differenza tra le pressioni nodali per lo scenario n°2 e quelle per lo scenario baseline.

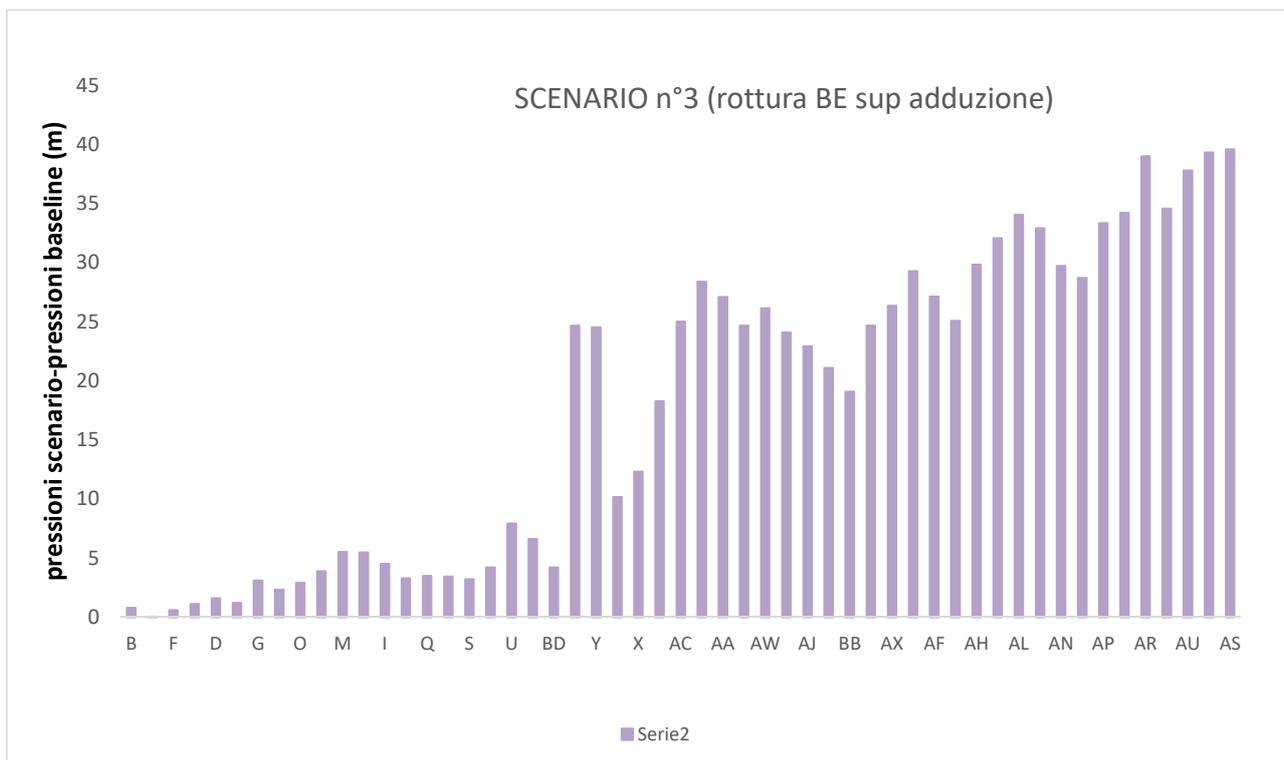


Figura 40. Andamento della differenza tra le pressioni nodali per lo scenario n°3 e quelle per lo scenario baseline.

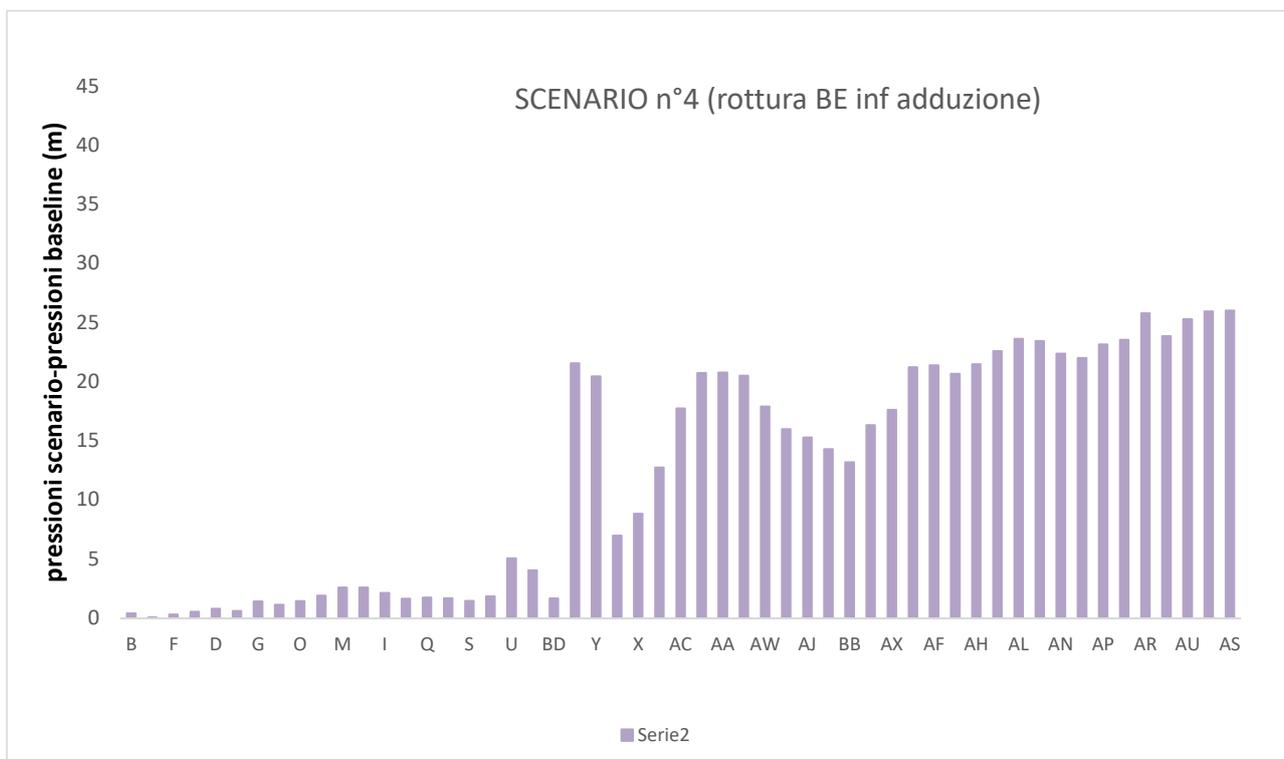


Figura 41. Andamento della differenza tra le pressioni nodali per lo scenario n°4 e quelle per lo scenario baseline.

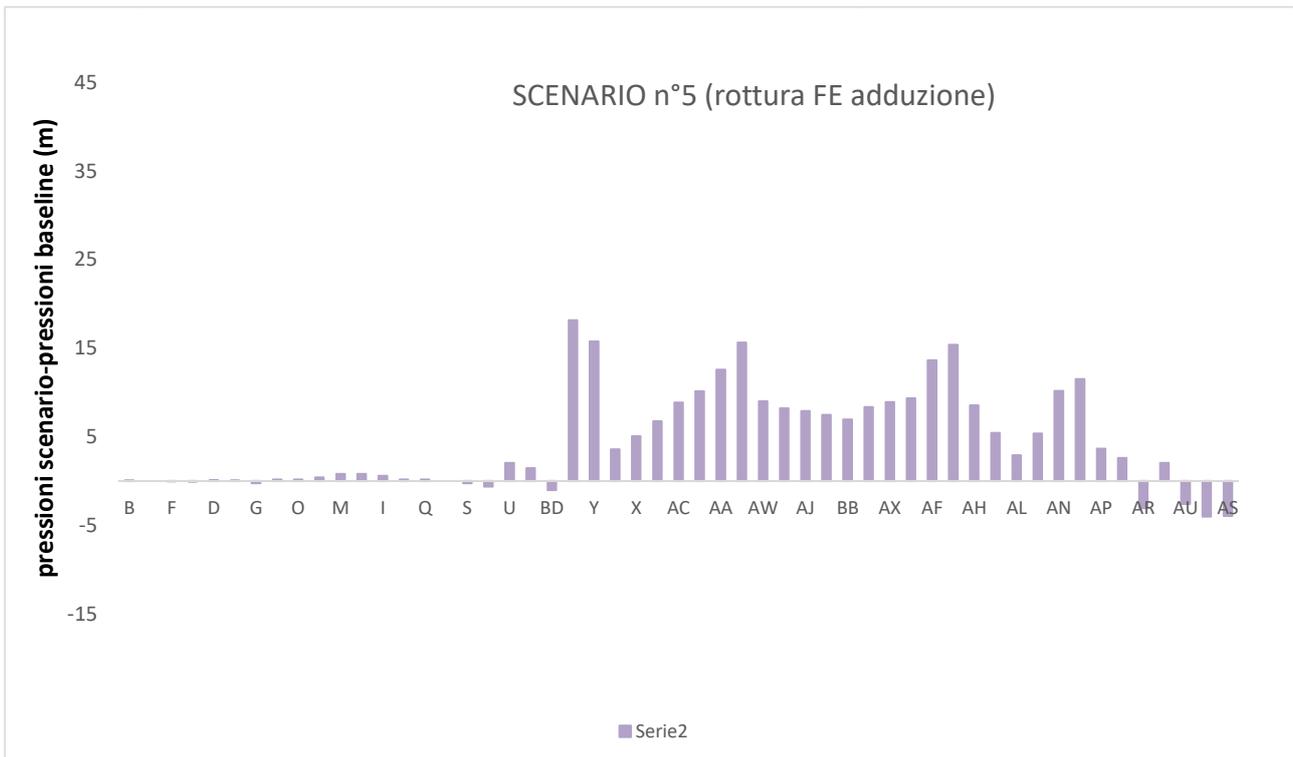


Figura 42. Andamento della differenza tra le pressioni nodali per lo scenario n°5 e quelle per lo scenario baseline.

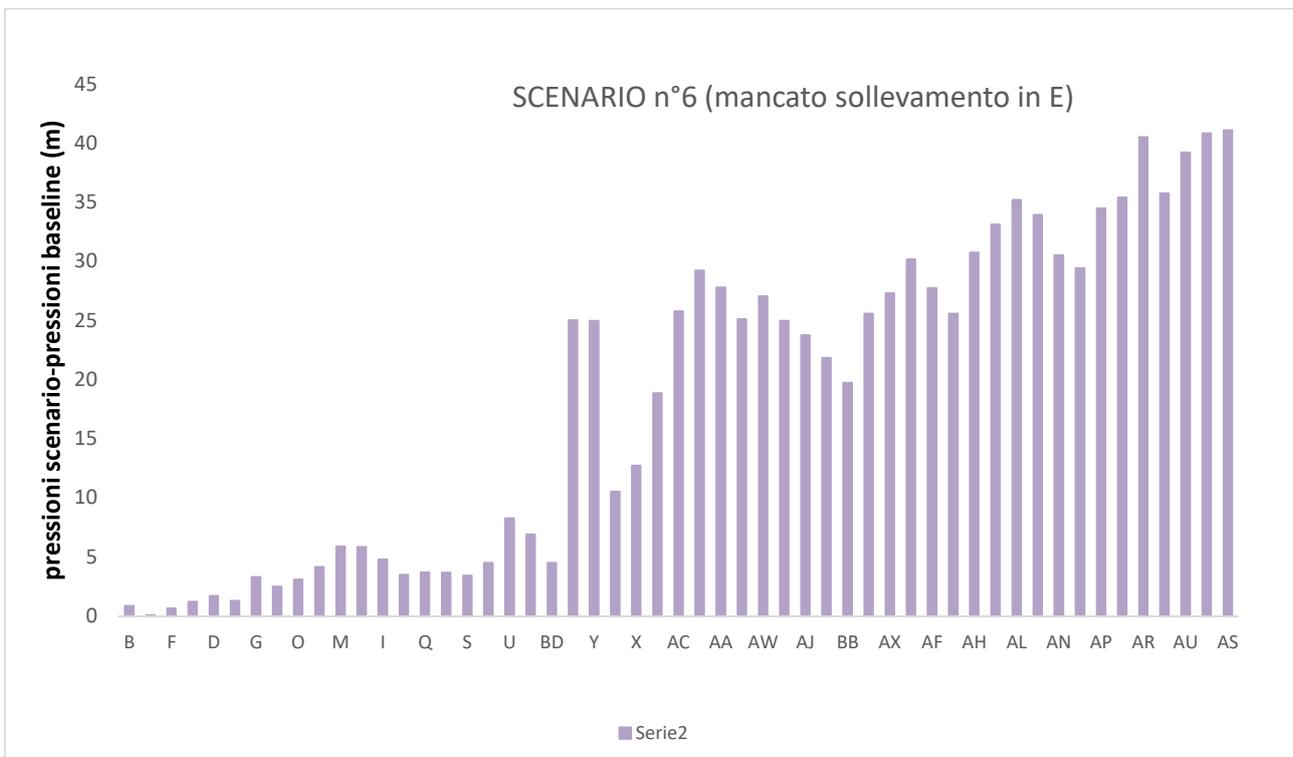


Figura 43. Andamento della differenza tra le pressioni nodali per lo scenario n°6 e quelle per lo scenario baseline.

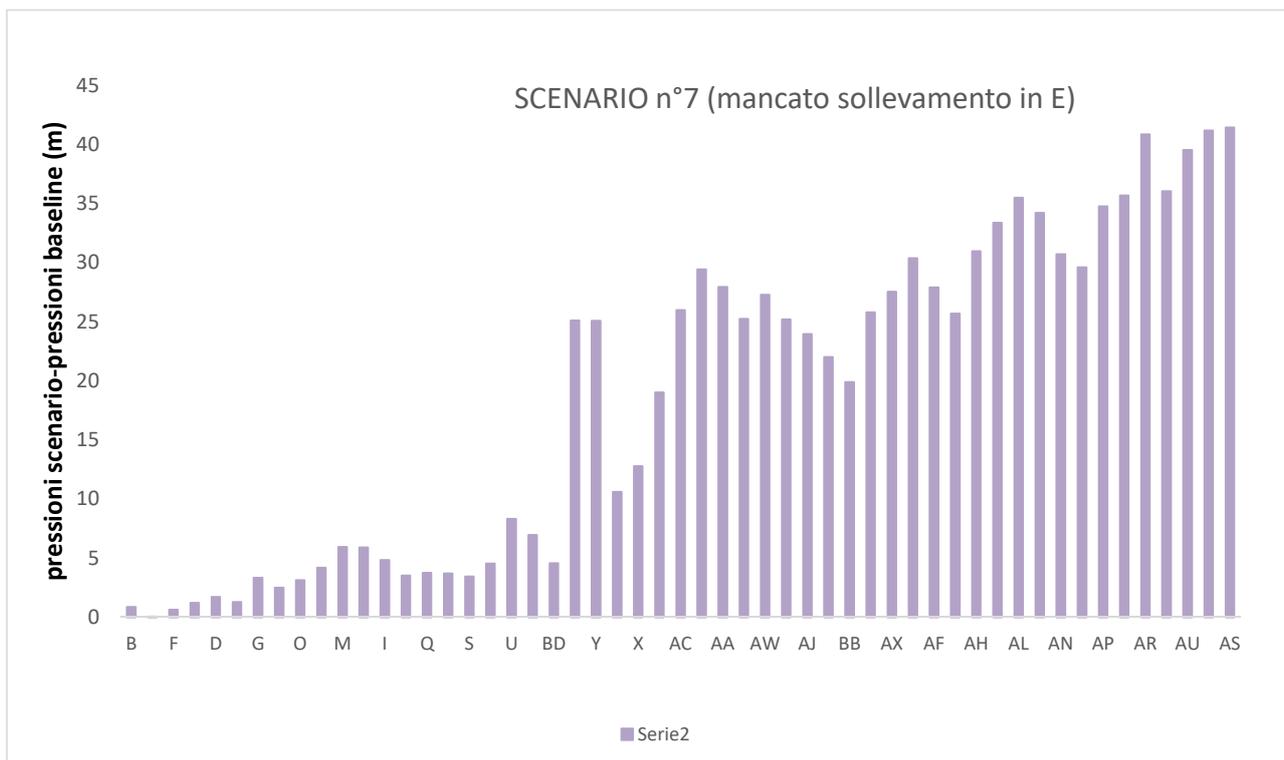


Figura 44. Andamento della differenza tra le pressioni nodali per lo scenario n°7 e quelle per lo scenario baseline.

Andando a quanto concerne la simulazione degli scenari dal n°8 al n°12, che più direttamente investono le rotture relative alla rete di distribuzione, si notano situazioni specifiche differenti a seconda del particolare scenario proposto. In particolare per lo scenario 8, che prevede la rottura del tratto AB immediatamente a valle della condotta di avvicinamento dal serbatoio in E, si osservano minori pressioni nel settore orientale della rete (Figure 45 e 49) dovute alle maggiori perdite di carico determinato dal maggior valore di portata che scorre nei tratti della rete prossimi al serbatoio. Minori pressioni rappresentano una situazione sensibile in quanto sono indicatori di minori capacità di erogazioni nodali di portata.

Nel caso dello scenario n°9, le pressioni sono in maniera generalizzata minori su tutta la rete, questo a causa della rottura del tratto di maggiore diametro a valle della condotta di avvicinamento (Figure 46 e 51). Come nel caso dello scenario 8 questo corrisponde potenzialmente a minori capacità di erogazione della portata.

Nel caso dello scenario n°10 la rottura combinata di alcuni tratti sensibili che congiungono il settore orientale a quello occidentale, induce maggiori perdite di carico, causate dalla concentrazione di portate in tratti a piccolo diametro che si trovano in particolare nel settore occidentale (Figure 47 e 52).

Nel caso degli scenari 11 e 12 che combinano la rottura del tratto AB della rete di distribuzione al mancato funzionamento della rete elettrica e quindi del sollevamento a monte del serbatoio in E, la situazione non è molto diversa da quella vista nel caso degli scenari 6 e 7, di cui sono combinazione (Figure 53 e 54). Evidentemente la maggiore criticità tra i due eventi congiunti, rottura meccanica di un lato e mancato funzionamento della rete elettrica, la seconda rappresenta l'evento più critico.

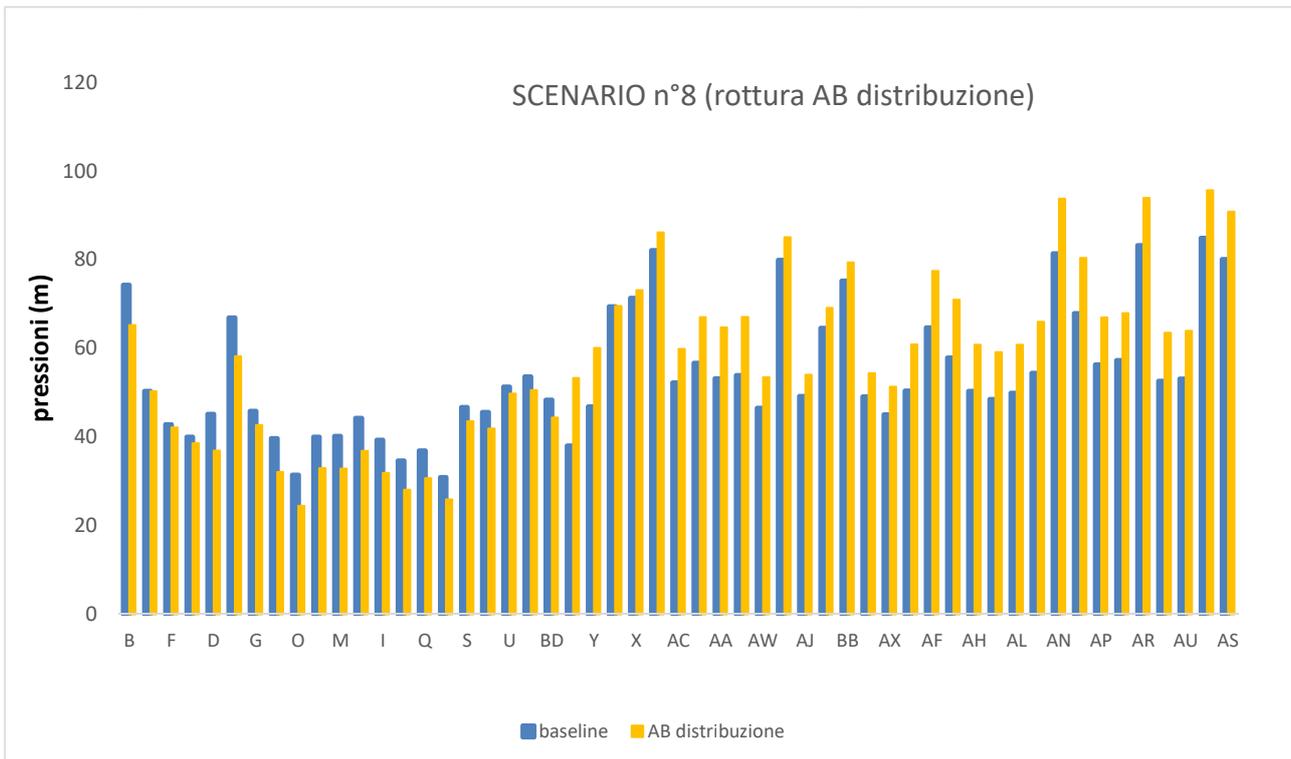


Figura 45. Andamento delle pressioni nodali per lo scenario n°8 confrontate con lo scenario baseline.

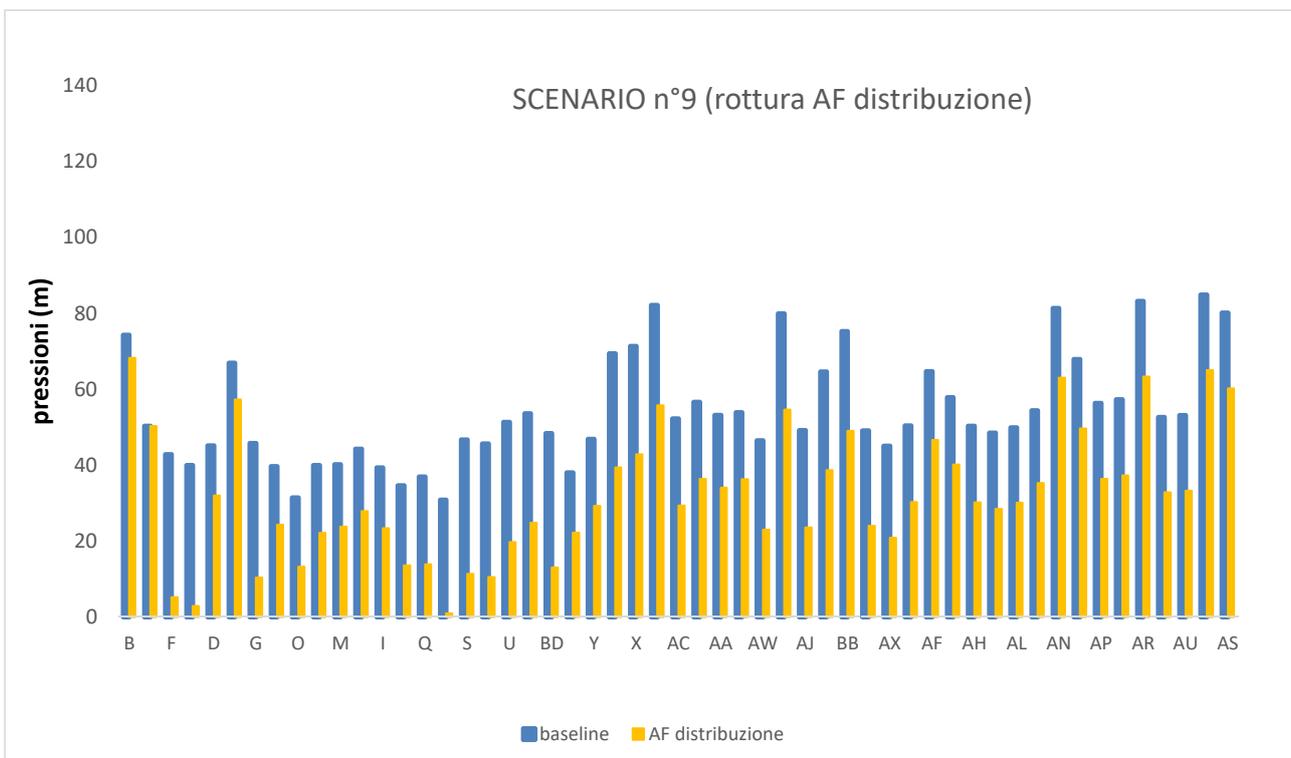


Figura 46. Andamento delle pressioni nodali per lo scenario n°9 confrontate con lo scenario baseline.

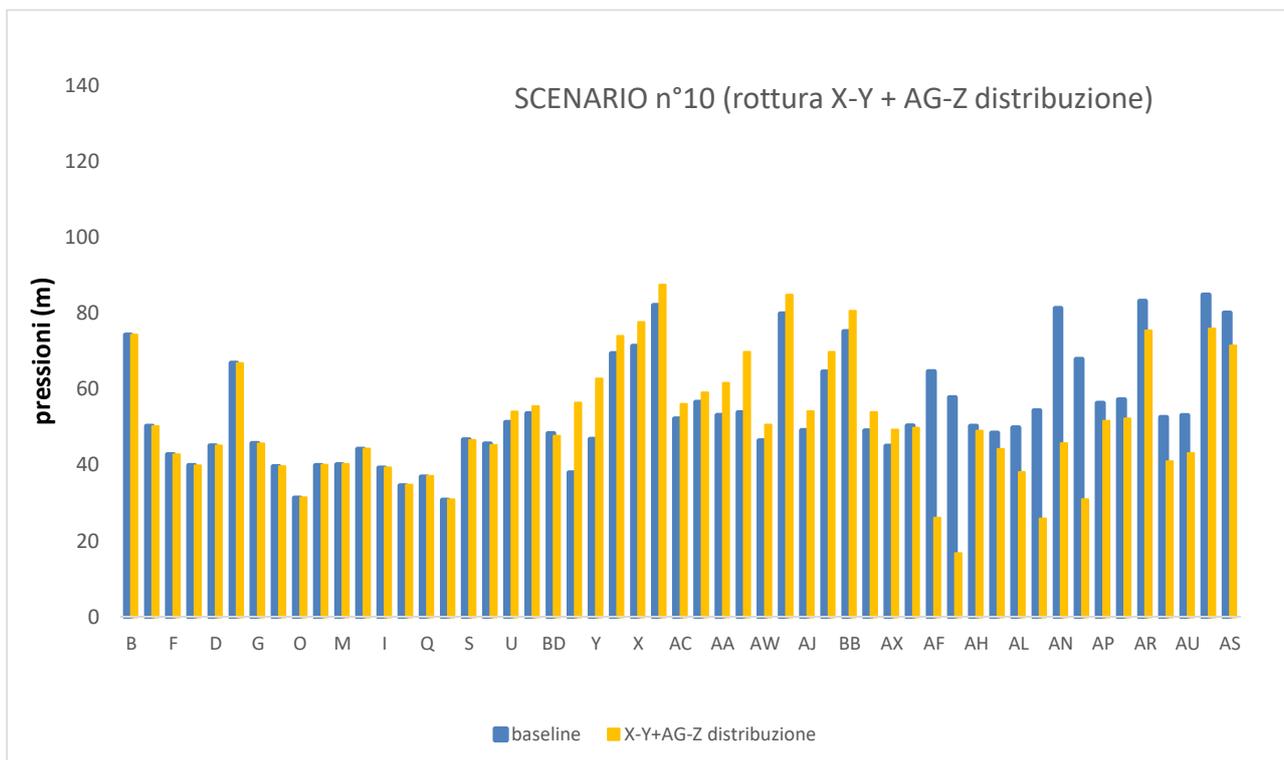


Figura 47. Andamento delle pressioni nodali per lo scenario n°10 confrontate con lo scenario baseline.

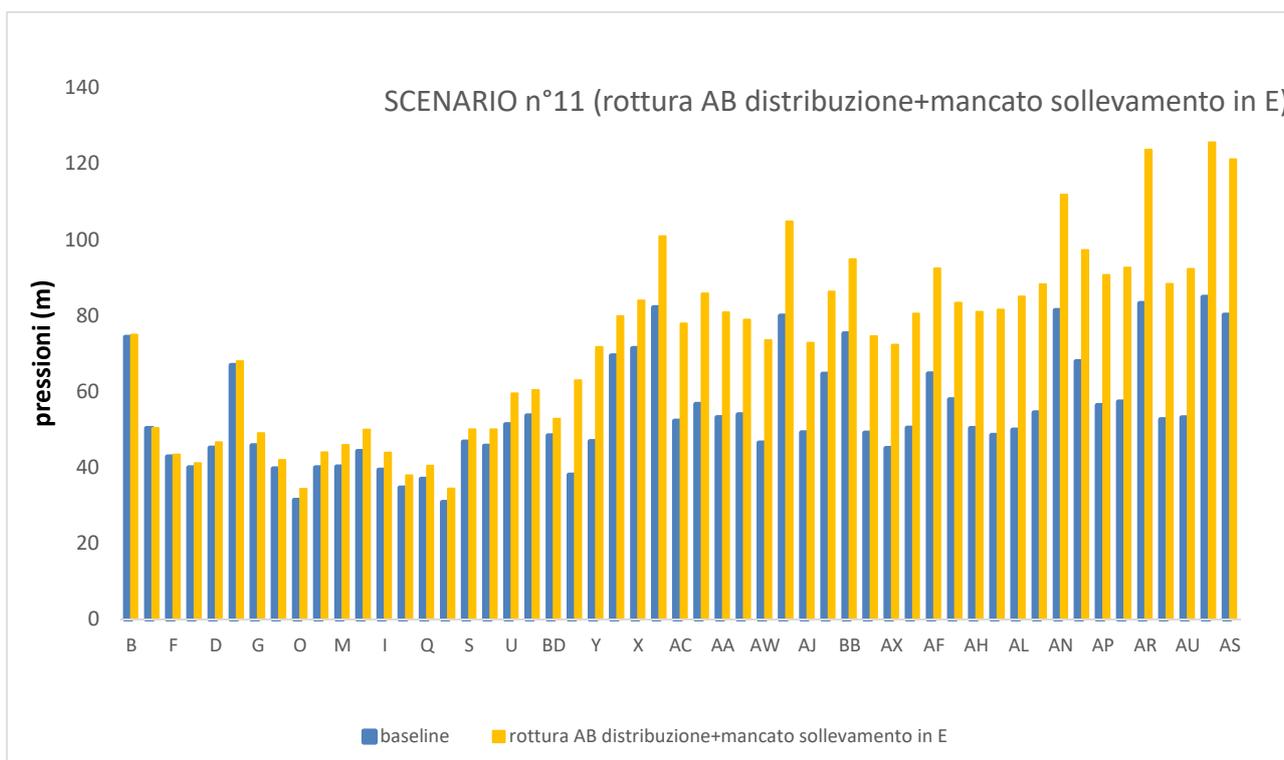


Figura 48. Andamento delle pressioni nodali per lo scenario n°11 confrontate con lo scenario baseline.

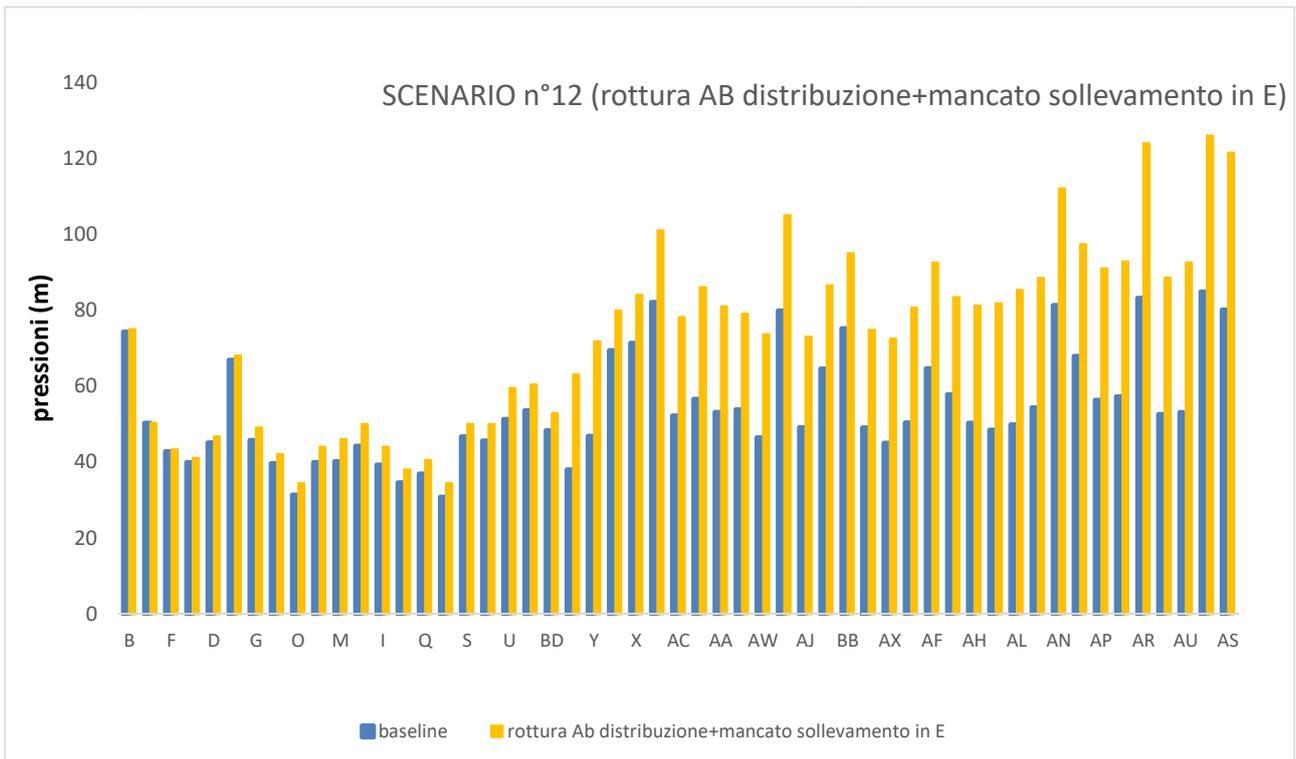


Figura 49. Andamento delle pressioni nodali per lo scenario n°12 confrontate con lo scenario baseline.

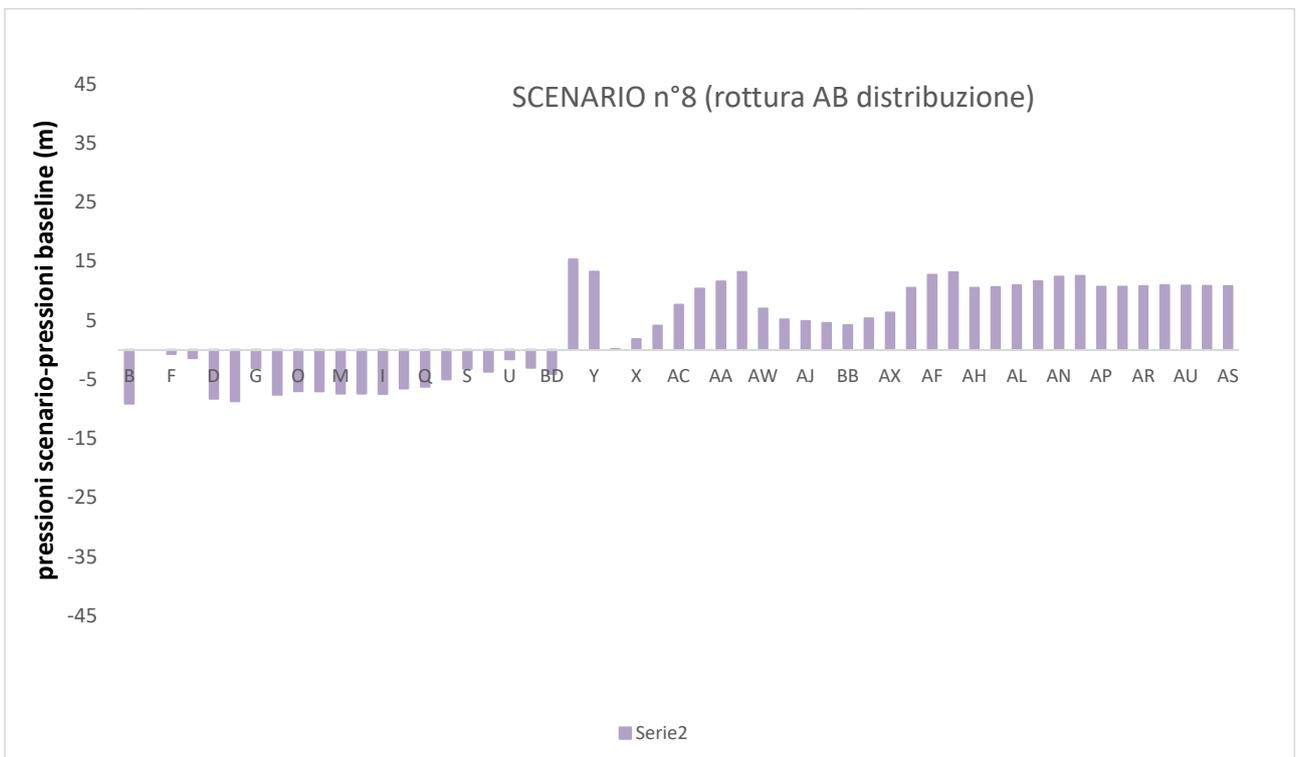


Figura 50. Andamento della differenza tra le pressioni nodali per lo scenario n°8 e quelle per lo scenario baseline.

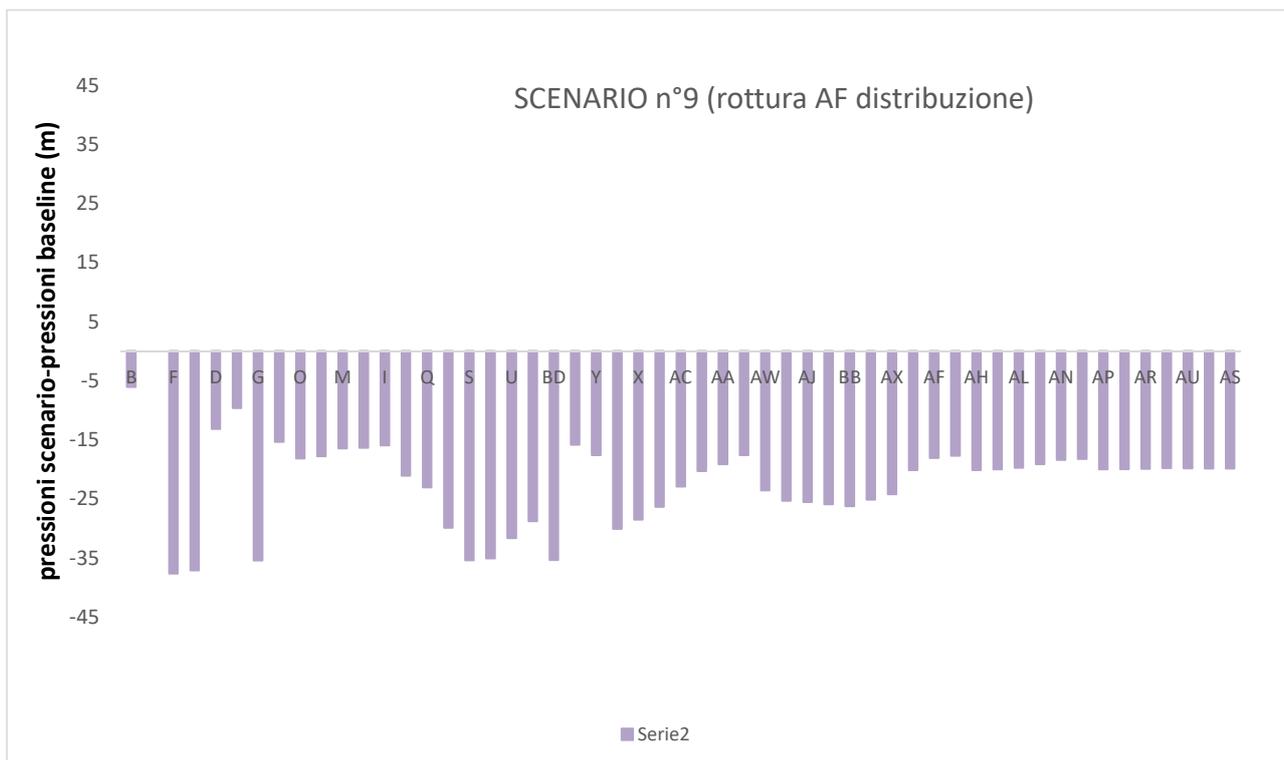


Figura 51. Andamento della differenza tra le pressioni nodali per lo scenario n°9 e quelle per lo scenario baseline.

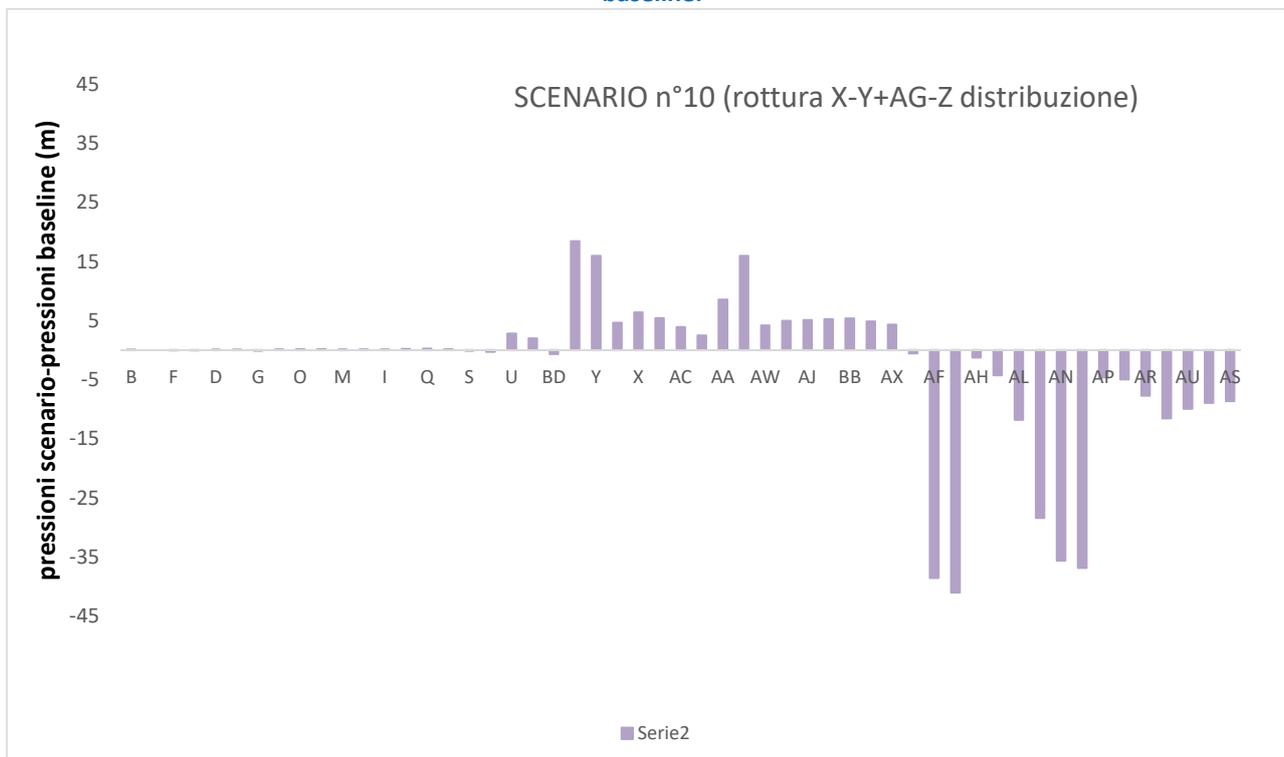


Figura 52. Andamento della differenza tra le pressioni nodali per lo scenario n°10 e quelle per lo scenario baseline.

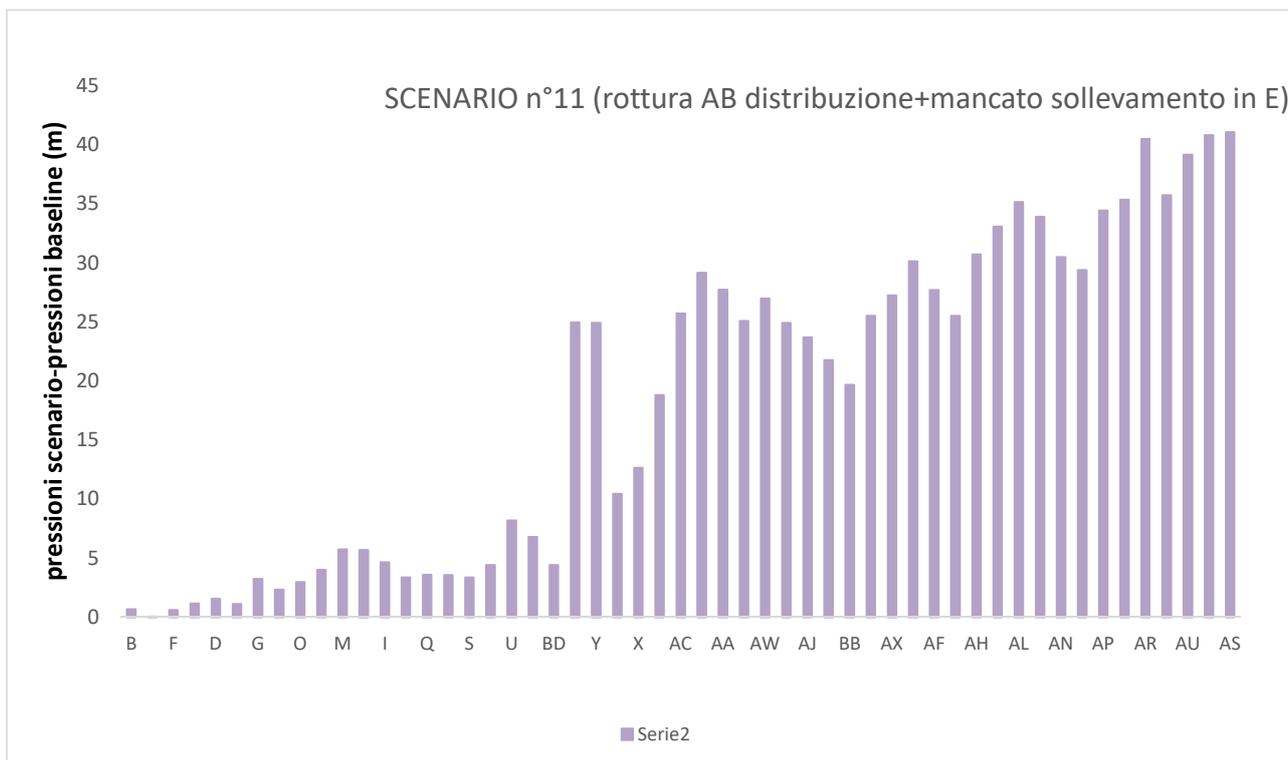


Figura 53. Andamento della differenza tra le pressioni nodali per lo scenario n°11 e quelle per lo scenario baseline.

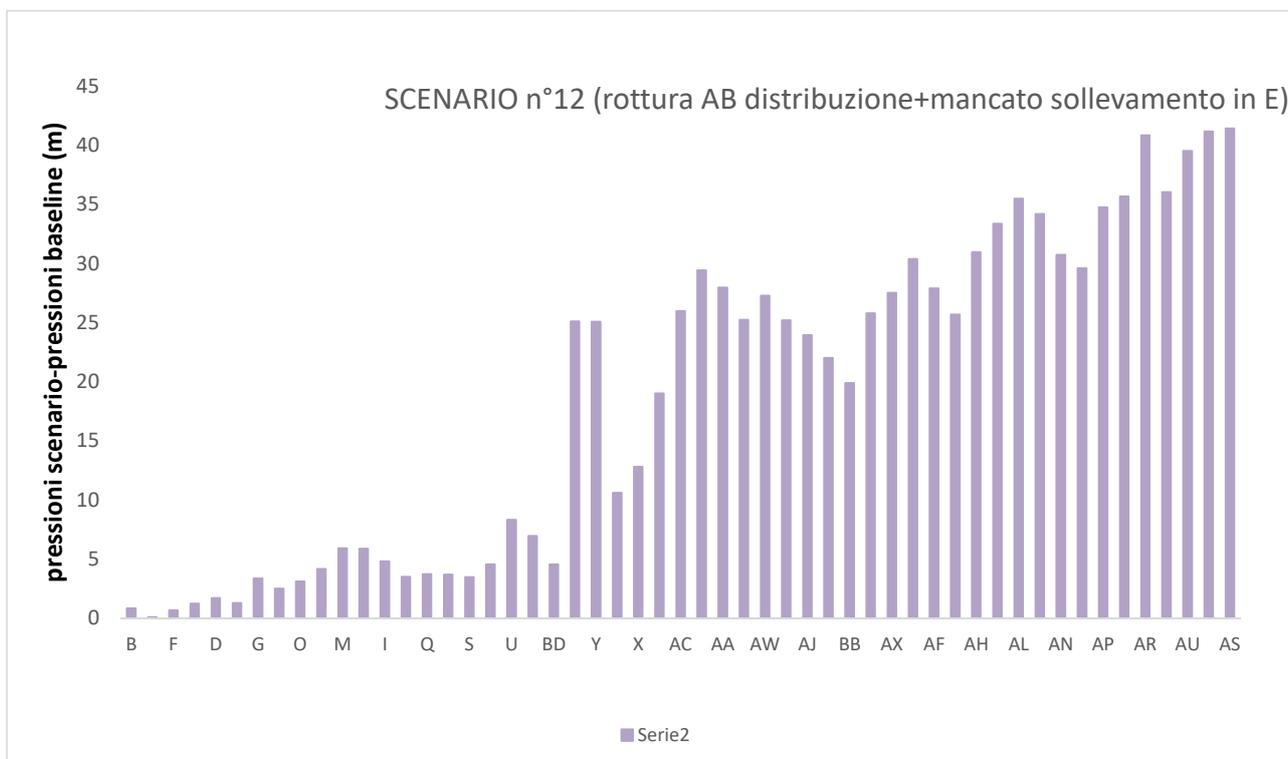


Figura 54. Andamento della differenza tra le pressioni nodali per lo scenario n°12 e quelle per lo scenario baseline.

6 Conclusioni

Come sintetizzato nel sommario, Il report ha descritto le attività sviluppate al fine di identificare una metodologie per lo studio e l'analisi della interdipendenza funzionale tra due infrastrutture critiche a servizio di una comunità urbana, l'infrastruttura elettrica e quella acquedottistica, allo scopo di approfondire il funzionamento delle infrastruttura idraulica in condizioni straordinarie di funzionamento. L'analisi della interdipendenza oltre che a mettere in luce le eventuali fragilità della rete acquedottistica rappresenta uno strumento di pianificazione di strategie mirate a mitigare i danni connessi al rischio di malfunzionamento della rete idrica in condizioni straordinarie oltre che un elemento di supporto alla progettazione strutturale della medesima.

Le attività sono state sviluppate per fasi. Inizialmente si è provveduto alla ricostruzione del caso di studio, il sistema complesso di adduzione che dalle sorgenti del Peschiera – Capore e dal Lago di Bracciano vanno ad alimentare il centro idrico di Ottavia e la relativa rete di distribuzione, ed alla predisposizione del modello dati in InfoWater e del modello idraulico in EPANET. I dati raccolti sulle infrastrutture idriche sono stati anche organizzati nel GeoDatabase del DSS di CIPCast. Successivamente si sono definiti gli scenari di funzionamento della rete elettrica in condizioni straordinarie dove per condizioni straordinarie si sono intese quelle determinate dall'occorrenza di un sisma di assegnate caratteristiche (quali periodo di ritorno, probabilità di superamento). Nella terza ed ultima fase si è proceduto alla simulazione della rete idraulica mediante il software EPANET per ciascuno degli scenari identificati ai quali è stato attribuito un livello di probabilità di accadimento.

Rispetto alla prestazione relativa al servizio idrico in area urbana, gli scenari legati al funzionamento ovvero malfunzionamento della rete elettrica, cioè gli scenari 5, 6 e 7 (e le combinazioni 11 e 12), appaiono quelli che maggiormente impattano, in maniera negativa, sul funzionamento idraulico. La scarsissima prestazione associata agli scenari 6 e 7 (e le combinazioni 11 e 12) è in particolare dovuta ad una carenza strutturale del sistema idrico. La presenza di fatto di un serbatoio (nel nodo E) senza capacità di compenso, ancorché funzionale in una situazione ordinaria, dovendo solo fornire il carico idraulico alla distribuzione, risulta elemento critico in caso di non funzionamento degli impianti di sollevamento che lo alimentano. In questi scenari la portata che si riesce a distribuire è così esigua che può andare a soddisfare, con requisiti minimi, circa il 10% dell'utenza e quindi verosimilmente solo una specifica area sensibile del centro urbano (ad esempio una zona ospedaliera). Nel caso dello scenario 5 le criticità nascono da una combinazione di eccesso di portata richiesta con corrispondente carico idraulico a disposizione minimo.

Gli scenari legati al malfunzionamento dei tratti dell'acquedotto eterno, gli scenari dall'1 al 4, ancorché piuttosto probabili a causa, principalmente, degli alti valori della PGA nell'area specifica (probabilità media di occorrenza pari a 65% nel caso di $T = 475$ anni e pari al 98% nel caso di $T = 2000$ anni) sono legati a prestazioni medio alte (indice R medio circa 60%). Questa situazione è dovuta alla particolare configurazione del sistema idraulico a servizio della zona L'Ottavia, dotata di una vasca di accumulo, a monte degli impianti di sollevamento posti nel nodo E, di notevole capacità idrica, in grado di fronteggiare le minori portate che giungono al sistema nel caso di rotture conseguenti ad un terremoto.

Gli scenari legati al malfunzionamento della rete di distribuzione, cioè gli scenari 8, 9 e 10 appaiono poco probabili, a causa dei modesti valori della PGA nell'area specifica (probabilità media di occorrenza pari a 10% nel caso di $T = 475$ anni e pari al 20% nel caso di $T = 2000$ anni). Questi però a differenza di quanto accade nel caso di malfunzionamento dell'acquedotto esterno, a causa delle caratteristiche strutturali della rete, pongono in situazioni di stress la struttura critica, da una parte vedendo una distribuzione dei carichi idraulici più severa che nel caso dello scenario ordinario, dall'altro vedendo delle riduzioni di pressione alle quali è possibile associare una minore capacità del sistema ad erogare la portata richiesta.

E' possibile prospettare degli sviluppi possibili per la ricerca corrente, che nascono da alcune limitazioni da cui essa è affetta.

La numerosità degli scenari di malfunzionamento che può ipotizzarsi, anche a causa delle relative combinazioni, è di gran lunga superiore a quanto considerato nell'analisi corrente. La scelta di soli 12

scenari, rappresentativi di talune situazioni critiche, nasce di fatto dalla priorità volta nei confronti di una impostazione metodologica atta a studiare la interdipendenza tra le due infrastrutture critiche analizzate ha comportato, piuttosto che ad una mera analisi di affidabilità. Una più puntuale conoscenza del sistema fisico oltre che indicazioni circa criticità dello stesso, possono sicuramente essere utili a definire un maggior numero di scenari in maniera da valutare il comportamento della struttura idraulica in maniera più ampia.

Una migliore conoscenza del sistema fisico anche in relazione alla erogazione del servizio richiesto può essere utile a pianificare scenari che illustrino la dinamica temporale del servizio idrico durante la particolare situazione di emergenza, da affiancare alle simulazioni stazionarie proposte.

Ancora, nel caso di un livello più approfondito di conoscenza del sistema un modello di simulazione idraulica del tipo PDA ovvero *Pressure Driven Analysis* che porti specificamente in conto il legame tra le portate erogate ai nodi ed i relativi carichi idraulici sarebbe in grado di illustrare situazioni potenzialmente più critiche rispetto a quelle indicate dallo schema DDA usato per l'analisi corrente.

7 Riferimenti bibliografici

1. D.O., Baloye, L.G., Palamuleni, "Urban critical infrastructure interdependencies in emergency management: Findings from Abeokuta, Nigeria", *Disaster Prevention and Management*, 26 (2) (2017), pp. 162-182.
2. C., Griot, "Modelling and simulation for critical infrastructure interdependency assessment: A meta-review for model characterization", *International Journal of Critical Infrastructures*, 6 (4) (2010), pp. 363-379.
3. C.-C., Chou, S.-M., Tseng, "Collection and analysis of critical infrastructure interdependency relationships", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24 (6) (2010), pp. 539-547.
4. C. Moriconi, M. Pollino, V. Rosato, "La protezione delle Infrastrutture Critiche e il controllo del territorio", *Energia, ambiente e innovazione*, 1 (2017), 52-57.
5. E. Luijff, A. Nieuwenhuijs, M. Klaver, Michel van Eeten, E. Cruz, "Empirical Findings on Critical Infrastructure Dependencies in Europe", vol. 5508 (2009), pp. 302-310.
6. C., Varianou Mikellidou, L.M., Shakou, G., Boustras, C., Dimopoulos, "Energy critical infrastructures at risk from climate change: A state of the art review", *Safety Science*, 110 (2018), pp. 110-120.
7. V., Rosato, A., Di Pietro, L., La Porta, M., Pollino, A., Tofani, J.R., Marti, C., Romani, "A decision support system for emergency management of critical infrastructures subjected to natural hazards", *Lecture Notes in Computer Science*, 8985 (2016), pp. 362-367.
8. B., Omidvar, M., Hojjati Malekshah, H., Omidvar, "Failure risk assessment of interdependent infrastructures against earthquake, a Petri net approach: Case study-power and water distribution networks", *Natural Hazards*, 71 (3) (2014), pp. 1971-1993.
9. R., De Risi, F., De Luca, O.S., Kwon, A. Sextos, "Scenario-Based Seismic Risk Assessment for Buried Transmission Gas Pipelines at Regional Scale", *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 9(4) (2018), 04018018.
10. M., Eskandari, B., Omidvar, M., Modiri, M. A., Nekooie, A. A., Alesheikh, "Geospatial Analysis of Earthquake Damage Probability of Water Pipelines Due to Multi-Hazard Failure", *International Journal of Geo-Information*, 6, 169 (2017).
11. S., Giovinazzi, C., Brown, E., Seville, J., Stevenson, T., Hatton, J.J., Vargo, "Criticality of infrastructures for organisations", *International Journal of Critical Infrastructures*, 12(4) (2016), pp. 331-363.
12. S., Giovinazzi, A., Di Pietro, M., Mei, M., Pollino, V., Rosato, "Protection of Critical Infrastructure in the event of Earthquakes: CIPCast-ES", *Proceedings of XVII ANIDIS Conference, Pistoia, Italy (2017)*.
13. S., Giovinazzi, A., Austin, R., Ruitter, C., Foster, M., Nayerloo, N., Nair, L., Wotherspoon, "Resilience and fragility of the telecommunication network to seismic events: Evidence after the Kaikoura (New Zealand) earthquake", *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, Vol. 50, No. 2, (2017), pp. 318-328.
14. Federal Emergency Management Agency. HAZUS MH 2.0 Earthquake Technical Manual; Department of Homeland Security: Washington, DC, USA, (2011).
15. S., Toprak, F., Taskin, "Estimation of earthquake damage to buried pipelines caused by ground shaking." *Natural Hazards*, 40 (1) (2007), pp. 1-24.
16. T.D., O'Rourke, S., Jeon, "Factors affecting the earthquake damage of water distribution systems, Optimizing Post-Earthquake Lifeline System Reliability", *Proceedings of the 5th U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering, Seattle, WA, USA, (1999)*, pp. 379-388.

8 Breve curriculum vitae

ANTONIA LONGOBARDI

Luogo e data di nascita: Napoli, 21

Ottobre 1974

Codice Fiscale:

LNGNTN74R61F839Z

Indirizzo:

✓ Dipartimento di Ingegneria Civile

c/o Università di Salerno

Via Giovanni Paolo II, 132

84084 FISCIANO (SA) Italy

tel. 089/963408 fax. 089/964099 e-mail:

alongobardi@unisa.it

Dal Novembre del 2008 Antonia Longobardi è ricercatore (sette disciplinare ICAR/02) presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Salerno. È membro di alcune organizzazioni di carattere nazionale ed internazionale (European Geophysical Union, International Association of Hydrological Sciences, Honors Center of Italian Universities H2CU, Società Italiana di Statistica, International Commission on Statistical Hydrology) e referee per alcune riviste scientifiche internazionali (Water Resources Management, International Journal of Climatology, Journal of Hydrology, Environmental Engineering and Management Journal, Journal of Flood Engineering, International Journal of Ecological Economics & Statistics, Meteorology and Atmospheric Physics). Ha preso parte, a diverso titolo, a Progetti di Ricerca Scientifica di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) ed a Progetti di finanziamento di Ateneo alla Ricerca, ed è stata titolare di numerose collaborazioni professionali per la ricerca. Ha partecipato a numerosi seminari, convegni e scuole di specializzazione ed è autore di oltre 70 pubblicazioni (book chapter, journal articles, peer-reviewed conference papers, abstract). Si evidenziano alcuni dei temi di ricerca di maggiore interesse: a) Modellazione afflussi-deflussi alla scala di bacino; b) Eventi estremi e previsione del deflusso alla scala di evento; c) Monitoraggio e studio della variabilità spazio-temporale dell'umidità del suolo; d) Analisi statistiche alla scala regionale di indicatori climatici; e) Analisi statistiche alla scala regionale delle magre; f) Analisi della sostenibilità delle infrastrutture idrauliche urbane.

Fisciano, novembre 2018

(Antonia Longobardi)

