



Ricerca di Sistema elettrico

Valutazione degli impatti in caso di diversi
scenari di funzionamento della rete idrica,
in risposta a situazioni non ordinarie della
rete elettrica

Antonia Longobardi

VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN CASO DI DIVERSI SCENARI DI FUNZIONAMENTO DELLA RETE IDRICA, IN RISPOSTA A SITUAZIONI NON ORDINARIE DELLA RETE ELETTRICA

Antonia Longobardi
Dipartimento di Ingegneria Civile (DICIV) dell'Università degli Studi di Salerno

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

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

Progetto: D.7 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 "Valutazione degli impatti di scenari di funzionamento di una rete idrica in situazioni straordinarie di non funzionamento della rete elettrica"

Responsabile scientifico ENEA: Grazia Fattoruso

Responsabile scientifico Università di Salerno: Antonia Longobardi

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 CASO DI STUDIO.....	7
3 SCENARI DI MALFUNZIONAMENTO DELLA RETE ELETTRICA ED IDRAULICA.....	10
4 VALUTAZIONI DEGLI IMPATTI DEGLI SCENARI DI MALFUNZIONAMENTO.....	13
5 CONCLUSIONI.....	20
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	21

Sommario

Il report in questione descrive le attività sviluppate al fine di valutare gli impatti sulla popolazione di scenari di malfunzionamento della rete idraulica, derivanti da situazioni straordinarie come quelle legate a rotture che possono occorrere in caso di un evento sismico ovvero alla interruzione del servizio elettrico, dal quale la rete di distribuzione è dipendente in relazione al funzionamento di alcuni manufatti speciali.

L'attività corrente parte dalle attività descritte nel report RdS/PAR2017/066 (Longobardi, 2018), che vedono identificato il caso di studio della rete adduttrice e di distribuzione del Peschiera-Capore. Per questo, il modello idraulico era stato ricostruito mediante l'utilizzo del software GIS-based Innovize-Infowater, attraverso una raccolta dati relativi alle caratteristiche strutturali ed idrauliche ed alle relative sollecitazioni in termini di domanda idrica, identificando anche tutti quelli che sono gli elementi interconnessi al funzionamento della linea elettrica. In aggiunta erano stati identificati 12 potenziali scenari di malfunzionamento per ciascuno dei quali erano stati identificati i relativi comportamenti idraulici della rete e le connesse affidabilità.

A partire dai risultati, sono stati selezionati un numero di 7 scenari di malfunzionamento della rete idraulica ed elettrica rappresentativi delle situazioni di maggiore criticità per la municipalità servita. Questi scenari prevedono, singolarmente od in combinazione, la distribuzione di minori valori di portate immesse in rete, rispetto ad una situazione ordinaria, con conseguente differente distribuzione dei carichi nodali e delle portate nodali erogate e relativa criticità rispetto al servizio erogato.

I risultati delle simulazioni idrauliche vengono poi tradotti in valutazione degli impatti sulla popolazione servita, mediante l'utilizzo di rappresentazioni tematiche, generate con l'ausilio della piattaforma GIS ESRI-ArcGIS nelle quali, per ciascuno scenario, sono identificate le aree della municipalità esposte ai maggiori rischi rispetto alla erogazione del servizio.

L'insieme delle simulazioni idrauliche e delle mappe tematiche proposte possono rappresentare un valido strumento di supporto alle decisioni che competono agli enti gestori, chiamati ad affrontare situazioni di emergenza che tengano anche conto della eventualità di convogliare la risorsa disponibile in una specifica area sensibile del centro urbano con la migliore prestazione possibile.

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].

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, che a partire dalle attività e dai risultati riportati nel report RdS/PAR2017/066 [9], si propone di valutare quali sono gli impatti che vengono a determinarsi, rispetto alla erogazione del servizio idrico da parte della rete idraulica di distribuzione, sulla municipalità servita, nel momento in cui dovessero occorrere situazioni di malfunzionamento connesse a situazioni critiche che interessano sia l'infrastruttura idraulica stessa sia la rete elettrica che di fatto consente il funzionamento di alcuni manufatti idraulici speciali.

A partire da alcuni scenari di malfunzionamento già proposti nelle attività RdS/PAR2017/066 [9], ne sono stati selezionati sette, ritenuti più critici per la municipalità servita a valle delle già riportate valutazioni circa le condizioni di affidabilità idraulica che gli stessi erano in grado di fornire a confronto con situazioni di carattere ordinario [9]. Questi scenari prevedono, singolarmente od in combinazione, la distribuzione di minori valori di portate immesse in rete, rispetto ad una situazione ordinaria, con conseguente differente distribuzione dei carichi nodali e delle portate nodali erogate e relativa criticità rispetto al servizio erogato.

I risultati delle simulazioni idrauliche, operate mediante il software EPANET (United States Environmental Protection Agency) vengono poi tradotti in valutazione degli impatti sulla popolazione servita, mediante l'utilizzo di rappresentazioni tematiche, generate con l'ausilio della piattaforma GIS ESRI-ArcGIS nelle quali, per ciascuno scenario, sono identificate le aree della municipalità esposte ai maggiori rischi rispetto alla erogazione del servizio.

L'insieme delle simulazioni idrauliche e delle mappe tematiche proposte possono rappresentare un valido strumento di supporto alle decisioni che competono agli enti gestori, chiamati ad affrontare situazioni di emergenza che tengano anche conto della eventualità di convogliare la risorsa disponibile in una specifica area sensibile del centro urbano con la migliore prestazione possibile.

2 Caso di studio

La rete acquedottistica oggetto di studio dalle attività riportate nel report RdS/PAR2017/066 e conseguentemente di quelle correnti, 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'acquedotto del Peschiera-Capore è gestito da Acea Ato2 (società del gruppo Acea), 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.

Le sorgenti del Peschiera nascono all'interno del monte Nuria e sono costituite da una grande caverna natale di origine carsica 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 collettrice dalla quale ha inizio l'acquedotto.

L'acquedotto del Peschiera è costituito in maggior parte da condotte a pelo libero, scavate nella roccia viva, alte circa 2,70 metri, con una sezione policentrica adatta al convogliamento di grandi portate. Le condotte sono per la maggior parte in cemento armato ma ce ne sono alcune anche in acciaio. L'acquedotto è alimentato da due sorgenti: le sorgenti del Peschiera la cui portata è di 9m³/s e le sorgenti delle Capore con portata di 4,5 m³/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.

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 1):

- il ramo sinistro che ha una capacità di trasporto di 8.5 m³/s ed è lungo circa 33Km;
- il ramo destro che convoglia 5 m³/s è lungo circa 59 km quasi tutti in galleria.

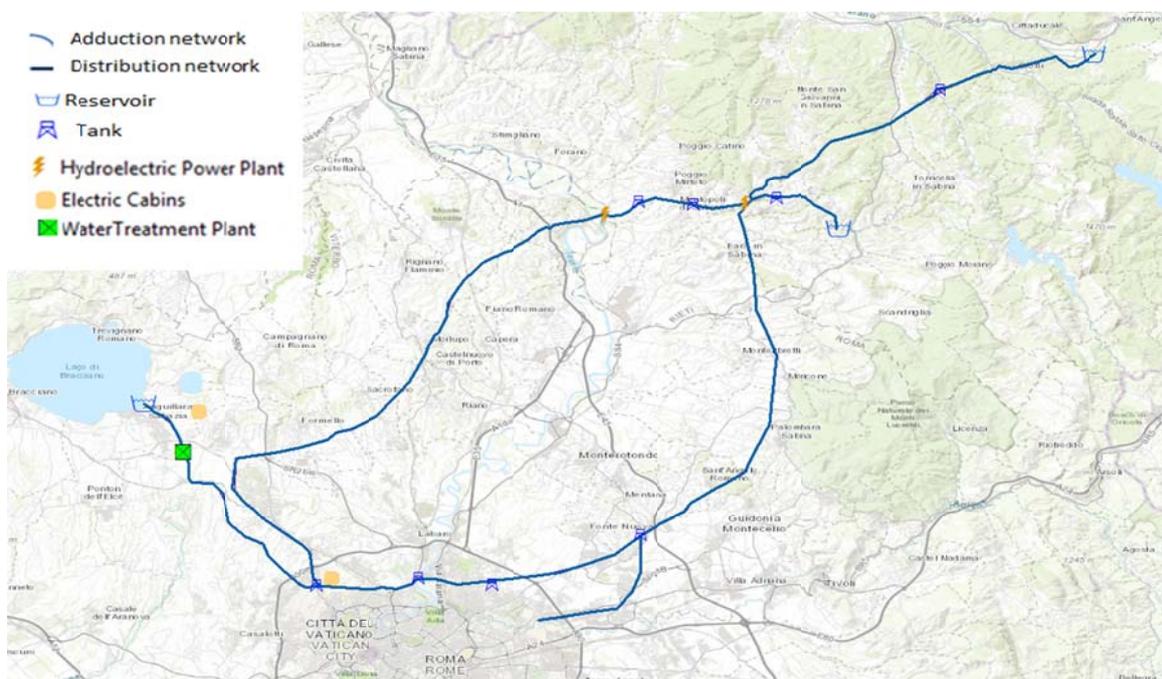


Figura 1. Schema Acquedotto del Peschiera-Capore.

Le acque del Peschiera giungono poi al centro idrico di Ottavia, costituito da:

- un serbatoio sopraelevato con capacità di 500 m³, 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.

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 2) 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.

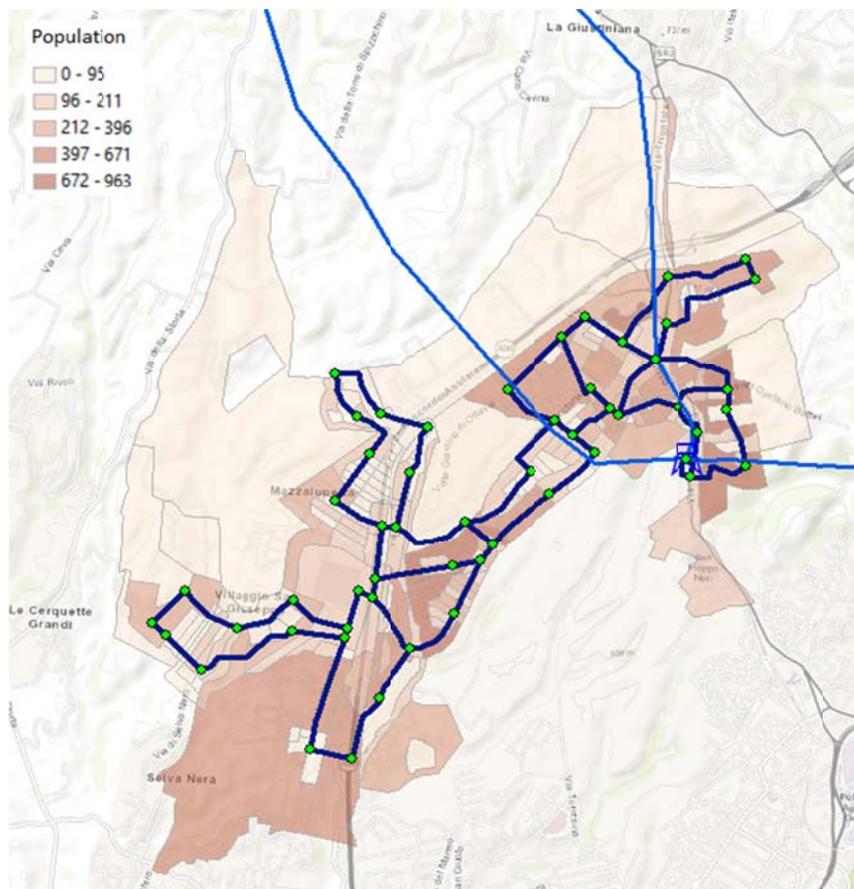


Figura 2. Rete di distribuzione zona l'Ottavia (Roma) e distribuzione della popolazione servita.

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 2). 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.

In particolare per quanto riguarda la rete di distribuzione rappresentata in Figura 4, è stato ricostruito un modello dati mediante l'applicativo software Innovyze-InfoWater ed un modello di funzionamento idraulico mediante il software EPANET (United States Environmental Protection Agency). Nel modello dati sono state rappresentate 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). 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.

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. Il modello dati viene tramutato in un modello topologico della rete (Figura 3) dove 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.

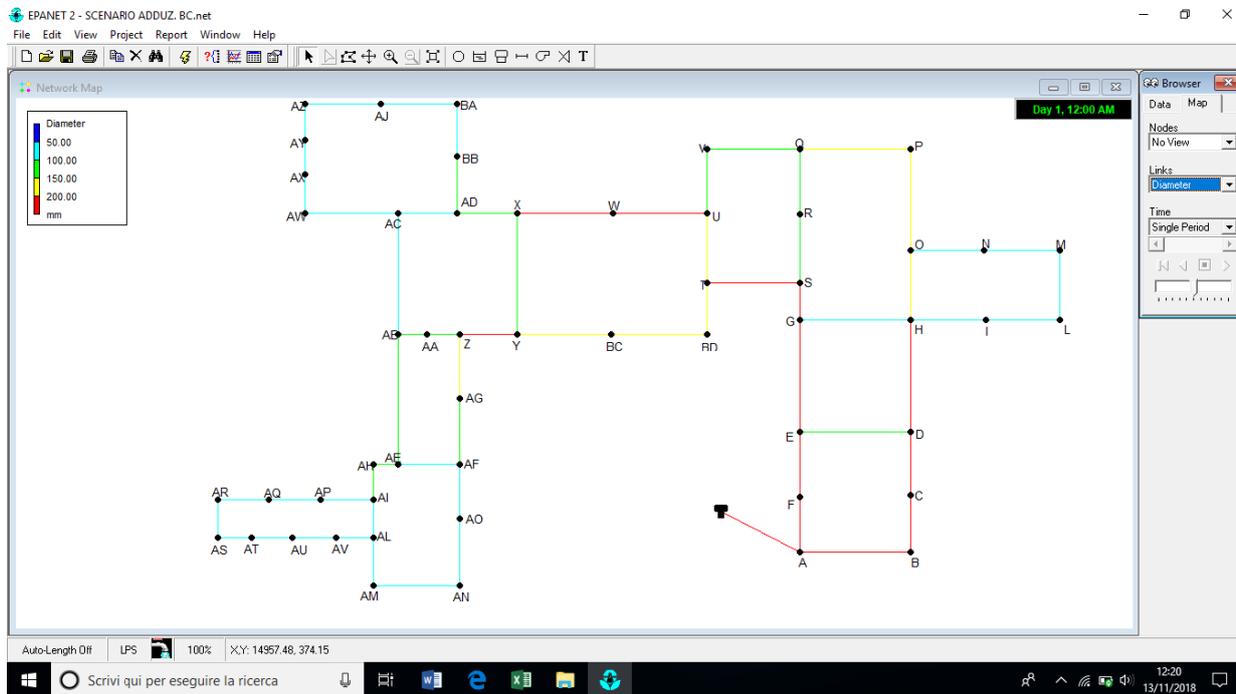


Figura 3. Schema topologico della rete di distribuzione studiata in EPANET.

Maggiori dettagli relativi alla descrizione del sistema acquedottistico analizzato e alla relativa modellazione idraulica possono essere ritrovati in Longobardi (2018).

3 Scenari di malfunzionamento della rete elettrica ed idraulica

Come conseguenza delle probabilità di rottura associate al verificarsi di terremoti di assegnato periodo di ritorno (Figura 4) e di interruzione elettrica degli impianti di sollevamento a servizio degli impianti idraulici, tra le attività del RdS/PAR2017/066, erano stati individuati 12 scenari di malfunzionamento, le cui caratteristiche vengono sintetizzate nella Tabella 1.

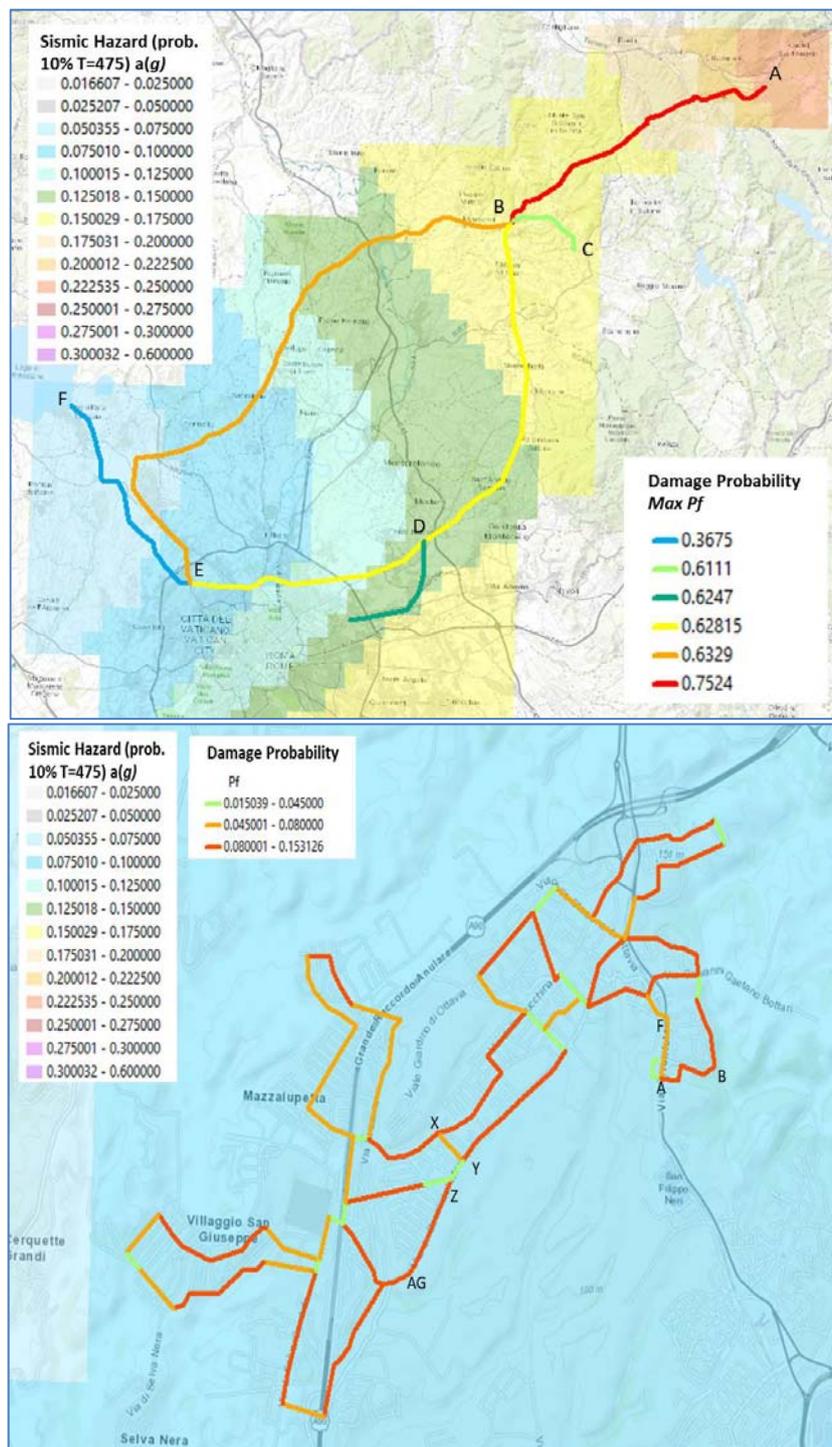


Figura 4. Mappa delle probabilità di danneggiamento della rete di adduzione (sopra) e di distribuzione (sotto) per terremoti con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento in 50 anni pari al 10% [9].

Nel corrente report, nell'intento di andare a valutare gli impatti che tali scenari producono sulla municipalità servita, si prendono a riferimento solamente quelli più critici, a valle delle già riportate valutazioni circa le condizioni di affidabilità idraulica che gli stessi erano in grado di fornire a confronto con situazioni di carattere ordinario, che di seguito vengono brevemente descritti:

- **SCENARIO 5:** viene ipotizzata la rottura del tratto FE dell'acquedotto esterno (Figura 4), 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 4). 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 4). 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 9:** viene ipotizzata la rottura del tratto compreso tra i nodi A e F della rete di distribuzione (Figura 4). 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 4). 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 4) 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 4) 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.

Tabella 1. Scenari straordinari di malfunzionamento del sistema acquedottistico [9].

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

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.

4 Valutazioni degli impatti degli scenari di malfunzionamento

Le analisi idrauliche forniscono i seguenti risultati per gli scenari indicati. 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. Per essi, il valore della portata immessa giunge ad un minimo di 9 l/s, quando viene servita tutta la comunità. IN alternativa, per gli stessi scenari è possibile vedere come sia possibile servire solo il 12% ovvero il 6% della popolazione residente quando si voglia a quest'ultima distribuire una dotazione ordinaria di 150 l/ab per giorno.

Gli scenari che vanno dal n°5 al n°7 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. Un altro elemento che accomuna gli scenari dal n°5 al n°7 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 raggiungono 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. 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, 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).

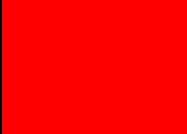
Nel caso dello scenario n°9, le pressioni sono in maniera generalizzata minori su tutta la rete, questo a causa della rottura del tratto di maggiore diametro a valle della condotta di avvicinamento. Nel caso dello scenario n°10 la rottura combinata di alcuni tratti sensibili che congiungono il settore 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.

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. 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.

Per gli scenari considerati tra i più critici per la municipalità, così come descritto al precedente paragrafo, una volta eseguite le simulazioni idrauliche, i risultati delle stesse vengono riportati attraverso mappe tematiche (Figure 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11) che aiutano a valutare il livelli di criticità del servizio idrico nelle diverse area della rete.

Le mappe tematiche sono illustrate attraverso una legenda "criticità del servizio" che, per semplicità e chiarezza di lettura dei risultati, viene di seguito descritta:

Tabella 2. Livelli di criticità nel servizio idrico.

Livello criticità	Colore	Significato
Bassa		Il livello di criticità è basso. Questo è generalmente associato a riduzioni di pressione nei nodi della rete, rispetto ad una situazione ordinaria, che però non pregiudicano l'erogazione del servizio idrico.
Medio/bassa		Il livello di criticità è medio/basso. Questo è generalmente associato a incrementi di pressione nei nodi della rete, rispetto ad una situazione ordinaria, di modesto valore.
Media		Il livello di criticità è medio. Questo è generalmente associato a incrementi di pressione nei nodi della rete, rispetto ad una situazione ordinaria, di valore rilevante.
Alta		Il livello di criticità è alto. Questo è generalmente associato a riduzioni di pressione nei nodi della rete, rispetto ad una situazione ordinaria, tali da pregiudicare l'erogazione del servizio idrico.

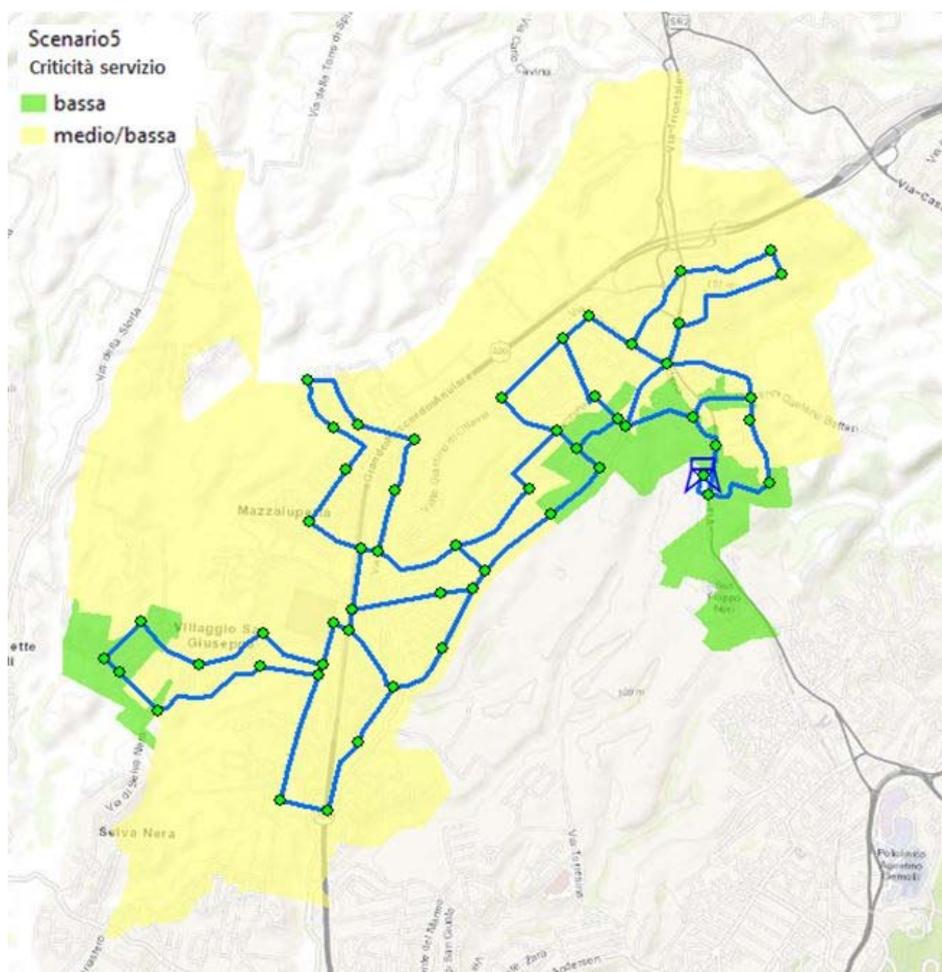


Figura 5. Identificazione areale dei livelli di impatto sulla popolazione corrispondenti dello scenario 5.

Lo scenario 5 (Figura 5) risulta quello il cui livello di impatti sulla popolazione è minore in confronto ai rimanenti. Gli impatti relativi agli scenari 6 e 7 (Figura 6 e Figura 7), associati alle minori erogazioni possibile, sono praticamente equivalenti. Piuttosto severi e diffusi arealmente sono gli impatti relativi allo scenario 9 (Figura 8) che prevede la rottura di uno dei tratti principali della rete di distribuzione, ovvero quello prossimo al serbatoio.

Altrettanto severi sono quelli associati allo scenario 10 (Figura 9) che prevede la rottura di alcuni tratti critici della rete, ovvero quelli che mettono in connessione il settore orientale dove avviene l'erogazione a partire dal serbatoio e quello occidentale. Gli impatti sono particolarmente importanti in questo ultimo settore. In termini di impatti, gli scenari 11 e 12 (Figura 5) presentano una similitudine rispetto agli scenari 6 e 7, così come anche descritto nelle analisi di affidabilità della rete riportate in Longobardi (2018) e precedentemente riassunte.

Un approfondimento viene proposto per lo scenario 6 che ricordiamo prevede una erogazione minimale, pari a 5.78 l/s, incapace di fornire un servizio idrico di adeguato livello a tutta la municipalità. A titolo di esempio si immagina che, in questa particolare condizione di emergenza, il gestore della rete di distribuzione voglia garantire il servizio solamente ad alcuni centri sensibili, quali ad esempio scuole, case di cura e campi sportivi, che possono rappresentare punti di aggregazione durante le situazioni di emergenza.

A partire dal serbatoio (Figura 12) è stato identificato il percorso idraulico, isolato dal resto della rete di distribuzione mediante la chiusura di valvole di regolazione sempre presenti e diffuse su tutto il tracciato della rete. Il risultato della simulazione idraulica mostra un campo delle pressioni ai nodi (tra i 30 ed i 70 metri sul piano stradale) adeguato ad erogare il servizio idrico richiesto.

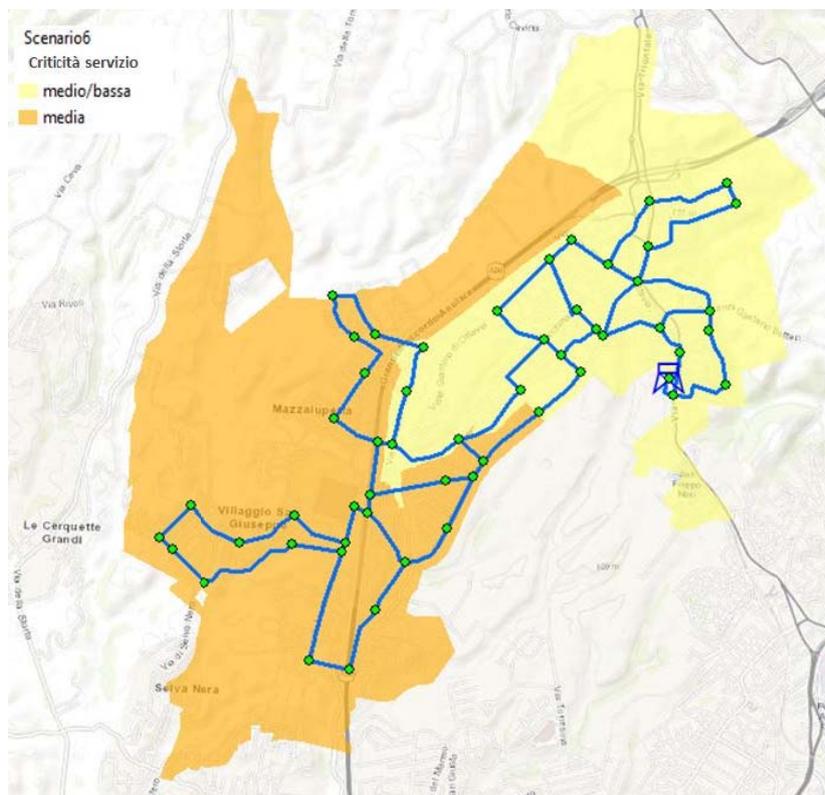


Figura 6. Identificazione areale dei livelli di impatto sulla popolazione corrispondenti dello scenario 6.

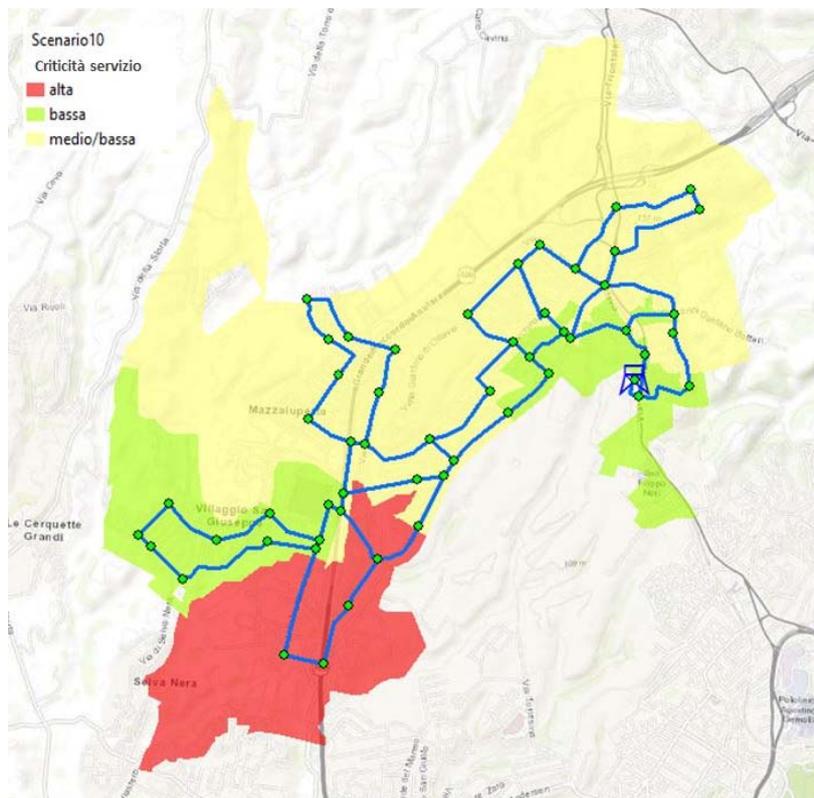


Figura 9. Identificazione areale dei livelli di impatto sulla popolazione corrispondenti dello scenario 10.

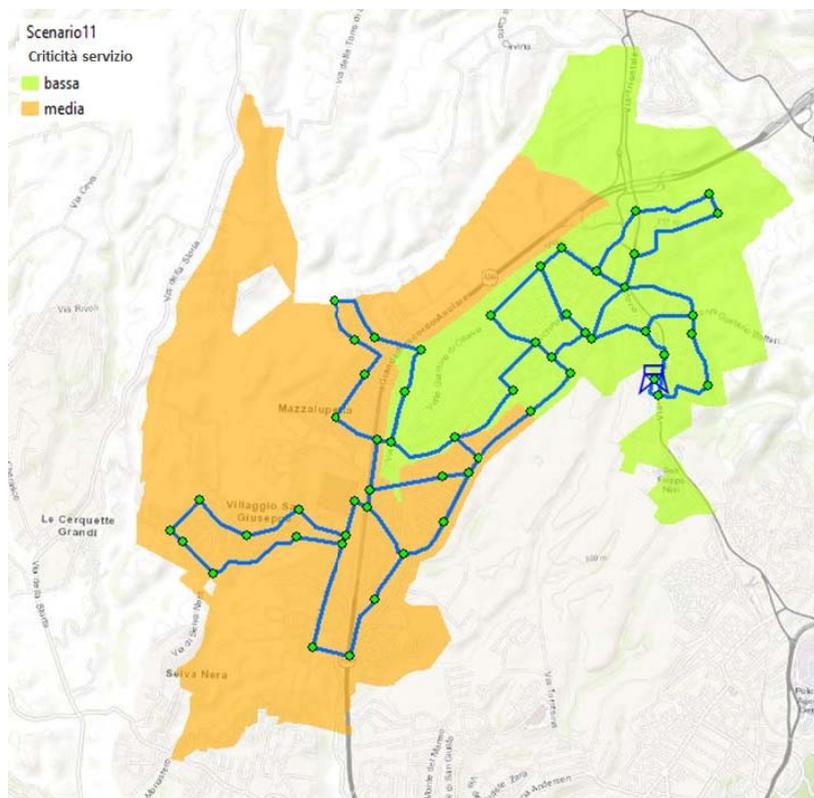


Figura 10. Identificazione areale dei livelli di impatto sulla popolazione corrispondenti dello scenario 11.

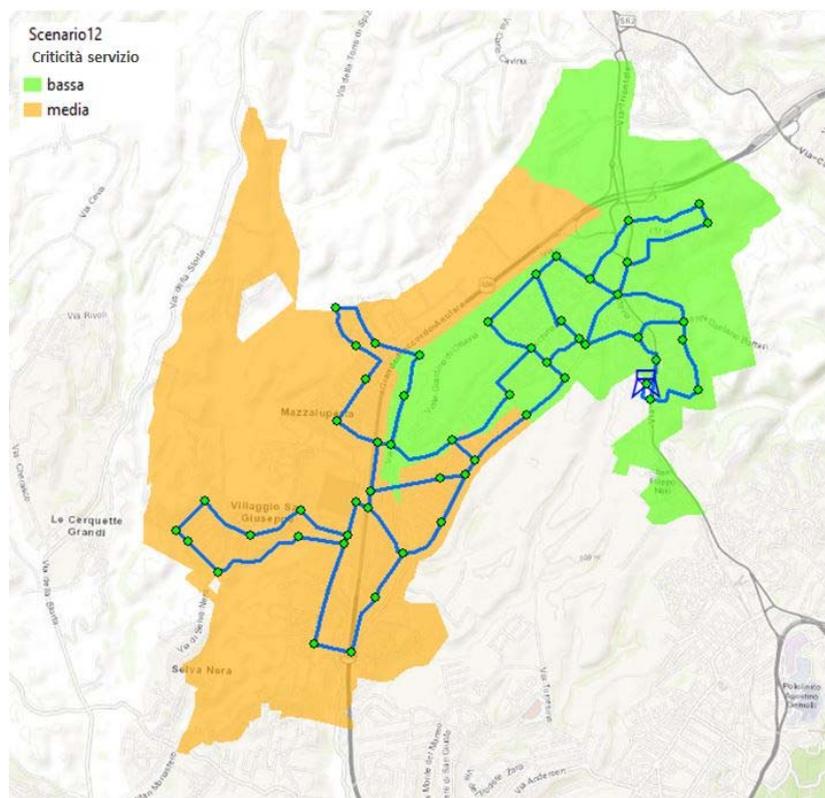


Figura 11. Identificazione areale dei livelli di impatto sulla popolazione corrispondenti dello scenario 12.

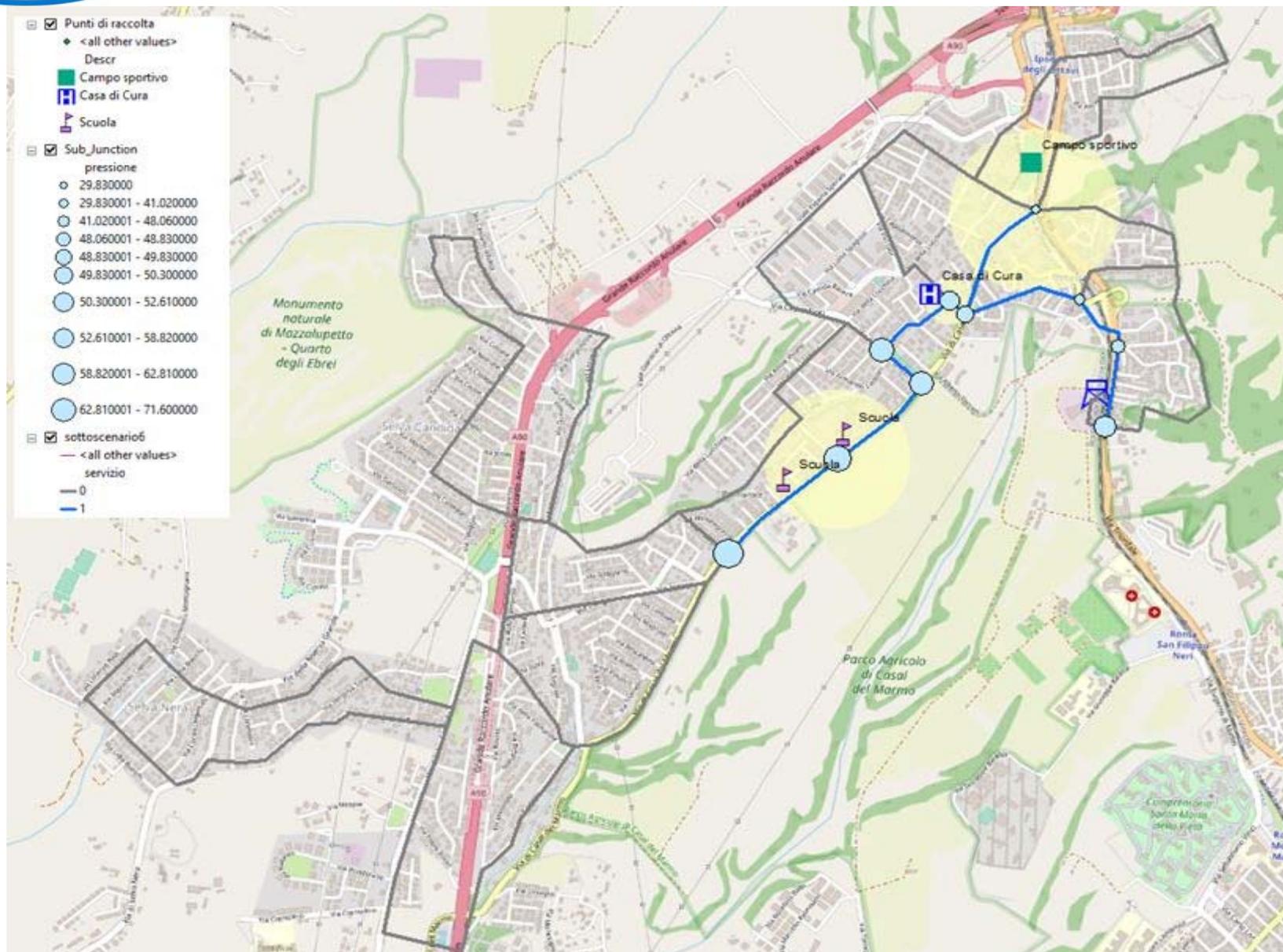


Figura 12. Distribuzione delle pressioni di esercizio corrispondenti, nell'ambito dello scenario 6, al servizio di una identificata utenza.

5 Conclusioni

Il report ha descritto le attività sviluppate al fine di valutare gli impatti sulla popolazione di scenari di malfunzionamento della rete idraulica, derivanti da situazioni straordinarie come quelle legate a rotture che possono occorrere in caso di un evento sismico ovvero alla interruzione del servizio elettrico, dal quale la rete di distribuzione è dipendente in relazione al funzionamento di alcuni manufatti speciali.

L'attività corrente parte dalle attività riportate nel report RdS/PAR2017/066 (Longobardi, 2018), che vedono identificato il caso di studio della rete adduttrice e di distribuzione del Peschiera-Capore. Per questo, il modello idraulico era stato ricostruito mediante l'utilizzo del software GIS-based Innovize-Infowater, attraverso una raccolta dati relativi alle caratteristiche strutturali ed idrauliche ed alle relative sollecitazioni in termini di domanda idrica, identificando anche tutti quelli che sono gli elementi interconnessi al funzionamento della linea elettrica. In aggiunta erano stati identificati 12 potenziali scenari di malfunzionamento per ciascuno dei quali erano stati identificati i relativi comportamenti idraulici della rete e le connesse affidabilità. A partire da questi risultati, nel corrente lavoro sono stati selezionati un numero di 7 scenari di malfunzionamento della rete idraulica ed elettrica rappresentativi delle situazioni di maggiore criticità per la municipalità servita. Questi scenari prevedono, singolarmente od in combinazione, la distribuzione di minori valori di portate immesse in rete, rispetto ad una situazione ordinaria, con conseguente differente distribuzione dei carichi nodali e delle portate nodali erogate e relativa criticità rispetto al servizio erogato.

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 della rete di distribuzione, cioè gli scenari 8, 9 e 10 pongono in situazioni di stress la struttura idraulica, 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.

In termini di severità e quindi di impatto sulla popolazione, le mappe tematiche mostrano come lo scenario 5 risulta quello il cui livello di impatti sulla popolazione è minore in confronto ai rimanenti. Gli impatti relativi agli scenari 6 e 7, associati alle minori erogazioni possibile, sono praticamente equivalenti. Piuttosto severi e diffusi arealmente sono gli impatti relativi allo scenario 9 che prevede la rottura di uno dei tratti principali della rete di distribuzione, ovvero quello prossimo al serbatoio. Altrettanto severi sono quelli associati allo scenario 10 che prevede la rottura di alcuni tratti critici della rete, ovvero quelli che mettono in connessione il settore orientale dove avviene l'erogazione a partire dal serbatoio e quello occidentale. Gli impatti sono particolarmente importanti in questo ultimo settore. In termini di impatti, gli scenari 11 e 12 presentano una similitudine rispetto agli scenari 6 e 7, così come anche descritto nelle analisi di affidabilità della rete.

L'insieme delle simulazioni idrauliche e delle mappe tematiche proposte possono rappresentare un valido strumento di supporto alle decisioni che competono agli enti gestori, chiamati ad affrontare situazioni di emergenza che tengano anche conto della eventualità di convogliare la risorsa disponibile in una specifica area sensibile del centro urbano con la migliore prestazione possibile.

6 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. A., Longobardi, "Definizione di scenari di funzionamento di una rete acquedottistica in funzione di scenari di funzionamento della rete elettrica in situazioni straordinarie", *ENEA Report (2018) RdS/PAR2017/066*.

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 100 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, gennaio 2019

(Antonia Longobardi)

