



Ricerca di Sistema elettrico

Realizzazione del DSS per la sicurezza delle Infrastrutture Critiche (CI) del Distretto

M. Pollino, G. D'Agostino, A. De Nicola, A. Di Pietro, G. Fattoruso, L.
La Porta, V. Rosato, A. Tofani, M. L. Villani

REALIZZAZIONE DEL DSS PER LA SICUREZZA DELLE INFRASTRUTTURE CRITICHE (CI) DEL DISTRETTO

M. Pollino, A. De Nicola, A. Di Pietro, G. Fattoruso, L. La Porta, V. Rosato, A. Tofani, M. L. Villani (ENEA)

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: 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

Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE	6
2 OBIETTIVO DELLE ATTIVITÀ E RISULTATI.....	8
3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ.....	10
3.1 LA PIATTAFORMA DSS CIPCAST	10
3.2 ANALISI DI RISK FORECAST/ASSESSMENT	10
3.2.1 <i>Modellistica meteo-idrologica per la previsione del rischio e la valutazione degli impatti: casi di studio sulle infrastrutture elettriche del distretto urbano</i>	10
3.2.2 <i>Modelli per la valutazione della resilienza del sistema elettrico soggetto a sollecitazioni multiple</i>	16
3.3 SISTEMA PER LA GEOLOCALIZZAZIONE DI MODELLI SEMANTICI DI RISCHIO	17
3.3.1 <i>Caso di studio: analisi del rischio in due aree della città metropolitana di Roma</i>	18
3.4 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DI SCENARI DI FUNZIONAMENTO DI UNA RETE IDRICA IN SITUAZIONI STRAORDINARIE DI NON FUNZIONAMENTO DELLA RETE ELETTRICA.....	22
3.5 LA VALUTAZIONE DELLA RESILIENZA DI UNA RETE ELETTRICA INTERCONNESSA.....	25
3.5.1 <i>Valutazione della resilienza del sistema elettrico e tassi di guasto</i>	25
3.5.2 <i>Disegno e realizzazione prototipo del simulatore RecSimPY</i>	27
3.6 INTERAZIONI.....	32
3.6.1 <i>Integrazione dei dati da drone nel DSS</i>	32
3.6.2 <i>Interazione DSS con la SmarCityPlatform</i>	32
3.7 IL FRONT-END DSS (WEBGIS).....	34
4 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI.....	35
5 RIFERIMENTI	37
6 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	41

Indice delle Figure

Figura 1. Bollettino di criticità nazionale/allerta del 28-29/10/2018 (Fonte: Protezione Civile)	12
Figura 2. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS di CIPCast del dato previsionale (prodotto dal modello CHyM) delle precipitazioni orarie e dell'indice BDD. Previsione per il 28 Ottobre 2018	13
Figura 3. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS di CIPCast del dato previsionale (prodotto dal modello CHyM) dell'indice BDD. Previsione per il 29 Ottobre 2018	14
Figura 4. Eventi alluvionali ed esondazioni su base cartografica satellitare.	15
Figura 5. Visualizzazione della situazione di allarme idrologico prevista per l'evento del 29 Ottobre 2018 in relazione agli elementi della rete elettrica considerati.....	15
Figura 6. Estratto dall'ontologia TERMINUS che mostra un frammento della tassonomia relativa al concetto <i>Hazard</i>	17
Figura 7. Punti di interesse localizzati per l'area di Ponte Milvio.....	19
Figura 8. Risk mini-model nel caso di inondazione associati ai POI localizzati nell'area di Ponte Milvio	21
Figura 9. Risk mini-model nel caso di terremoto associati ai POI localizzati nell'area dei Colli Albani	21
Figura 10. Identificazione areale dei livelli di impatto sulla popolazione corrispondenti ai diversi scenari selezionati: a) scenario 5; b,c) scenari 6,7; d) scenario 9; e) scenario 10; f,g) scenari 11, 12; h) scenario alternativo 6	23
Figura 11. Confronto delle distribuzioni dei kmin nei casi N-2, N-1 e Monte Carlo.....	26
Figura 12. Frequenze di guasto	26
Figura 13 Possibili stati e transizioni di un processo <i>SecondarySubstation</i> (SS)	28
Figura 14 Possibili stati e transizioni del processo <i>Base Transceiver Station</i> (BTS).....	28
Figura 15 La rete di distribuzione elettrica di test.....	29
Figura 16 Sequenza temporale degli eventi, utilizzo delle risorse disponibili ed output di uno scenario di danneggiamento.....	30
Figura 17. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS del DSS dei dati acquisiti da drone ed elaborazioni 3D della sottostazione elettrica MT rilevata.....	32
Figura 18. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS del DSS dei dati scambiati con la SCP	33
Figura 19. Interfaccia WebGIS della piattaforma DSS CIPCast	34

Indice delle Tabelle

Tabella 1. Numero di tipi di risk mini-model plausibili e rilevanti generati in accordo all'expert's judgment. Questa analisi considera il tipo di system service.	20
Tabella 2. Grado di rilevanza dei <i>risk mini-model</i> generati per POI in accordo all'expert judgment. Questa analisi considera i differenti POI (ci potrebbe essere più istanze di POI per ogni tipo di <i>system service</i>).	20
Tabella 3. Grado di rilevanza dei <i>risk mini-model</i> generati (per POI) in accordo al ranking prodotto da WS-CREAM. Quest'analisi considera i POI differenti (ci potrebbero essere più istanze di POI per ogni tipo di <i>system service</i>).....	20
Tabella 4. Livelli di criticità nel servizio idrico	23
Tabella 5. Parametri di simulazione e risultati ottenuti confrontando l'approccio deterministico con l'approccio Monte Carlo	25

Sommario

Nell'ambito del presente trimestre (PAR2018) sono proseguite le attività del Sotto-obiettivo d.1 ("DSS protezione e sicurezza delle infrastrutture critiche"), che sono state principalmente dedicate al completamento della realizzazione del **Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) spaziale CIPCast**, quale strumento per il monitoraggio e la sicurezza delle CI del Distretto, secondo quanto progettato, definito e già implementato nelle precedenti annualità. Nello specifico, sono proseguite le analisi di *risk assessment* e dei casi di studio correlati, per la valutazione degli impatti di eventi estremi sulle infrastrutture critiche, con particolare riguardo a quelle del sistema elettrico. Quindi, sono state approfondite le analisi legate alla valutazione dell'interdipendenza tra i sistemi di infrastrutture elettrico ed idrico, ed alla valutazione della resilienza di un rete elettrica interconnessa. Inoltre, si è proceduto con le implementazioni per l'inserimento nel DSS dei dati prodotti nell'ambito delle attività del sotto-obiettivo d.2 e per l'interfacciamento funzionale con la Smart City Platform (SCP). Infine, è stata aggiornata e completata l'interfaccia WebGIS del DSS CIPCast. Nel presente Report, pertanto, vengono descritte in dettaglio le sopra citate attività ed i relativi risultati conseguiti.

1 Introduzione

Il settore energetico (in particolare il sistema elettrico) ha un ruolo centrale nel sistema nazionale delle Infrastrutture Critiche (CI). Tale sistema, tuttavia, non è solamente gestibile come un insieme di sistemi “isolati” ma forma un insieme di sistemi mutuamente dipendenti che necessitano di una analisi ed un controllo globale. La dipendenza tra le reti (ad esempio, quella elettrica e quella idrica) rende ormai non più eludibile la necessità di un approccio globale al sistema delle reti e delle CI, sia sul piano della sicurezza (verso eventi naturali), sia sul piano del miglioramento della resilienza.

Come descritto nei Report relativi alle attività delle precedenti annualità, ENEA è fortemente impegnata nello sviluppo di sistemi in grado di migliorare l’analisi e il controllo del sistema interdipendente costituito dalle CI, con lo scopo di migliorare sia la gestione ordinaria, sia la previsione del rischio in una prospettiva “all hazards”, attraverso lo sviluppo di una piattaforma di supporto alle decisioni, in grado di fornire una visione globale ed integrata (cfr. Report RdS/PAR2015/016, Report RdS/PAR2016/020 e Report RdS/PAR2017/061).

Grazie all’acquisizione della consapevolezza dei trend nel settore della sicurezza e della resilienza delle reti acquisita da ENEA nell’ultimo decennio, l’Agenzia in collaborazione con importanti partner scientifici e tecnologici in Italia e in Europa (Fraunhofer, CEA, TNO, Tecnalia, Deltares, etc.) ha partecipato a vari progetti legati all’analisi della resilienza dei sistemi elettrici (anche in relazione alle loro forti dipendenze con altre reti). Inoltre, è opportuno ricordare che, sul piano normativo, la EU con la Direttiva 2008/114/CE individua una serie di Infrastrutture Critiche di Interesse Europeo (ICE), demandando agli Stati Membri l’onere di un controllo e di una protezione al fine di salvaguardare i servizi primari per i cittadini ed omogeneizzare la resilienza di sistemi di interesse transnazionale. In Italia tale Direttiva è stata recepita per attuazione con il D.Lgs.11 aprile 2011 n.61.

È proprio facendo leva sull’esperienza maturata in questo settore, che il Laboratorio APIC (“Analisi e Protezione delle Infrastrutture Critiche”) dell’ENEA ha potuto portare il proprio nell’ambito delle presenti attività della Ricerca di Sistema Elettrico, progettando e sviluppando la Piattaforma DSS CIPCast (descritta nel sopracitati e nel presente Report). Essa costituisce un innovativo esempio di DSS per la valutazione e l’analisi del rischio delle CI (con particolare attenzione al sistema elettrico) in un’area metropolitana. CIPCast si configura, pertanto, come uno strumento utile a supportare gli operatori delle CI e l’Autorità Pubblica (ad esempio, la Protezione Civile) nelle attività di monitoraggio e gestione connesse alla sicurezza del territorio, al funzionamento delle infrastrutture tecnologiche che forniscono servizi primari (come, in primo luogo, i sistemi elettrici e di comunicazione) e di quelli di emergenza (e.g., edifici strategici, ospedali etc.). Le attività condotte nell’ambito delle precedenti tre annualità (PAR2015-2017) e del presente trimestre (PAR2018) si sono focalizzate sullo sviluppo del sistema CIPCast, con particolare riguardo al miglioramento della sicurezza e della resilienza alle IC del sistema elettrico, descritte con le loro interdipendenze funzionali. Questo aspetto è particolarmente rilevante, in quanto il sistema elettrico riveste un ruolo cardine nel sistema complessivo di tutte le altre CI (telecomunicazioni, trasporti, sistema idrico, etc.).

Riassumendo quanto già descritto più approfonditamente nei sopra citati Report, il sistema CIPCast, a partire da dati esterni (open data, previsioni meteo, dati sismici etc.) può elaborare e costruire “scenari”, contenenti gli eventi attesi, la loro intensità e gli impatti, fornendo una mappatura in continuo aggiornamento. Inoltre, CIPCast può lavorare anche in modalità simulativa, generando eventi sintetici (in particolare, quelli sismici) in modo da consentire la realizzazione di stress-test sui sistemi di CI in possibili situazioni ordinarie o straordinarie. Ad esempio, è possibile simulare perturbazioni sulla rete di distribuzione elettrica e valutare l’efficienza delle procedure di riconfigurazione nel ripristinare la funzionalità della rete stessa e nel rialimentare gli utenti, considerando anche la dipendenza di tali procedure da altri sistemi/servizi (viabilità, etc.). In tal modo viene valutata la resilienza della rete. Inoltre, una serie di attività sono state finalizzate all’implementazione nella piattaforma CIPCast di strumenti di

analisi e di valutazione del rischio, allo scopo di fornire una mappatura delle aree a rischio (e.g., idrologico, sismico, etc.) e conseguentemente ad una stima della vulnerabilità delle CI ivi localizzate. Sono state, quindi, identificate le dipendenze funzionali che si originano dalla rete elettrica verso altre reti che le sono fortemente legate funzionalmente (e.g., rete idrica). Le tecnologie sviluppate nel progetto e la loro integrazione nel sistema CIPCast sono state oggetto di una serie di validazioni e test attraverso casi di studio in alcune aree significative.

2 Obiettivo delle attività e risultati

Le attività del Sotto-Obiettivo d.1 hanno riguardato lo sviluppo e l'implementazione del DSS CIPCast, di tipo GIS-based, concepito come piattaforma per la sicurezza delle CI e con particolare riguardo al sistema elettrico ed alle sue vulnerabilità. Gli **obiettivi** nell'ambito PAR2018, in sintesi, erano mirati al completamento e/o all'approfondimento di specifiche attività definite e condotte nelle annualità precedenti; essi possono essere riassunti come di seguito:

- completamento ed estensione delle analisi di *risk assessment* e dei casi di studio correlati, per la valutazione degli impatti di eventi estremi sulle infrastrutture critiche, con particolare riguardo a quelle del sistema elettrico (Paragrafi 3.2 e 3.3);
- analisi dell'interdipendenza tra i sistemi di infrastrutture elettrico ed idrico, mediante la creazione di scenari di impatto e la valutazione delle performance idrauliche della rete acquedottistica in situazioni di emergenza (Paragrafo 3.4);
- valutazione della resilienza di un rete elettrica interconnessa e tassi di guasto; realizzazione prototipo simulatore RecSimPY (Paragrafo 3.5);
- inserimento nel DSS dei dati elaborati a partire da quelli sperimentali, prodotti dalla campagna condotta nel sotto-obiettivo d.2 (Paragrafo 3.6.1);
- completamento dell'interfacciamento funzionale del DSS con la Smart City Platform (SCP) (Paragrafo 3.6.2) e l'implementazione ed aggiornamento dell'interfaccia WebGIS del DSS CIPCast (Paragrafo 3.7).

Nell'ambito delle tematiche connesse all'analisi e la stima del rischio, inoltre, si sono efficacemente inserite le attività di ricerca e sviluppo tecnologico svolte in collaborazione con le Università co-beneficiarie:

- Università dell'Aquila, Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche (DSFC). Accordo di Collaborazione per attività di ricerca dal titolo: "Modellistica meteo-idrologica per la previsione del rischio e la valutazione degli impatti: casi di studio sulle infrastrutture elettriche del distretto urbano" (Referente: Prof. Marco Verdecchia).
- Università di Roma "Sapienza", Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica e Energetica (DIAEE). Accordo di Collaborazione per attività di ricerca dal titolo: "Modelli per la valutazione della resilienza del sistema elettrico soggetto a sollecitazioni multiple" (Referenti: Prof. Massimo Pompili ed Alberto Geri).
- Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile (DICIV). Accordo di Collaborazione per attività di ricerca dal titolo: "Valutazione degli impatti di scenari di funzionamento di una rete idrica in situazioni straordinarie di non funzionamento della rete elettrica" (referente: Prof.ssa Antonia Longobardi).

Considerando che il presente trimestre (PAR2018) si colloca alla fine del periodo complessivo di attività del Progetto e che esso ha visto il completamento o l'approfondimento di quanto definito ed implementato nelle precedenti annualità (PAR2015-2017), di seguito vengono riportati i **principali risultati ottenuti** nella loro interezza:

- Progettazione e sviluppo di una piattaforma DSS, di tipo spaziale, in modalità operativa/simulativa.
- Definizione Data Model ed Implementazione Banca Dati Geospaziale (GeoDatabase).
- Analisi di *risk forecast/assessment* (idrologico-meteorologico e sismico) per l'elaborazione di scenari di danno per le CI del distretto.

- Sviluppo funzionalità DSS per: gestione ed elaborazione dati geo-territoriali; acquisizione dati dal campo; elaborazione analisi spaziali.
- Valutazione della resilienza di una rete elettrica e tassi di guasto.
- Implementazione front-end WebGIS.
- Interazione con la piattaforma ICT per la gestione dello smart district.
- Realizzazione di un prototipo di Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) spaziale, per il monitoraggio e la sicurezza delle CI elettriche del Distretto.

3 Descrizione delle attività

3.1 La Piattaforma DSS CIPCast

Nel corso delle attività svolte nel trimestre del PAR2018, sono state completate, testate e rilasciate le funzionalità della Piattaforma DSS CIPCast, concordemente con quanto definito nelle fasi di studio e di implementazione, condotte nelle precedenti annualità (cfr. Report RdS/PAR2015/016, RdS/PAR2016/020 e RdS/PAR2017/061). CIPCast consente di valutare lo stato di rischio degli elementi delle CI in una determinata area d'interesse, utilizzando vari strumenti e tecnologie in maniera integrata (banche dati, modelli di simulazione esistenti e sviluppati ad-hoc, modellistica idro-meteorologica, etc.). Dal punto di vista simulativo, inoltre, il DSS dispone di moduli specifici, come l'applicativo CIPCast-ES (*Earthquake Simulator*), che costituisce il modulo di analisi del rischio sismico della Piattaforma DSS, ed il modulo RecSIM per la valutazione della resilienza di una rete elettrica interconnessa.

Nel complesso, grazie alle funzionalità implementate, è possibile effettuare una valutazione degli impatti sul sistema delle CI e stimare le eventuali conseguenze sulle CI stesse e sull'ambiente, sia partendo da dati di contesto reali, sia attraverso la predisposizione di scenari simulati.

Per raggiungere tali obiettivi, nel corso delle varie annualità progettuali, CIPCast è stato dotato di specifiche funzionalità (analisi rischio, valutazione resilienza, interdipendenze tra reti tecnologiche, etc.), in modo da avere una migliore capacità di supporto e di gestione delle situazioni (anche emergenziali) che riguardano uno o più sistemi di CI in un'area metropolitana.

3.2 Analisi di risk forecast/assessment

Un ruolo fondamentale è rivestito dalle analisi di *risk forecast/assessment*: tramite il loro sviluppo e la loro integrazione nella Piattaforma, è possibile valutare la probabilità attesa di danni a partire dagli effetti previsti di eventi naturali estremi (precipitazioni intense, esondazioni, terremoti etc.) e, quindi, stimare di quali potrebbero essere gli impatti sulle CI, tenendo presenti le specifiche vulnerabilità degli elementi di interesse. In tal senso, nel PAR2018 sono proseguite, approfondendole, le attività che hanno permesso l'integrazione nel DSS di strumenti per:

- l'analisi di rischio sui sistemi di CI del distretto (stima della vulnerabilità, valutazione del rischio correlato, modellistica meteorologica ed idrologica, etc.);
- la valutazione della fragilità fisica e funzionale, per analisi deterministiche di scenario a supporto dei gestori/operatori delle CI;
- l'elaborazione di scenari di danno e la valutazione delle azioni per l'incremento della resilienza.

In questo contesto, inoltre, si sono efficacemente inserite le attività di ricerca e sviluppo tecnologico svolte in collaborazione con le Università co-beneficiarie, successivamente descritte.

3.2.1 Modellistica meteo-idrologica per la previsione del rischio e la valutazione degli impatti: casi di studio sulle infrastrutture elettriche del distretto urbano

Per quanto riguarda l'utilizzo di modellistica meteo-idrologica per la valutazione e la previsione del rischio e degli impatti sulle CI presenti nell'area di interesse, sono proseguite le attività in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche (DSFC) dell'Università degli Studi dell'Aquila (Report RdS/PAR2018/032). Esse si sono incentrate prevalentemente sulla simulazione di casi studio utilizzando i modelli e gli strumenti di analisi sviluppati nelle annualità precedenti del progetto. I casi studio sono stati

selezionati sulla base delle situazioni critiche che si sono effettivamente registrate negli ultimi anni e che hanno comportato specifiche problematiche per elementi delle CI elettriche.

In totale sono stati analizzati 12 casi studio (cfr. Report RdS/PAR2018/032) e tutti, tranne uno, sono caratterizzati da uno scenario di precipitazioni intense che hanno riguardato il bacino del Tevere ed i principali affluenti di questo. I casi sono inoltre rappresentativi di diverse situazioni stagionali e, conseguentemente, di diverse condizioni meteorologiche generali. L'obiettivo era di valutare l'efficacia e utilità della simulazione idrologica e, soprattutto, la sintetica visualizzazione delle situazioni di allarme previste, qualora prodotte in una situazione operativa. Per ognuno dei casi studio, a valle della simulazione sono stati generati gli stessi prodotti e le stesse visualizzazioni che sono generati quotidianamente durante le attività operative (cfr. Report RdS/PAR2017/061 e RdS/PAR2017/063). Nel dettaglio:

- Sequenza delle mappe di precipitazione per 24 ore a risoluzione oraria;
- Sequenze delle mappe dell'indice BDD (Best Discharge-based Drainage alarm index) per 24 ore a risoluzione oraria;
- Sequenze delle mappe dell'indice CAI (CHyM Alarm Index) per 24 ore a risoluzione oraria;

Tutti i file di output del modello sono in formato NetCDF e vengono acquisiti automaticamente per essere inseriti all'interno della Piattaforma DSS ed essere visualizzabili e fruibili mediante l'interfaccia WebGIS di CIPCast. Il CAI rappresenta la precipitazione media drenata da un elemento della rete idrografica e viene calcolato considerando un intervallo di tempo pari al tempo di corruzione a monte dell'elemento in questione. Il BDD rappresenta, di fatto, l'indice di allarme che misura il rapporto tra il valore massimo della portata in un certo tratto della rete idrografica, e le dimensioni trasversali del fiume in quel dato punto. Individua, perciò, i valori critici della portata per ogni elemento della rete idrografica sottoposta a drenaggio. Proprio quest'ultimo è il più adatto all'uso operativo, perché equivale al flusso di precipitazione, preso in carico dal corso d'acqua, attraverso la sezione considerata (Verdecchia, 2018). Dunque, può esprimere e comunicare al meglio una qualsiasi situazione di allarme o di minaccia in grado di incidere gravemente sugli elementi circostanti al tratto soggetto al contesto critico.

Sono state, inoltre, prodotte per ciascun evento simulato una serie di tabelle con gli indici BDD e CAI di allarme specializzati per i siti delle Cabine Primarie (CP) della rete a Media Tensione (MT) di Areti ricadenti in aree a rischio dal punto di vista idraulico. Le tabelle di allerta, per entrambi gli indici di allarme, riportano il valore numerico dell'indice per ogni ora e per ogni sito dove è localizzata la cabina. Gli elementi della tabella si colorano in giallo ed in rosso quando il BDD ed il CAI superano rispettivamente i valori di 6-11 m/ora e di 60-90 m/ora. Per il dettaglio sulle analisi dei casi studio più significativi per la valutazione complessiva della performance del modello CHyM e del sistema di allerta integrato in CIPCast, si rimanda al Report RdS/PAR2018/032 a cura del DSFC. L'analisi di diversi casi studio ha mostrato come l'approccio proposto sia in grado di evidenziare quali tra le CP di Areti potrà essere soggetta a situazioni particolarmente critiche dal punto di vista delle condizioni idrologiche: in tal senso, la procedura che integra gli output modello CHyM dell'Università dell'Aquila (Report RdS/PAR2016/022, RdS/PAR2017/063) in CIPCast si dimostra in grado di prevedere situazioni critiche sia per eventi meteorologici caratterizzati da persistenti precipitazioni, sia per situazioni dominate da piogge intense ma molto localizzate.

Sempre nell'ottica di una validazione del suddetto approccio, è stato definito da ENEA un ulteriore caso di studio, nel quale è stata presa in considerazione una situazione realmente accaduta e documentata sui media, verificatasi durante il trimestre di attività del PAR2018. La differenza rispetto ai 12 casi di studio precedentemente citati era quello di validare il flusso operativo di CIPCast, partendo dalle previsioni in tempo reale generate dal modello CHyM fino allo scenario previsto sulle CI di interesse. A tal fine, sono stati presi in considerazione gli eventi meteorici abbondanti e molto intensi avvenuti nei giorni 28-29 ottobre 2018, particolarmente rilevanti nell'area del Lazio e in altre regioni dell'Italia centrale. La Protezione Civile, nelle sue facoltà, aveva diramato l'allerta in buona parte della Penisola. Sulla base di

quanto accaduto nella giornata di domenica 28 ottobre 2018 e dei fenomeni previsti per il giorno successivo, è stata diramata l'allerta per le Regioni del quadrante nord-est e per quelle dell'Italia Centrale.

La Protezione Civile dispone di una serie di dati ed informazioni utili alla previsione del rischio meteorologico. A tal fine, viene giornalmente emanato il Bollettino di criticità nazionale/allerta, che segnala la valutazione dei livelli di criticità/allerta idraulica, per temporali e idrogeologica mediamente attesi fino alle 24.00 del giorno di emissione e nelle 24 ore del giorno seguente nelle 156 zone di allerta in cui è suddiviso il territorio italiano¹. Il livello di allerta è stabilito dalle Regioni/Province Autonome, cooperando con il Dipartimento della Protezione Civile, tramite un sistema di soglie di riferimento corrispondente a scenari d'evento predefiniti articolati su tre livelli di ordinaria (rappresentati dal giallo), moderata (arancione) ed elevata criticità (rosso), oltre al verde che rappresenta l'assenza di allerta. Con l'allerta arancione si possono verificare danni ad edifici, centri abitati, ad argini e ponti, oppure una spiccata erosione delle sponde, l'inondazione delle aree golenali, fino a voragini e frane. Con l'allerta rossa, invece, si possono verificare inondazioni di aree anche lontane dal corso d'acqua, rotture degli argini e cedimenti dei ponti, oppure frane profonde o variazioni del corso del fiume. La situazione² per i giorni 28 e 29 ottobre 2018, dunque, era quella rappresentata nella Figura 1.

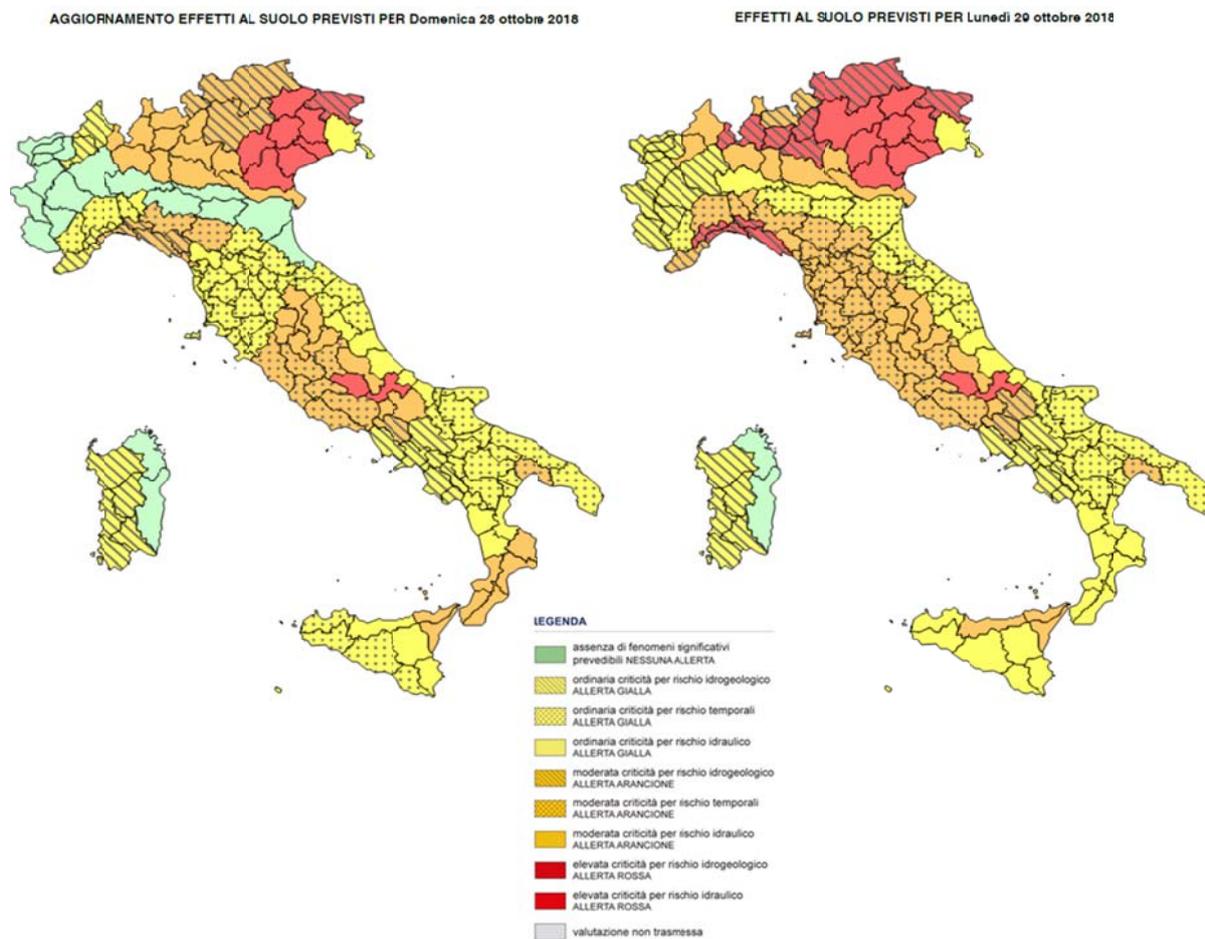


Figura 1. Bollettino di criticità nazionale/allerta del 28-29/10/2018 (Fonte: Protezione Civile)

¹ http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/bollettini_di_criticita.wp

² Bollettino di criticità del 28 e 29 ottobre 2018:
http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_bcr.wp?day=oggi&contentId=BCR70858

Date queste previsioni potenzialmente critiche per la popolazione e per le varie infrastrutture sul territorio, i vari Comuni italiani delle Regioni e delle Province interessate hanno disposto la chiusura delle scuole di ogni ordine e grado per le giornate di lunedì 29 ottobre e martedì 30 ottobre 2018. Grazie alle previsioni ed all'allerta, i danni alle persone per le giornate in questione sono stati, probabilmente, minimizzati.

Le mappe di tali bollettini sono automaticamente acquisite dalla piattaforma DSS e rese consultabili tramite l'interfaccia WebGIS di CIPCast. Allo stesso tempo, la piattaforma CIPCast consente la sovrapposizione spaziale GIS di tali mappe di allerta con tutti gli altri vari strati informativi presenti nel GeoDatabase. Tra questi, come detto in precedenza, vi sono anche gli output del modello CHyM (dati di previsione per le successive 24 ore di: precipitazioni, CAI e BDD). Come descritto in precedenza, tali output vengono automaticamente acquisiti e resi disponibili nella piattaforma CIPCast, ai fini del monitoraggio e dell'analisi del rischio sulle CI nell'area di interesse. I suddetti dati sono generati quotidianamente dal modello CHyM nelle primissime ore della stessa giornata: per ogni indice di allarme, vengono creati 24 strati informativi (layer), uno per ogni ora.

Date queste premesse fondamentali, nell'ottica della validazione della piattaforma CIPCast e dello stesso modello precedentemente descritto, è stata utilizzata la previsione prodotta dal modello CHyM relativamente alle giornate del 28 (Figura 2) e del 29 ottobre 2018. Si sottolinea che gli eventi più rilevanti si sono verificati a partire dalla mattina di domenica 28 ottobre, sono proseguiti nella notte successiva, per concludersi nella serata del 29.

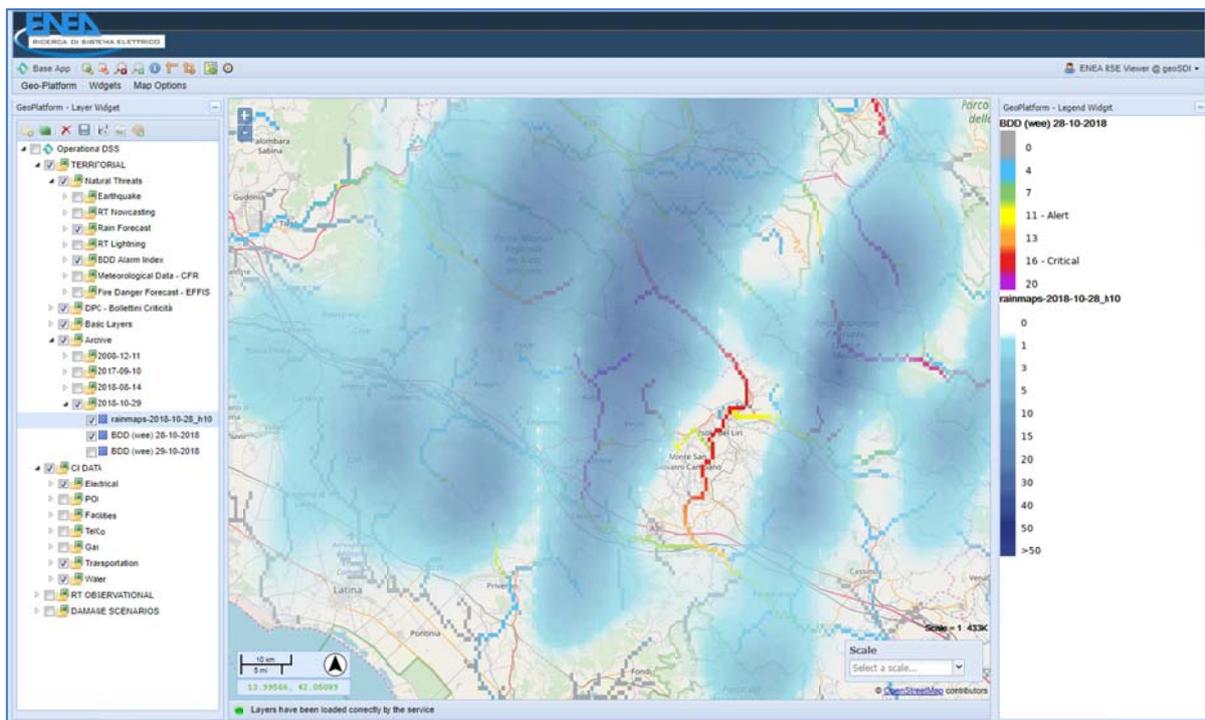


Figura 2. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS di CIPCast del dato previsionale (prodotto dal modello CHyM) delle precipitazioni orarie e dell'indice BDD. Previsione per il 28 Ottobre 2018

Si può osservare come lo scenario peggiore sia riscontrabile per alcuni tratti dei corsi d'acqua di bacini medio-piccoli del Lazio, corrispondenti all'area della Ciociaria, e per quelli delle aree abruzzesi vicine al confine laziale (Figura 3). La situazione per gli altri fiumi del Lazio, compreso il Tevere, e per altri corsi d'acqua del Centro Italia, al contrario, era comunque nella norma o leggermente al di sotto della soglia di

attenzione. I fiumi interessati, di fatto, erano caratterizzati da una portata idrica maggiore, a dispetto delle dimensioni trasversali del loro alveo e della capacità di drenaggio del loro bacino idrografico.

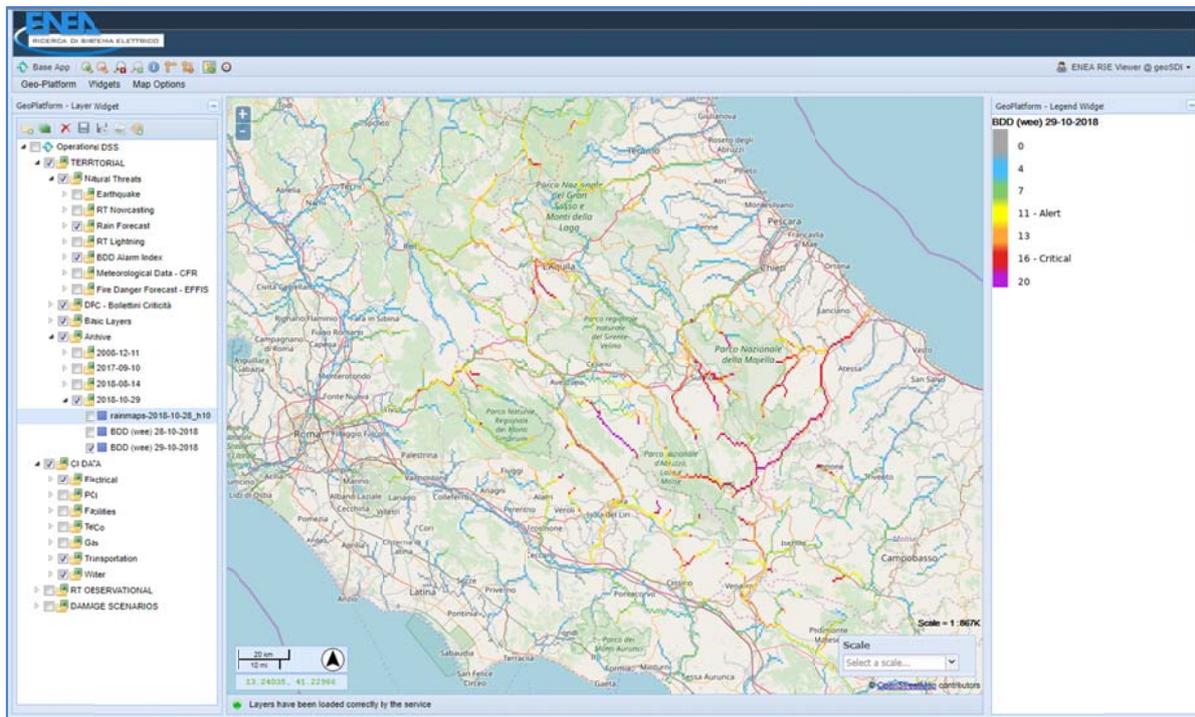


Figura 3. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS di CIPCast del dato previsionale (prodotto dal modello CHyM) dell'indice BDD. Previsione per il 29 Ottobre 2018

Riguardo l'utilizzo degli indici in questione, è importante sottolineare il fatto che la loro mappatura ha un valore aggiunto rispetto alle sole mappe di precipitazioni previste, in quanto si possono osservare tratti fluviali particolarmente critici in corrispondenza di zone geografiche non interessate direttamente (o solo parzialmente) dagli eventi meteorici più intensi. Infatti, il corso d'acqua può essere stato alimentato da precipitazioni avvenute lontano dal punto critico ma che, con l'aumentare del deflusso (magari anche in seguito alla confluenza di affluenti) o con una diversa conformazione dell'alveo, possono causare conseguenze dannose, anche laddove le precipitazioni non hanno inciso in maniera rilevante in quel determinato settore.

La fase successiva di questo caso di studio ha riguardato un lavoro di validazione delle summenzionate previsioni, effettuando una ricerca sul web (ad esempio, sui siti Internet di giornali locali dell'area tra Lazio ed Abruzzo, ossia la più critica) e sui social network, per reperire cercare notizie di eventi alluvionali ed esondazioni che avessero comportato un qualsiasi effetto dannoso a manufatti e/o persone nell'area circostante. Sono state, quindi, recuperate tutte le comunicazioni e le segnalazioni che erano pertinenti geograficamente ai vari bacini idrografici con la situazione più critica.

Terminata la fase di raccolta delle notizie, gli eventi accaduti nell'area di indagine durante i giorni suddetti, sono stati registrati e geolocalizzati direttamente sul territorio e trasformati in uno strato informativo GIS vettoriale puntiforme comprensivo di 29 eventi documentati (Figura 4). Lo strato informativo in questione è caratterizzato da alcuni campi che forniscono informazioni specifiche, tra cui l'URL del sito web a cui fa riferimento la notizia, le coordinate geografiche, la città, la località dove ricade il punto (ove presente) e la tipologia di effetto/danno causato.

Dalla valutazione dei risultati ottenuti e da questa fase di post-analisi degli stessi, emerge come tale approccio basato sul modello CHyM, seppur soggetto a semplificazioni nella modellazione e ad inevitabili approssimazioni, si dimostri efficace per gli scopi operativi di valutazione di massima di una possibile criticità idrologica. Infatti, esso mostra una sua validità e coerenza con la realtà, dal momento che è riuscito

a prevedere, tramite i propri indici di allarme BDD e CAI, situazioni di criticità in corrispondenza di tratti dove concretamente sono stati registrati danni o si sono raggiunte soglie di criticità. Il risultato, dunque, conferma nuovamente (come già evidenziato coi 12 casi di studio condotti dal DSFC e descritti nel Report RdS/PAR2018/032) come il sistema sviluppato può essere effettivamente in grado di generare un'efficace allerta anticipatamente ed evidenziare i segmenti della rete drenante sottoposti ad un maggiore stress (Figura 5), nonché gli elementi delle CI in situazione di possibile rischio idrologico o idraulico.

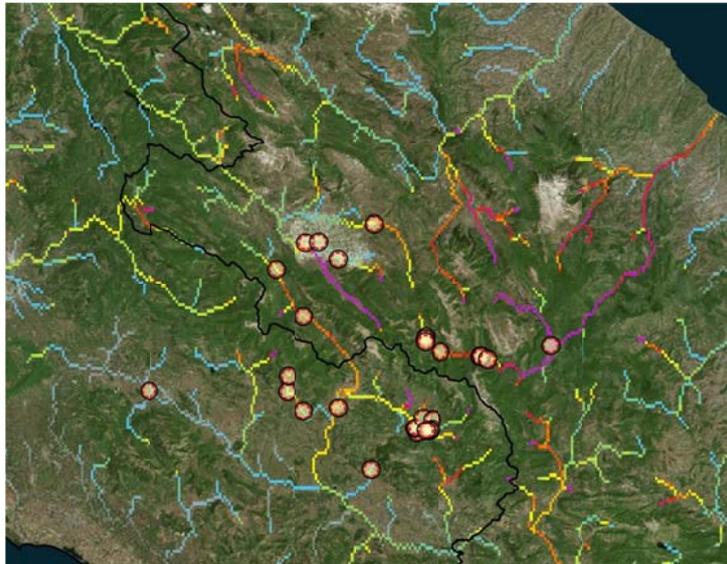


Figura 4. Eventi alluvionali ed esondazioni su base cartografica satellitare.

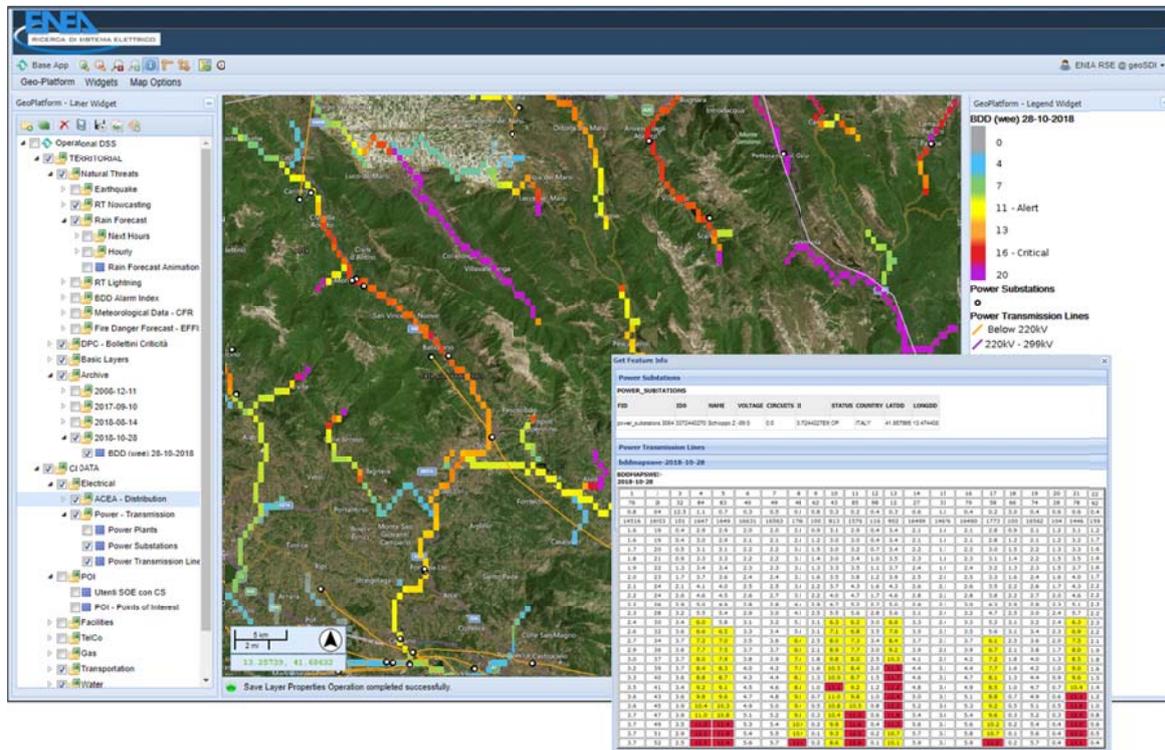


Figura 5. Visualizzazione della situazione di allarme idrologico prevista per l'evento del 29 Ottobre 2018 in relazione agli elementi della rete elettrica considerati

3.2.2 Modelli per la valutazione della resilienza del sistema elettrico soggetto a sollecitazioni multiple

Sempre in riferimento alle analisi di *risk assessment* sulle CI del distretto, nel corso del PAR2018 sono proseguite le attività in collaborazione col Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica e Energetica (DIAEE) dell'Università di Roma "Sapienza".

Nel corso del PAR2018 sono state completate le attività di definizione e sviluppo di modelli per la valutazione della resilienza dei sistemi di distribuzione e trasmissione elettrica soggetti a sollecitazioni multiple, con particolare attenzione agli eventi sismici e alle ondate di calore, concordemente con quanto avviato e definito nel corso dei precedenti Piani Annuali di Realizzazione (Report RdS/PAR2018/033, "Modelli per la valutazione della resilienza del sistema elettrico soggetto a sollecitazioni multiple").

L'affidabilità degli approcci e dei modelli proposti per la valutazione del danno indotto da eventi sismici su componenti critiche del sistema di distribuzione di media tensione (MT) è stata verificata grazie alle informazioni raccolte presso alcuni dei principali distributori elettrici italiani, anche con riferimento al caso studio della sequenza sismica dell'Italia Centrale 2016-2017.

Dall'elaborazione di tali informazioni sono state evinte alcune importanti considerazioni. Innanzitutto, per quanto riguarda la tassonomia adottata, si è notata la necessità di integrare quella già proposta in precedenza (cfr. Report RdS/PAR2017/061 e RdS/PAR2017/064) con nuovi elementi peculiari delle reti di distribuzione dell'energia elettrica di media tensione (MT) e di bassa tensione (BT) in Italia, soprattutto in funzione della loro vulnerabilità alle sollecitazioni sismiche, per il particolare caso studio analizzato. Per elementi puntuali, quali generatori e sottostazioni primarie e secondarie, si è proposto tenere in considerazione la tipologia e il materiale di costruzione (ad esempio, telai in cemento armato con tamponature, edifici in muratura non rinforzata, cabine in acciaio, etc.) e le caratteristiche geometriche (ad esempio l'altezza), che possono essere alquanto variabili (si veda a titolo di esempio in Figura 6 la varietà tipologica delle cabine secondarie nella rete di MT).

Inoltre, la tassonomia precedentemente adottata considerava solo gli elementi principali comuni a una rete MT, ma trascurava sotto-elementi propri delle dorsali MT, quali ad esempio l'interruttore di manovra sezionatore (IMS) e i posti di trasformazione su palo (PTP). I PTP sono impiegati nella distribuzione rurale o montana (e infatti sono presenti nel caso studio analizzato nel Report RdS/PAR2018/033 del DIAEE) o in utenze territorialmente isolate (quali cantieri, illuminazione di gallerie autostradali, elettropompe, etc.).

Per quanto riguarda, invece, la previsione del danno indotto da sisma, le evidenze raccolte sul danneggiamento della cabina primaria e delle cabine secondarie nel caso studio analizzato nel summenzionato Report, hanno permesso di valutare l'affidabilità del modello macrosismico implementato attualmente in CIPCast per la stima del danno agli edifici ospitanti cabine primarie e secondarie, con qualche minima sottostima in alcuni casi. Ciò emerge anche dal confronto con il modello simile implementato in HAZUS (piattaforma utilizzata in USA per l'analisi del rischio indotto da fenomeni *multi-hazard* su edifici e infrastrutture critiche) per la stima del danno agli edifici ospitanti cabine primarie e secondarie.

Sempre dall'analisi dei dati raccolti presso i distributori elettrici, è stato possibile valutare le "buone pratiche" (e.g., ancoraggio di componenti potenzialmente sensibili a spostamento e ribaltamento, adeguamento sismico degli edifici e di altri componenti della rete secondo la normativa più avanzata), che permettono di aumentare in modo significativo il grado di resilienza di una rete elettrica di distribuzione. Ciò permetterà, nel futuro, di rendere ancor più performante la piattaforma CIPCast.

3.3 Sistema per la geolocalizzazione di modelli semantici di rischio

Il metodo di identificazione dei rischi, sviluppato all'interno della piattaforma CIPCast, ha l'obiettivo di fornire supporto nelle fasi di preparazione e pianificazione dell'emergenza permettendo di geolocalizzare i possibili rischi sui punti di interesse. Per la città di Roma, ad esempio, ad oggi sono stati identificati circa 4000 punti di interesse tra cui musei, palazzi governativi e luoghi di attrazione. Ogni punto di interesse è stato annotato semanticamente con i concetti di TERMINUS (Coletti et al., 2018-b), un'ontologia di dominio sviluppata da ENEA per concettualizzare gli scenari di rischio, le infrastrutture ed il territorio. CIPCast opera congiuntamente al sistema CREAM (CREativity Machine) (De Nicola et al. 2018) (De Nicola et al. 2019) che, basandosi su tecniche semantiche e di creatività computazionale, permette di generare, per ogni punto di interesse, i tipi di impatto possibili dovuti ad eventi franosi, terremoti e alluvioni.

In questo paragrafo si presentano i risultati di un'attività di validazione dei rischi generati da CREAM riguardanti i punti di interesse in due aree differenti della città metropolitana di Roma. In primo luogo, si studia l'area di Ponte Milvio, in quanto rappresentativa del centro di Roma e per la quale è maggiormente significativa l'analisi del rischio dovuto ad eventi alluvionali. In secondo luogo si studia l'area dei Colli Albani, rappresentativa delle zone periferiche di Roma e per la quale è maggiormente significativa l'analisi del rischio dovuto ad eventi sismici. La validazione dei risultati discute, in particolare, la rilevanza dei rischi generati.

Per dimostrare l'efficacia dell'integrazione tra le piattaforme CIPCast e WS-CREAM, è stato definito ed applicato un caso di studio relativo alla città di Roma. A questo scopo, è stato considerato lo strato informativo dei "Point Of Interest" (POI) geolocalizzati nel Comune di Roma e nella sua Città metropolitana Roma (descritto in dettaglio nel Report RdS/PAR2017/061, al quale si rimanda). Sempre nel predetto Report è stato descritto il data model definito per la classe **POI** (nome, geometria GIS, categoria, valore di rilevanza che tiene conto della criticità intrinseca del POI, vulnerabilità e tre valori di rischio idrogeologico, sismico e franoso associati all'area in cui si trova il POI).

Nella costruzione dell'ontologia, i vari concetti che sono stati presi in considerazione e modellati, ossia *Hazard*, *Critical_system_of_service*, *Functional_vulnerability*, *System_service* e *Stakeholder*, definiti nel Report RdS/PAR2017/061, sono stati ulteriormente specializzati seguendo la metodologia di ontology engineering UPON lite [13]. In primo luogo è stata sviluppata la tassonomia degli Hazard (Figura 6). In particolare, tra gli **Hazard**, sono stati presi in considerazione per il caso di studio tre principali eventi naturali: frane (i.e. *Landslide*), terremoti (i.e. *Earthquake*) ed alluvioni (i.e. *Flood*), con i quali è stato sviluppato il caso di studio.

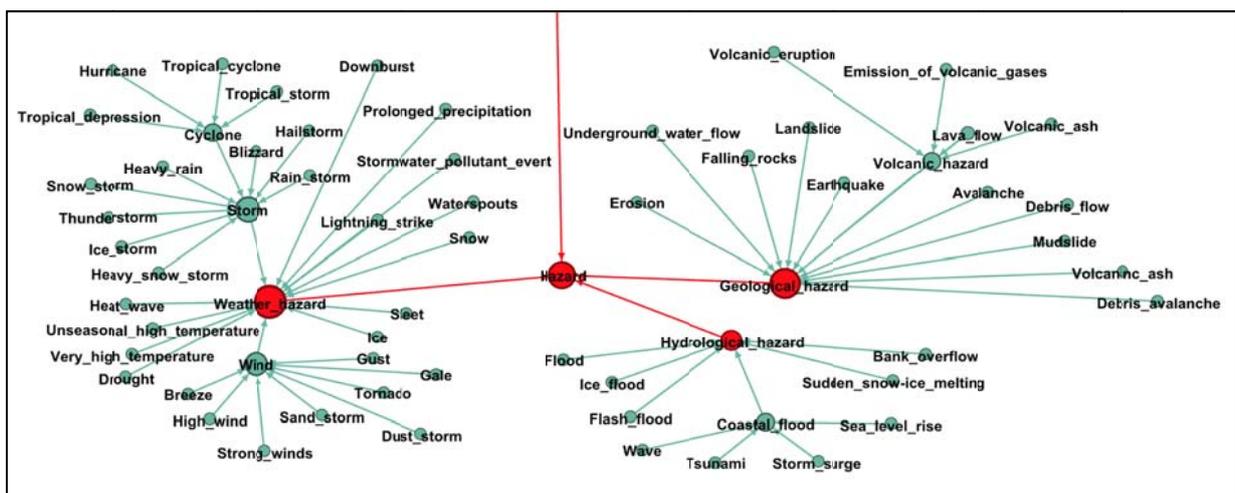


Figura 6. Estratto dall'ontologia TERMINUS che mostra un frammento della tassonomia relativa al concetto *Hazard*.

I **Critical_event_of_system**, invece, rappresentano l'insieme delle problematiche, dei danni e degli impatti che possono colpire sia la struttura fisica, sia la comunità che usufruisce, gestisce o detiene qualsiasi interesse relativamente ad ogni POI considerato. Innanzitutto, ogni impatto è stato associato al relativo evento naturale che può avere un impatto differente. Quindi, ogni **Critical_event_of_system** è stato categorizzato a secondo della tipologia di possibile impatto che produce, generando 6 macro-categorie: *management, inabilities, damages, losses, consequences* e *regeneration*. Infine, ad ogni tipo di evento critico è stata associata UNA **rilevanza**, ovvero la sua criticità nella situazione ipotizzata, adottando tre livelli: *basso, medio* ed *alto* (Report RdS/PAR2017/061). In aggiunta a questo, gli impatti sono stati suddivisi a seconda della tipologia di utente, come ad esempio, il gestore che usufruisce di quel servizio (**Stakeholder**). Il concetto di **Functional_vulnerability**, invece, esprime la causa intrinseca della suscettibilità ai rischi degli aspetti funzionali di un servizio. Per quanto riguarda la **vulnerabilità strutturale**, essa tiene in considerazione le singole caratteristiche di ciascun POI (per un edificio, ad esempio: il materiale di costruzione, l'età dell'edificio, la composizione costruttiva e strutturale, il volume dell'oggetto, la sua altezza, il numero dei piani, la qualità e la frequenza dei possibili interventi di manutenzione sullo stesso). Le vulnerabilità strutturali sono state associate ad un livello critico alto, dal momento che, potenzialmente, possono causare danni ingenti. Infine, il concetto **System_service** rappresenta gli stessi POI evidenziando il servizio che essi sono in grado di fornire.

3.3.1 Caso di studio: analisi del rischio in due aree della città metropolitana di Roma

Questo caso di studio riguarda l'analisi qualitativa del rischio relativo a due aree della città metropolitana di Roma: l'area limitrofa a Ponte Milvio, nel centro di Roma e sulle sponde del fiume Tevere, e l'area dei Colli Albani, sulle colline a sud-est di Roma. Come già menzionato, per queste due aree, sono stati identificati i punti di interesse.

La prima area studiata per l'analisi del rischio è quella di Ponte Milvio. Considerando la morfologia dell'area e la sua prossimità col fiume Tevere, lo studio ha riguardato gli eventi alluvionali che storicamente l'hanno interessato. I punti di interesse localizzati in quest'area (Figura 7) si trovano all'interno di edifici e tra questi ci sono strutture sanitarie o edifici strategici. Altri, invece, sono particolarmente rilevanti per l'elevata frequentazione (lo Stadio Olimpico, l'Auditorium Parco della Musica, il Palazzetto dello Sport e l'Università di Roma IUSM). Tra i punti di interesse non localizzati all'interno di edifici ci sono le elettriche. La loro distribuzione spaziale sul territorio è omogenea.

La seconda area considerata per l'analisi del rischio è quella dei Colli Albani. Essa include una porzione di territorio tra i laghi di Albano e di Nemi. In tale area si sono verificati nel corso del tempo numerosi eventi sismici, alcuni dei quali di intensità medio-forte.

Nel seguito presentiamo due *risk mini-model* (Report RdS/PAR2017/061) rispettivamente per l'area di Ponte Milvio e per quella di Colli Albani. Queste aree sono state scelte consultando degli esperti della Protezione Civile, in quanto rappresentative delle aree coi *risk mini-model* più rilevanti. Ogni *risk mini-model* è seguito da una descrizione fornita dagli esperti consultati nella forma di una "storia" immaginata possibile o di un report di una situazione accaduta. Lo scopo è fornire un'interpretazione del rischio basata sullo specifico contesto di riferimento. Il metodo si basa sull'approccio per stimolare la creatività degli esperti presentato in (De Nicola et al., 2019).

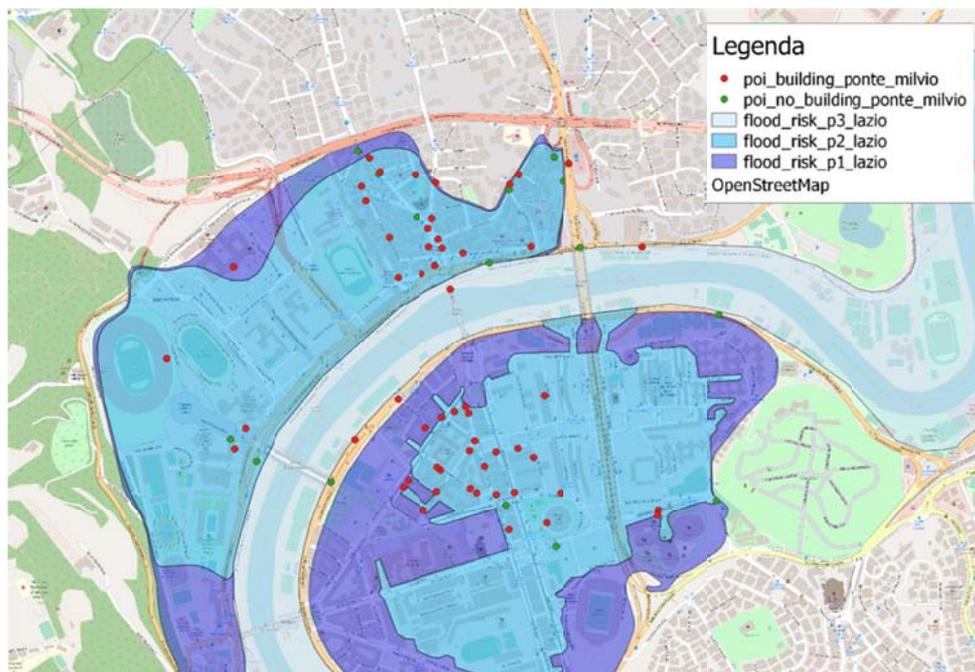


Figura 7. Punti di interesse localizzati per l'area di Ponte Milvio

Ponte Milvio risk mini model
<i>Functional_vulnerability: People_inside</i>
<i>System_service: Nightlife</i>
<i>Critical_event_of_system: Health_and_physical_consequences</i>
<i>Stakeholder: Unspecified_person</i>
<i>Hazard: Flood</i>
Descrizione
Un'inondazione avviene nel centro di Roma. Essa colpisce un locale molto popolare dell'area quando questo stava registrando il tutto esaurito. L'acqua causa danni fisici ingenti al locale e molti feriti. Infatti, il panico generato dall'evento causa tafferugli dovuti alla fretta di uscire dalla struttura.

Colli Albani risk mini-model
<i>Functional_vulnerability: Presence_of_electric_elements_potentially_dangerous</i>
<i>System_service: Doctor</i>
<i>Critical_event_of_system: Economic_damage</i>
<i>Stakeholder: Manager</i>
<i>Hazard: Earthquake</i>
Descrizione
Sono le 9:00 del mattino di un giorno feriale. La sala di attesa dello studio medico è piena come al solito di pazienti, segretarie, medici ed infermieri. Alle 9:15 un forte terremoto causa la rottura di alcuni macchinari e strumenti elettronici che cominciano a cadere sui pazienti. Ulteriore panico è generato dalla grande luce al neon sul soffitto che cade sopra le persone causando qualche ferito. Qualche minuto dopo viene evacuato lo studio ma il caos generale provoca danni ingenti alla strumentazione elettronica e specialistica, ai computer, alle stampanti, al pannello elettrico ed alla luce. Perciò i danni allo studio sono anche di tipo economico.

Di seguito si presenta l'analisi dei risultati dopo la validazione, da parte degli esperti, dei *risk mini-model* generati da WS-CREAM. La Tabella 1 mostra il numero di *risk mini-model* plausibili e rilevanti rispetto al numero complessivo di *risk mini-model* generati. Essa mostra che, per le due aree considerate, la percentuale generata di *risk mini-model* rilevanti è rispettivamente il 37.8% ed il 53.9%.

Tabella 1. Numero di tipi di *risk mini-model* plausibili e rilevanti generati in accordo all'expert's judgment. Questa analisi considera il tipo di system service.

Area	Tipi di <i>risk mini-model</i> rilevanti	Tipi di <i>risk mini-model</i> totali	Percentuale di tipi di <i>risk mini-model</i> rilevanti
Ponte Milvio	431	1141	37.8%
Colli Albani	534	991	53.9%

La Tabella 2 mostra il grado di rilevanza delle istanze dei *risk mini-model* generati in accordo all'expert judgment. Si può notare che i numeri sono più alti rispetto a quelli presentati nella tabella precedente in quanto, in questo caso, questi numeri si riferiscono alle istanze di POI. Ad esempio, ci potrebbe essere più di una struttura sanitaria nell'area selezionata.

Tabella 2. Grado di rilevanza dei *risk mini-model* generati per POI in accordo all'expert judgment. Questa analisi considera i differenti POI (ci potrebbe essere più istanze di POI per ogni tipo di system service).

Area	Numero di <i>risk mini-model</i> rilevanti	Rilevanza alta	Rilevanza media	Rilevanza bassa
Ponte Milvio	827	124 (14.99%)	431 (52.12%)	272 (32.89%)
Colli Albani	809	343 (42.39%)	162 (20.02%)	304 (37.58%)

La Tabella 3 mostra il grado di rilevanza dei *risk mini-model* generati in accordo al ranking prodotto da WS-CREAM.

Tabella 3. Grado di rilevanza dei *risk mini-model* generati (per POI) in accordo al ranking prodotto da WS-CREAM. Quest'analisi considera i POI differenti (ci potrebbero essere più istanze di POI per ogni tipo di system service).

Area	Numero di <i>risk mini-model</i> rilevanti	Rilevanza alta	Rilevanza media	Rilevanza bassa
Ponte Milvio	2122	1180 (55.61%)	942 (44.39%)	0 (0%)
Colli Albani	1472	0 (0%)	1320 (89.67%)	152 (10.33%)

Confrontando, quindi, il livello di rilevanza assegnato dagli esperti ai *risk mini-model* con quello assegnato automaticamente da WS-CREAM, si è osservato che il giudizio dell'esperto e quello assegnato automaticamente dal software sono stati in accordo per 210 volte su 809 *risk mini-model* (25.96%) nel caso dell'area di Colli Albani e per 373 su 827 *risk mini-model* nel caso dell'area di Ponte Milvio (45.1%).

Infine, la Figura 8 e la Figura 9 mostrano rispettivamente l'interfaccia di CIPCast con i *risk mini-model* generati automaticamente da WS-CREAM per i punti di interesse "doctor" nel caso di "flooding" per la zona di Ponte Milvio e di "earthquake" per la zona dei Colli Albani.

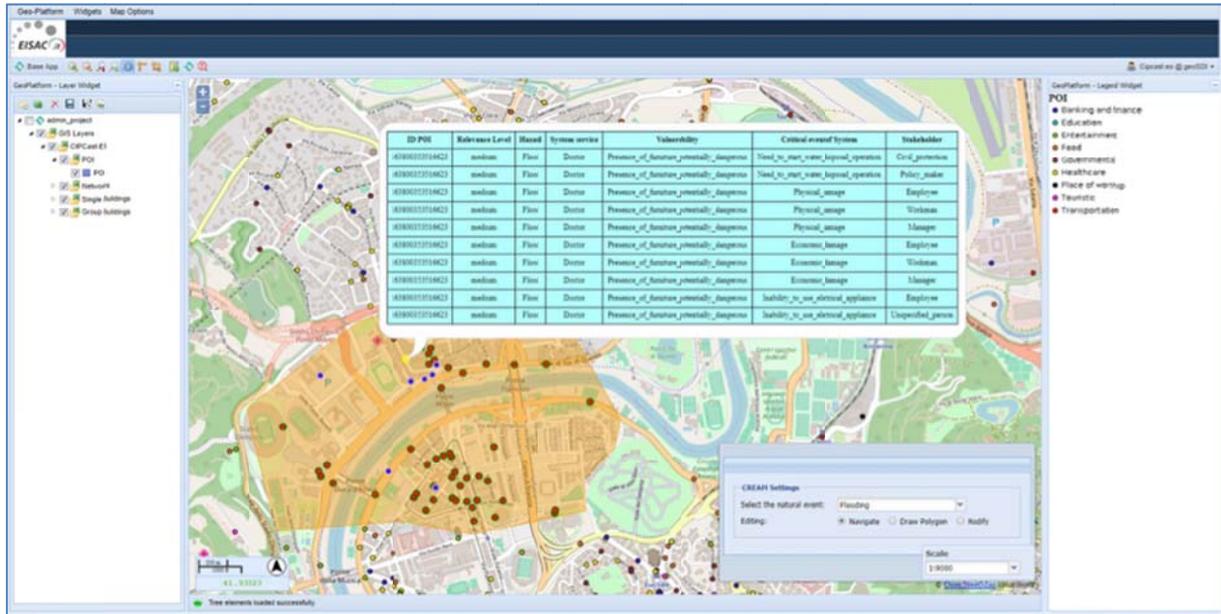


Figura 8. Risk mini-model nel caso di inondazione associati ai POI localizzati nell'area di Ponte Milvio

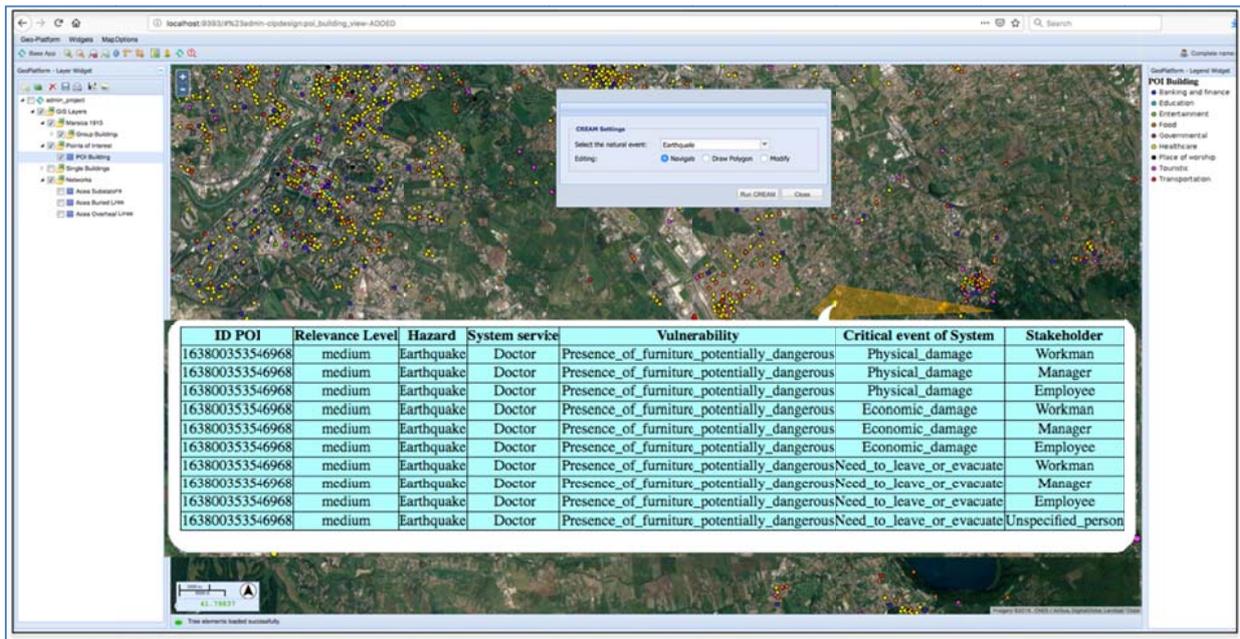


Figura 9. Risk mini-model nel caso di terremoto associati ai POI localizzati nell'area dei Colli Albani

3.4 Valutazione degli impatti di scenari di funzionamento di una rete idrica in situazioni straordinarie di non funzionamento della rete elettrica

Nella valutazione del rischio delle CI del distretto, pertanto, è stata presa in considerazione l'interdipendenza tra diversi sistemi, 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 all'interruzione del servizio elettrico, dal quale la rete di distribuzione è dipendente in relazione al funzionamento di alcuni manufatti speciali. Questa attività è stata condotta in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile (DICIV) dell'Università di Salerno (Report RdS/PAR2018/034). Essa si basa su quella avviata nel PAR2017 (cfr. Report RdS/PAR2017/066).

Un aspetto rilevante nello studio delle interdipendenze tra sistemi infrastrutturali quali le reti elettriche e quelle idriche è la valutazione dell'impatto sulla popolazione del malfunzionamento della rete idrica a seguito di rotture che possono occorrere in caso di un evento sismico ovvero alla interruzione del servizio elettrico, dal quale la rete acquedottistica è dipendente. Questo è stato l'obiettivo dell'attività corrente che è partita dai risultati riportati nel sopracitato Report, ovvero dall'identificazione e caratterizzazione del caso di studio della rete adduttrice e di distribuzione del Peschiera-Capore, che serve la città di Roma. Per questa rete, era stato costruito il modello idraulico mediante l'utilizzo del software GIS-based *Innovize-Infowater*, attraverso una raccolta dati relativi alle caratteristiche strutturali ed idrauliche e alle relative sollecitazioni in termini di domanda idrica, nonché agli elementi interconnessi al funzionamento della linea elettrica. In aggiunta erano stati definiti 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, sono stati selezionati un numero di 7 scenari di malfunzionamento della rete idraulica ed elettrica (numerati come scenari 5,6,7,9,10,11,12, cfr. Report RdS/PAR2018/034) rappresentativi delle situazioni di maggiore criticità per la municipalità servita. Questi scenari prevedono, singolarmente o 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.

In particolare, rispetto alla prestazione del servizio idrico in area urbana, gli scenari legati al 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 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 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.

I risultati delle simulazioni idrauliche sono stati quindi tradotti in termini di severità e quindi di impatto sulla popolazione servita, mediante mappe tematiche (Figura 1 a-h), generate con l'ausilio della piattaforma GIS ESRI-ArcGIS nelle quali, per ciascuno scenario, sono identificate le aree della municipalità esposte a maggiori criticità rispetto alla erogazione del servizio. Le mappe tematiche sono illustrate attraverso la seguente legenda "criticità del servizio" (Tabella 4).

Tabella 4. Livelli di criticità nel servizio idrico

Livello criticità	Colore	Significato
Bassa	Verde	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	Giallo	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	Arancione	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	Rosso	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.

Dalle mappe elaborate si evince che lo scenario 5 (Figura 10-a) risulta quello il cui livello di impatti sulla popolazione è minore in confronto ai rimanenti. Gli impatti relativi agli scenari 6 e 7 (Figura 10-b-c), associati alle minori erogazioni possibile, sono praticamente equivalenti. Piuttosto severi ed estesi sono gli impatti relativi allo scenario 9 (Figura 10-d) 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 10-e) 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. In termini di impatti, gli scenari 11 e 12 (Figura 10-f-g) presentano una similitudine rispetto agli scenari 6 e 7, così come anche descritto nelle analisi di affidabilità della rete riportate nel Report RdS/PAR2017/066.

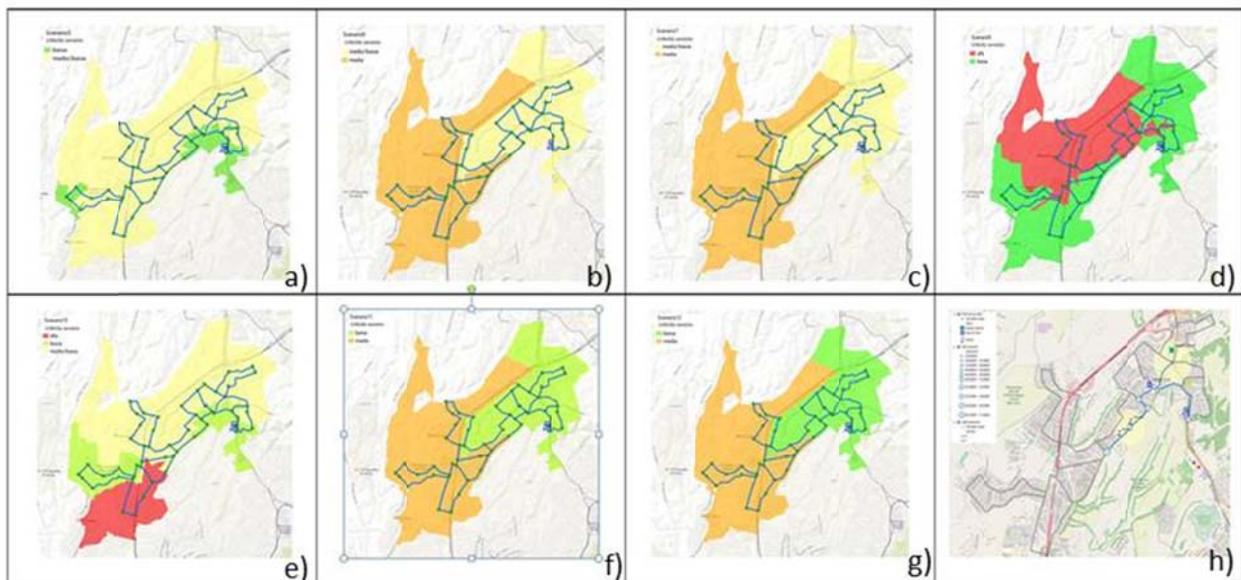


Figura 10. Identificazione areale dei livelli di impatto sulla popolazione corrispondenti ai diversi scenari selezionati: a) scenario 5; b,c) scenari 6,7; d) scenario 9; e) scenario 10; f,g) scenari 11, 12; h) scenario alternativo 6

Un approfondimento viene proposto per lo scenario 6 che 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 10-h) è stato identificato il percorso idraulico, isolato dal resto della rete di distribuzione. 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.

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.

3.5 La valutazione della resilienza di una rete elettrica interconnessa

Le attività svolte durante il trimestre del PAR 2018 hanno consentito:

- di estendere la valutazione della resilienza della rete di distribuzione elettrica dell'area metropolitana di Roma tenendo conto dei dati forniti da Areti S.p.a riguardanti i tassi di guasto delle cabine secondarie;
- il disegno e lo sviluppo di un prototipo di simulatore ad eventi discreti basato sugli algoritmi e procedure definite in RecSIM per la simulazione di scenari di gestione delle emergenze. Il nuovo simulatore è basato sulla libreria Python SimPY.

Nel Report RdS/PAR2017/061 è stato descritto nel dettaglio il simulatore RecSIM e come questo è stato utilizzato per valutazione della resilienza di una rete di distribuzione elettrica. Come descritto nel citato Report, RecSIM può essere utilizzato sia come elemento specifico del workflow della piattaforma CIPCast, sia come modulo *stand-alone* per analisi offline di resilienza e robustezza. RecSIM, nella sua forma originale è un modulo in grado di calcolare l'impatto di uno scenario di *failure* (in questo scenario alcune componenti della rete di distribuzione elettrica e/o di telecomunicazione sono danneggiate, quindi non sono in grado di fornire il relativo servizio) sulla rete elettrica stessa, considerando la topologia della rete, le risorse a disposizione, le dipendenze della rete elettrica con le altre reti come ad esempio la rete di telecomunicazione e dallo stato di infrastrutture come la viabilità urbana. RecSIM calcola il tempo di ripristino della cabine secondarie (CS) sconnesse considerando le procedure di riconfigurazione definite dall'operatore di rete.

3.5.1 Valutazione della resilienza del sistema elettrico e tassi di guasto

Durante il PAR2018, RecSIM è stato modificato per introdurre come dato di input le probabilità di guasto di ogni singola cabina fornite direttamente da Areti S.p.a. Questo ha permesso di effettuare una valutazione tenendo in considerazione gli scenari di guasto più probabili tramite una simulazione ancor più verosimile di ciò che potrebbe accadere nell'operatività quotidiana della rete, con cabine più sensibili a guasti e altre meno.

La simulazione è stata effettuata sempre utilizzando il modulo RecSIM, al quale è stato aggiunto un algoritmo che esegue il metodo "Monte Carlo" simulando un periodo di attività della rete pari a 10 anni, considerando appunto i nuovi dati acquisiti. La seguente Tabella 5 riassume i parametri di simulazione e i risultati ottenuti confrontando l'approccio deterministico (analisi N-1, N-2, descritti nel Report RdS/PAR2017/061) con l'approccio Monte Carlo (il quale utilizza i tassi di guasto delle cabine).

Tabella 5. Parametri di simulazione e risultati ottenuti confrontando l'approccio deterministico con l'approccio Monte Carlo

Topologia di rete	Topologia Normale		
Numero di squadre di emergenza	4		
Tempo necessario per telecontrollo - tlc_t	$5 \pm 2 \text{ min}$		
Tempo necessario per intervento manuale - $travel_t$	$45 \pm 10 \text{ min}$		
Tempo necessario per intervento generatore mobile pg_t	$180 \pm 20 \text{ min}$		
Frazione delle cabine elettriche non telecontrollate	0,4%		
Resilienza (R^{-1})	$N - 1 \sim 41,56$	$N - 2 \sim 125,95$	<i>Monte Carlo</i> $\sim 51,08$

Confrontando anche il grafico *log-log* delle distribuzioni di frequenza dei vari valori d'impatto *kmin* (Figura 11), si nota come l'andamento della distribuzione dei *kmin* ottenuta tramite simulazione Monte Carlo sia paragonabile con l'andamento della distribuzione che si ottiene per l'analisi N-1 deterministica.

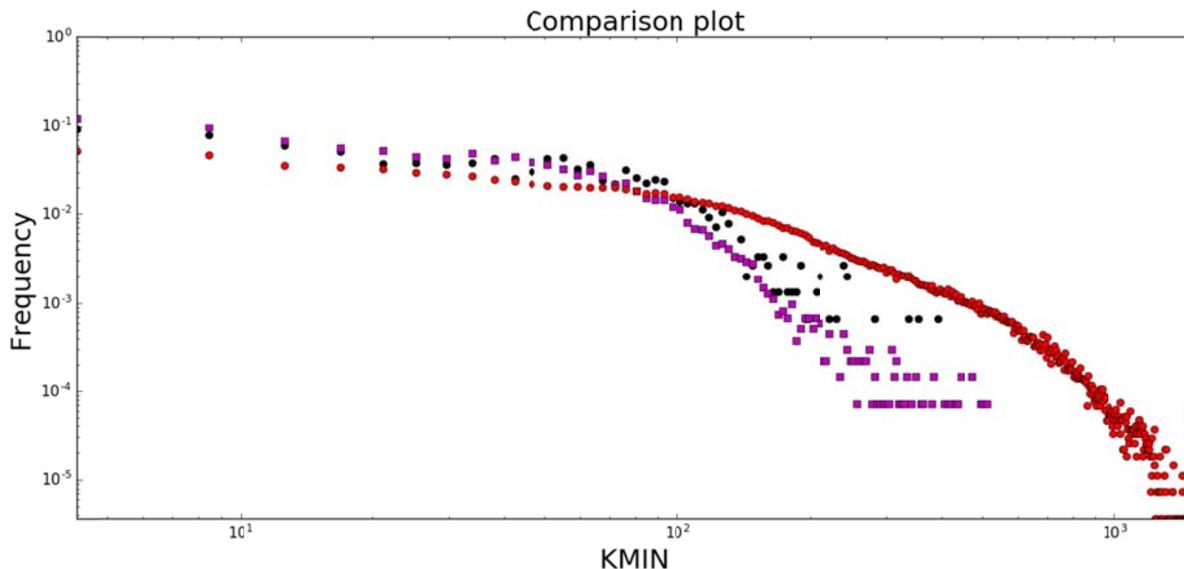


Figura 11. Confronto delle distribuzioni dei *kmin* nei casi N-2, N-1 e Monte Carlo

Nella simulazione Monte Carlo ci sono diversi casi per i quali si hanno due o più *failure* contemporanei nella rete.

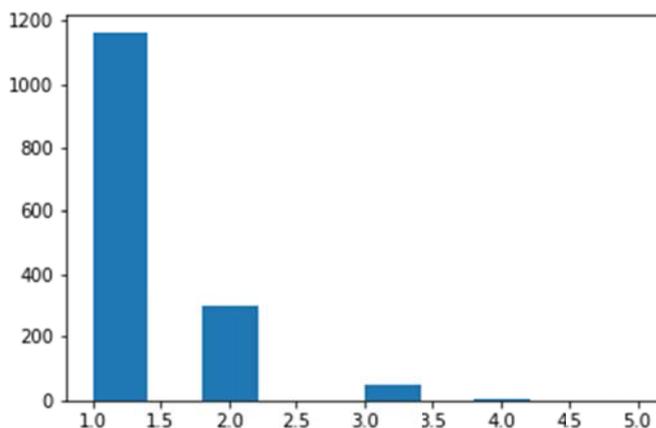


Figura 12. Frequenze di guasto

Come mostrato nella Figura 12, su 1515 giornate durante le quali si verifica almeno un guasto, nel 76% dei casi si ha un solo guasto, nel 20% dei casi si hanno due guasti, nel 3% dei casi un guasto triplo. Inoltre, ci sono anche rari casi (5 e 2 rispettivamente) nei quali si verificano 4 e 5 *failure* contemporanei. I valori ottenuti applicando la metrica di resilienza definita nel corso delle attività del PAR2017 (cfr. Report RdS/PAR2017/061) sono comunque paragonabili, almeno per quanto riguarda i valori ottenuti per i casi N-1 e Monte Carlo ($R \sim 2.40 \cdot 10^{-2}$, $R \sim 1.95 \cdot 10^{-2}$ rispettivamente) in quanto:

- 1) le CS a più alto tasso di guasto sono localizzate lungo semi-dorsali non particolarmente numerose oppure dotate di elementi attivi (telecontrollate o automatizzate) in grado di circoscrivere rapidamente il danno e quindi produrre *kmin* ragionevolmente bassi.
- 2) la procedura che esegue il test N-1 fa sì che vengano colpite tutte le CS anche quelle che potrebbero trovarsi in posizioni critiche e che sarebbero quindi in grado di far andare in *failure* molte CS a valle del loro guasto. È possibile che queste cabine, in quanto rilevanti al fine di non far crollare il funzionamento di molte altre cabine, siano state maggiormente protette da Areti S.p.a e che risultano avere quindi un tasso di guasto relativamente basso, quanto basta da non risultare come colpite nella simulazione col metodo Monte Carlo.
- 3) Il caso N-2 è molto più impattante, in quanto tutti i guasti N-2 sono localizzati su una stessa dorsale e quindi rappresentano la peggior situazione possibile (“worst-case”) nelle casistiche di danni. Quindi, il fatto che si vada ben oltre i *kmin(max)* sia del caso Monte Carlo, sia del caso (N-1). è ampiamente giustificato.

3.5.2 Disegno e realizzazione prototipo del simulatore RecSimPY

Il nuovo simulatore **RecSimPY** si basa sul framework Python SimPY per la simulazione ad eventi discreti. Gli algoritmi definiti in RecSIM sono stati utilizzati nella nuova versione per la definizione delle transizioni di stato dei differenti agenti (o processi) che vanno a formare uno scenario di simulazione. La differenza sostanziale rispetto alla precedente versione del simulatore è che adesso è considerata la variabile *tempo* nella simulazione stessa.

In RecSIM lo scenario di danneggiamento iniziale è costituito da un insieme di elementi (Cabine Elettriche CS, *Base Transceiver Station* BTS) nello stato di *failure*. Da questo scenario di danneggiamento RecSIM **calcola** l’impatto di questo scenario sulla rete elettrica considerando le procedure di riconfigurazione possibile e le risorse a disposizione. In RecSimPY lo scenario di danneggiamento iniziale è costituito da coppie (e_i, t) dove e_i indica l’elemento in *failure* e t indica il tempo nel quale l’elemento passa da uno stato corrente (che può essere di funzionamento o altro, si veda Figura 13 e Figura 14) allo stato di *failure*. RecSimPY da questo insieme **simula** come la rete e i suoi diversi elementi evolvono nel tempo di simulazione.

Nel nuovo simulatore il comportamento della rete di distribuzione è simulato utilizzando diverse tipologie di processi e risorse:

- **Processo SecondarySubstation (SS)**. Ogni stazione elettrica secondaria presente nella rete di distribuzione è simulata tramite un opportuno processo. Durante la simulazione ogni processo SS può trovarsi in uno di seguenti stati:
 - **Functioning**. In questo stato gli utenti sottesi alla stazione elettrica sono alimentati normalmente;
 - **Disconnected (Not Functioning)**. In questo stato gli utenti della stazione sono disconnessi. La transizione dallo stato di *Functioning* allo stato di *Disconnected* può avvenire, ad esempio, per effetto delle protezioni di linea che in caso di *failure* disconnettono tutte le cabine elettriche presenti sulla linea. Le procedure di ripristino, sia manuali che in telecontrollo, permettono al processo di transire dallo stato di *Disconnected* allo stato di *Functioning*;
 - **Failure**. Anche nella nuova versione del simulatore una cabina elettrica in *failure* è considerata in tale stato per tutta la durata della simulazione. L’unico modo per ripristinare il servizio agli utenti finali è l’utilizzo, se disponibile, di un *power generator* (gruppo elettrogeno).

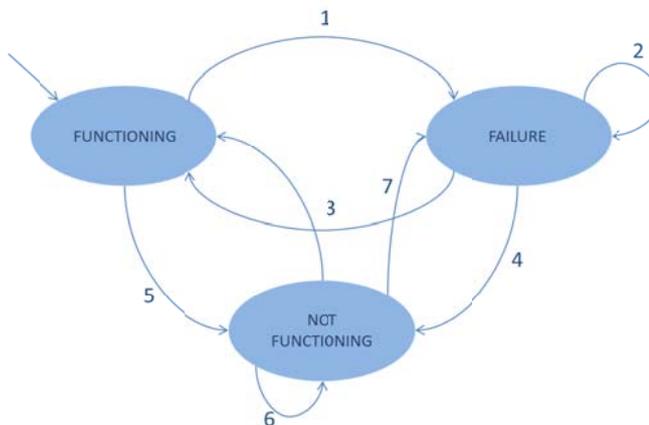


Figura 13 Possibili stati e transizioni di un processo *Secondary Substation (SS)*

- **Processo Base Transceiver Station (BTS).** Ogni elemento della rete di telecomunicazione a servizio del sistema SCADA della rete elettrica è simulato tramite un processo che può trovarsi in uno dei seguenti stati:
 - *Functioning.* In questo stato tutte le cabine secondarie telecontrollate dipendenti da questa BTS possono essere operate da telecontrollo;
 - *Backup.* In questo stato le cabine telecontrollate (tlc) dipendenti dalla BTS possono essere operate da telecontrollo;
 - *Non Functioning:* se una BTS che si trova nello stato di Backup non viene ri-energizzata dopo un tempo limitato (solitamente 30-60 minuti) la BTS viene posta nello stato di *Non Functioning*. Tutte le cabine telecontrollate dipendenti da essa non potranno più essere operate in telecontrollo;
 - *Failure.*

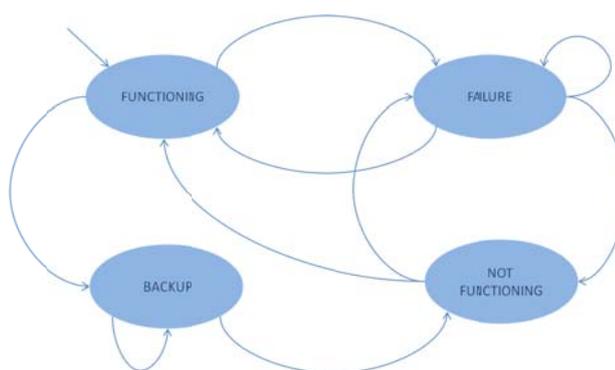


Figura 14 Possibili stati e transizioni del processo *Base Transceiver Station (BTS)*

- **Risorsa Crew:** uno scenario di simulazione specifica il numero di squadre di intervento (*Crew*) disponibile durante le operazioni di ripristino. In RecSimPY le *Crew* sono risorse (finite) che devono essere condivise dai diversi processi. Ogni risorsa può essere utilizzata da un solo processo per volta. Quando la risorsa *Crew* è acquisita da un processo, questa è rilasciata dopo che è passato un

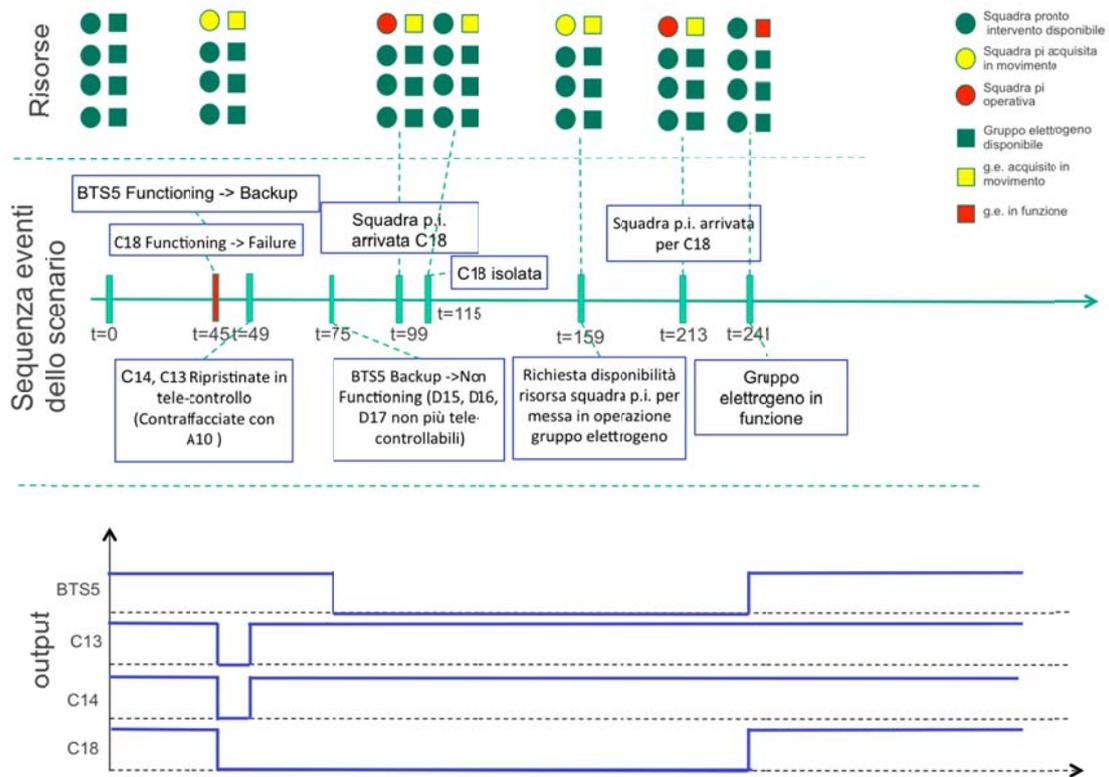


Figura 16 Sequenza temporale degli eventi, utilizzo delle risorse disponibili ed output di uno scenario di danneggiamento

Il semplice caso di test mostrato in precedenza mostra come RecSimPY, tenendo in considerazione la sequenza temporale degli eventi e il cambiamento di stato degli elementi simulati, riesca a modellare e simulare le dipendenze presenti nello scenario. Ad esempio, se nello scenario di danneggiamento si considera un secondo *failure* per una delle cabine dipendenti dalla BTS5 (D15, D16, D17) nell'intervallo temporale nel quale questa non funziona ($75 < t < 241$ nell'esempio mostrato in Figura 16), le procedure di riconfigurazione non potrebbero contare sul telecontrollo quindi lo scenario richiederebbe l'utilizzo di un'ulteriore squadra di intervento, oltre ovviamente ad un ulteriore gruppo elettrogeno per ripristinare gli utenti disconnessi sottesi alla nuova cabine elettrica in *failure*.

ReSimPY ha diverse possibili estensioni:

- Modellare e simulare le operazioni di riconfigurazione della rete di telecomunicazione;
- Modellare e simulare la viabilità urbana. Al momento, come avviene per il simulatore RecSIM classico, è possibile simulare diverse condizioni di traffico modificando opportunamente i tempi di percorrenza delle squadre di emergenza e dei gruppi elettrogeni. Un possibile miglioramento di RecSimPy potrà essere quello di calcolare i tempi di percorrenza delle risorse a disposizione considerando il grafo della viabilità urbana, che tiene conto ovviamente della posizione occupata dalle risorse nel tempo e dello stato di congestione di ogni singolo tratto urbano.

Durante le attività del PAR2018, inoltre, è stata valutata la fattibilità di un importante sviluppo del simulatore. In particolare, l'obiettivo è di utilizzare RecSimPY come "simulation engine" di scenari di crisi dovuti ad eventi estremi, come ad esempio terremoti. L'obiettivo della simulazione è sempre quello di analizzare il comportamento delle CI. In questo caso, però, le CI sono considerate in funzione del loro supporto alle operazioni di gestione dell'emergenza stessa. Ad esempio, è di fondamentale importanza poter assicurare l'operatività degli edifici strategici (e.g. prefettura, caserme) o altre strutture di ricovero (scuole, palestre) e di soccorso (ospedali). In questi casi devono essere assicurati con la massima priorità: (i) la viabilità urbana per i soccorsi e per accedere agli edifici stessi, (ii) il servizio elettrico (tramite la rete di

distribuzione o gruppi elettrogeni) che è di supporto a tutti gli altri servizi come, ad esempio, (iii) reti di telecomunicazione, alimentazione dei punti di raccolta e supporto ai soccorritori. A tal fine, oltre alle risorse modellate per simulare le operazioni di riconfigurazione delle reti e dei servizi bisogna modellare anche le risorse proprie degli organismi responsabili della gestione dell'emergenza come ad esempio la Protezione Civile.

Lo studio di fattibilità ha riguardato la possibilità di inserire il nuovo simulatore RecSimPy come modulo specifico del simulatore CIPCast-ES utilizzato per la simulazione e l'analisi degli effetti dei terremoti su un'area urbana. In particolare, CIPCast-ES è stato utilizzato per analizzare il livello di ostruzione delle strade a seguito della presenza di macerie dovute al crollo degli edifici a causa del terremoto. Il grafo contenente il grado di ostruzione delle strade costituisce uno degli input del simulatore RecSimPy per configurare opportunamente i tempi di percorrenza delle squadre di pronto intervento e dei gruppi elettrogeni. In questo schema di simulazione più complesso, RecSimPy è in grado di simulare le risorse necessarie al ripristino dei tratti stradali (mezzi di trasporto pesanti, escavatori, etc.) e quindi simulare l'intervento delle squadre di pronto intervento e gruppi elettrogeni in funzione della disponibilità di queste risorse e al tempo necessario al ripristino della viabilità urbana.

3.6 Interazioni

3.6.1 Integrazione dei dati da drone nel DSS

Le attività del sotto-obiettivo d.1 si sono strettamente coordinate con quelle definite nel sotto-obiettivo d.2. Si è ottimizzato il protocollo avanzato di scambio dei dati tra il dispositivo di monitoraggio ed elaborazione e la piattaforma DSS, come visibile nella Figura 17., per gli elementi specifici del sistema elettrico, nel caso in esame una sottostazione di media tensione (MT).

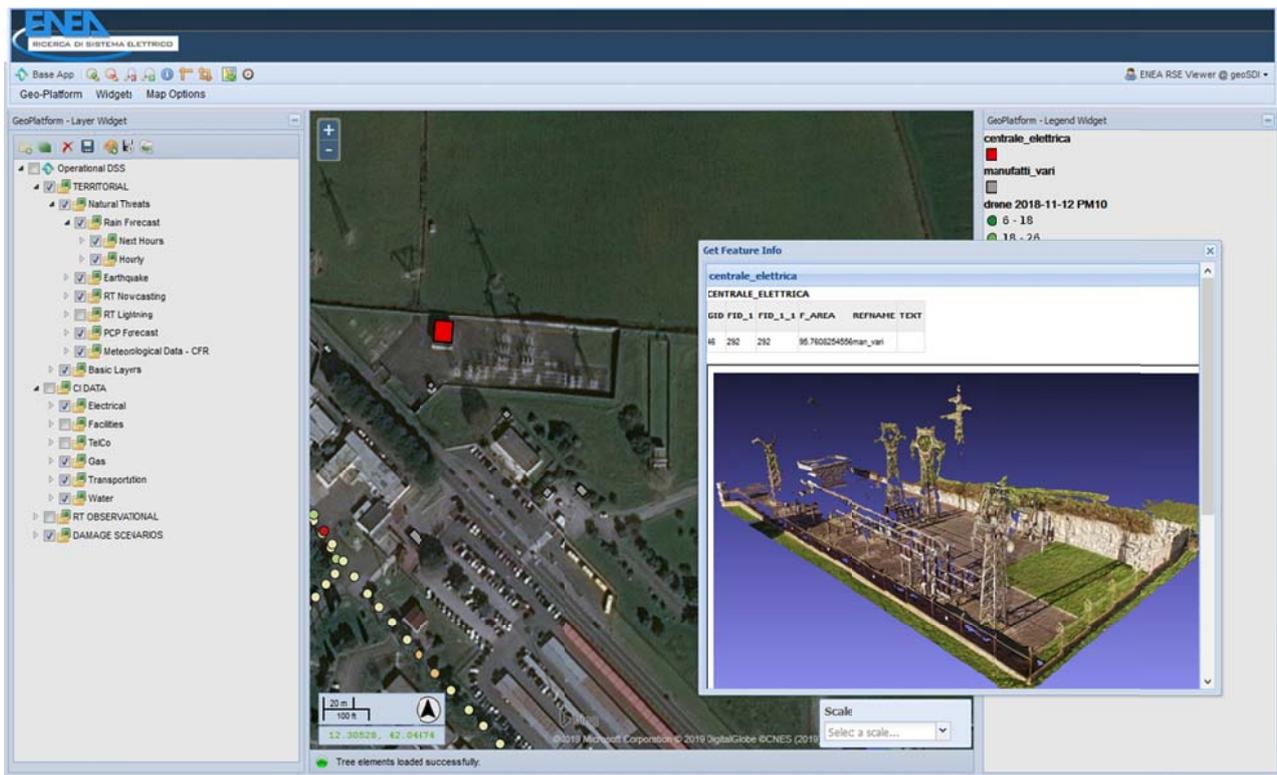


Figura 17. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS del DSS dei dati acquisiti da drone ed elaborazioni 3D della sottostazione elettrica MT rilevata

3.6.2 Interazione DSS con la SmarCityPlatform

Nello sviluppo operativo della Piattaforma DSS, nel corso del PAR2018, ci si è poi focalizzati sul completamento dell'interfacciamento funzionale del DSS con la Smart City Platform (SCP) per lo scambio di dati relativi agli edifici e alle relative condizioni ambientali. In particolare, sono state ulteriormente testate le modalità di scambio e la gestione dei flussi di dati tra la piattaforma DSS e gli altri contesti applicativi, attraverso la SCP, così come definito nelle precedenti annualità (visualizzazione nell'interfaccia WebGIS di anomalie e consumi di edifici monitorati, dati meteo, etc., Figura 18) allo scopo di monitoraggio, diagnostica e gestione energetica. Inoltre, poiché la piattaforma DSS può anche inviare dei dataset alla SCP, è stato ulteriormente testato l'invio di tali dati (ad esempio, quelli di tipo meteo: temperature, precipitazioni, etc.), con "push" ogni 6 ore.

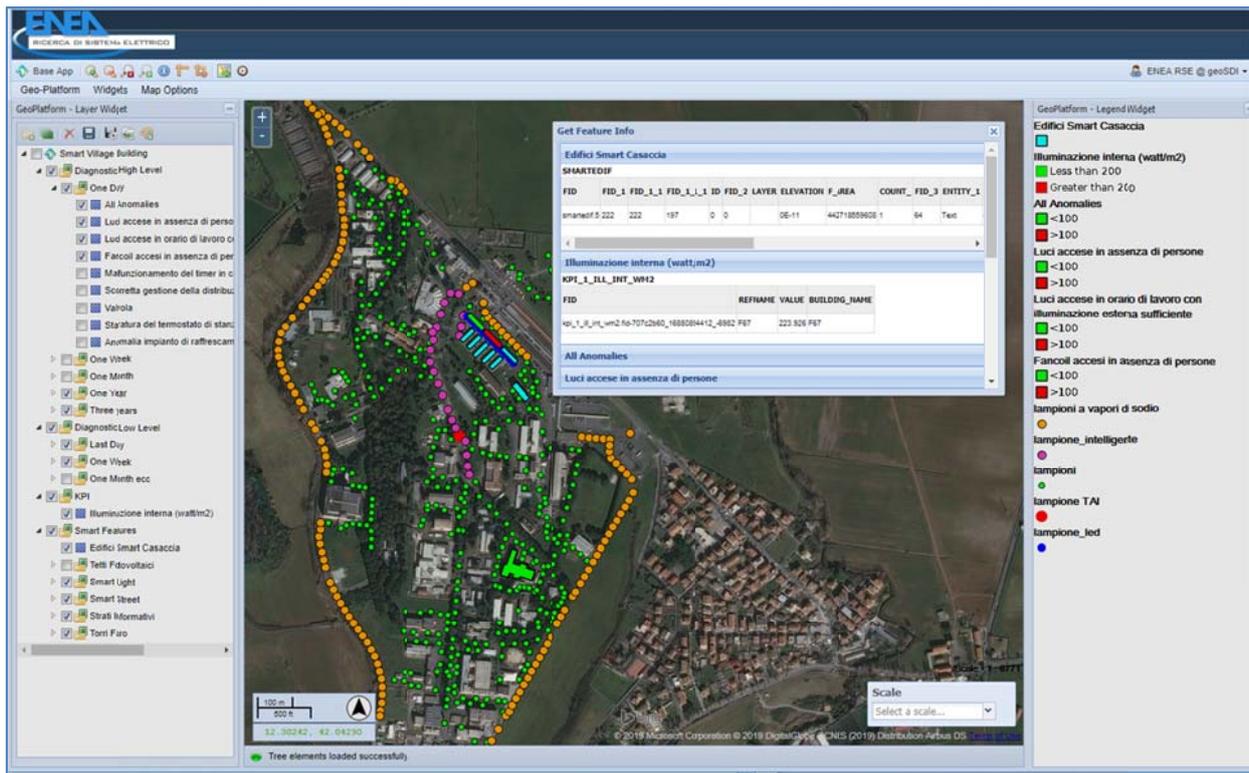


Figura 18. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS dei dati scambiati con la SCP

3.7 Il front-end DSS (WebGIS)

Nel corso del trimestre di attività del PAR2018 sono proseguite le attività di implementazione ed aggiornamento dell'interfaccia avanzata WebGIS di CIPCast (Figura 19), rese necessarie anche per integrare i recenti sviluppi precedentemente descritti.

Come già descritto nel Report RdS/PAR2017/061, l'interfaccia WebGIS consente agli utenti finali della Piattaforma di visualizzare gli elementi geolocalizzati (elementi delle CI, dati previsionali, mappe di rischio, etc.) ed effettuare analisi avanzate (e.g. elaborazione scenari) focalizzandosi sulle CI oggetto di interesse.

L'URL dell'applicazione WebGIS è: <http://apic.casaccia.enea.it/rse/>. Per l'accesso e l'autenticazione, stante la riservatezza di determinate informazioni, sono necessarie credenziali specifiche.

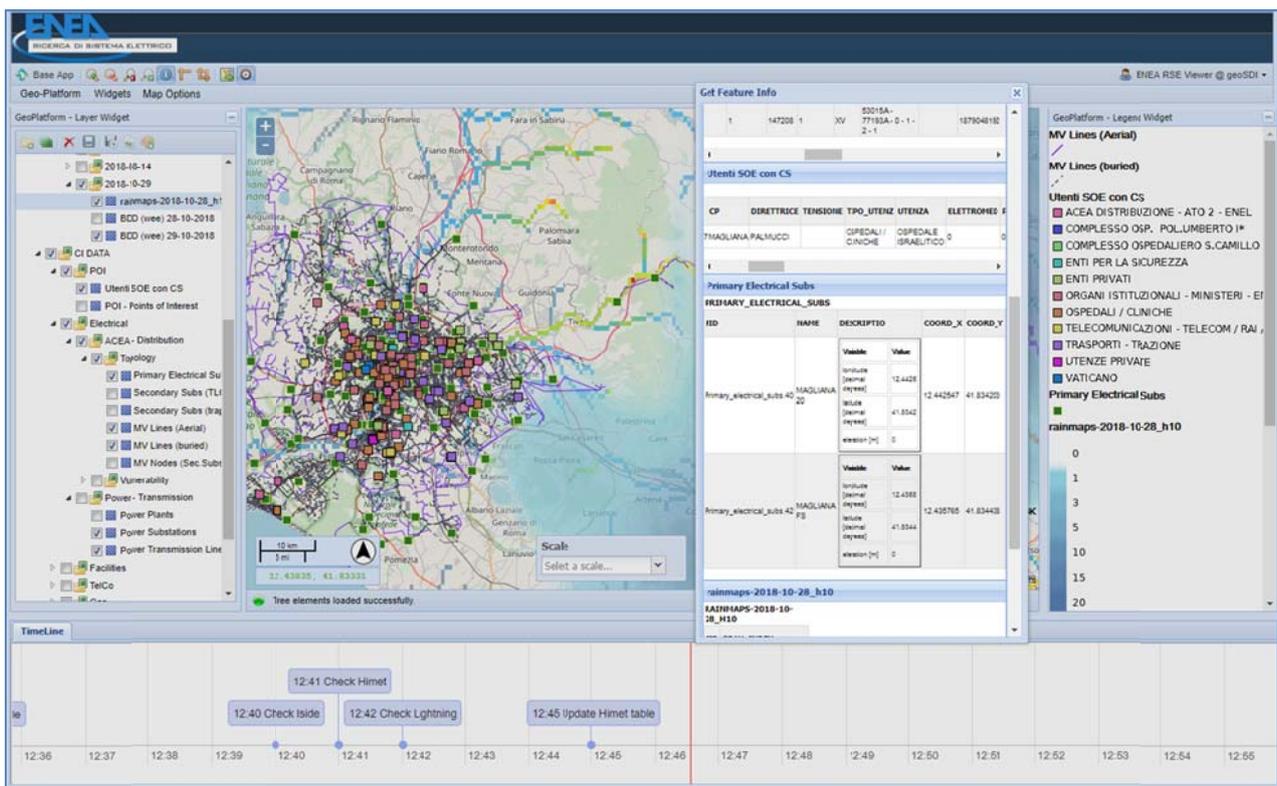


Figura 19. Interfaccia WebGIS della piattaforma DSS CIPCast

4 Conclusioni e sviluppi futuri

Alla fine del periodo complessivo di attività (PAR2015-2018), si è giunti allo sviluppo prototipale della piattaforma di supporto alle decisioni CIPCast: essa consente sia di supportare la gestione operativa dei sistemi (fornendo in anticipo circostanziati *crisis alert* che permettono di migliorare la capacità di approntare misure di *preparedness*), sia come strumento di elaborazione di strategie di incremento della resilienza e/o come supporto alla pianificazione dei piani di emergenza e di contingenza.

In particolare, l'analisi dei casi di studio effettuati ha consentito di mettere in luce possibili utilizzi della piattaforma CIPCast per analisi di mitigazione del rischio, quali ad esempio analisi *"what-if"* che consentirebbero la valutazione, per quanto possibile, dei benefici provenienti da interventi di mitigazione del rischio sul patrimonio esistente. Il modello può supportare la valutazione di strategie diverse che indichino azioni di prevenzione e/o protezione verso possibili eventi negativi. L'insieme delle simulazioni prodotte e delle mappe tematiche proposte possono rappresentare un valido strumento di supporto alle decisioni che competono - ad esempio - 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 dell'area urbana con la migliore prestazione possibile. Inoltre, considerando il rischio idrologico, le soglie di allerta ed allarme individuate sulla base di tutti i casi di studio analizzati, mostrano performance di buon livello. È stato, altresì, dimostrato come le definizioni degli indici di allerta non siano affatto generali, ma ne consentono l'applicazione in un punto arbitrario della rete drenante: al di là dell'applicazione specifica che riguarda l'area di Roma e del Lazio in generale, è possibile di affermare che il modello sviluppato è agevolmente esportabile in altre situazioni geografiche e logistiche.

Inoltre, l'interazione con le attività del sotto-obiettivo d.2 ("Monitoraggio aereo dello smart district") ha messo in luce possibili utilizzi ulteriori e più ampi della piattaforma DSS. Infatti, il sistema di monitoraggio energetico basato su SAPR (drone) può essere utile alla mitigazione del rischio nell'analisi delle condizioni di esercizio di sottosistemi della rete elettrica, quali le sottostazioni di media tensione. In altri termini, l'insieme delle misure effettuate e processate, soprattutto quelle termografiche, di concerto con i modelli di analisi sviluppati in CIPCast possono rappresentare un valido strumento di supporto alle decisioni che competono agli enti gestori, chiamati sia ad affrontare situazioni di emergenza, ma soprattutto ad ottimizzare le strategie e le procedure di manutenzione preventiva. Il rischio di blackout e di abbassamenti di tensione sulla rete di distribuzione dell'energia elettrica è in aumento a causa dell'invecchiamento dell'infrastruttura. L'utilizzo di un sistema di monitoraggio quale quello proposto può portare ad evidenti risparmi, soprattutto in termini di disservizi per l'utente finale e, allo stesso tempo, di contenimento dei costi sul lato dei gestori delle utilities. Un monitoraggio che funga da *early-warning*, ovvero che si accorga di un problema sul nascere può evitare disservizi importanti di edifici strategici (ad esempio, quelli del sistema di protezione civile), di strutture bancarie, di sistemi di sicurezza, di impianti di produzione, della refrigerazione di alimenti, di reti di comunicazione e di sistemi di controllo del traffico.

Per quanto riguarda le ricadute sui beneficiari, la piattaforma CIPCast offre un'organizzazione di dati/informazioni in modo funzionale ai casi d'uso e alla loro migliore fruizione da parte degli utenti stessi. In tal modo, può contribuire alla sicurezza energetica, attraverso l'incremento della resilienza e la possibilità di effettuare un monitoraggio costante delle CI elettriche.

Il grado di innovazione ed avanzamento della piattaforma DSS risiede, in definitiva, nella metodologia sviluppata e messa a punto, nonché nella disponibilità di uno strumento innovativo di grado elevato, per l'analisi della vulnerabilità e del rischio del sistema elettrico, il monitoraggio e la gestione delle CI, il supporto alla definizione di strategie per l'incremento della resilienza complessiva dello *Smart District*. Ciò si traduce, altresì, in una serie di benefici per utenti sistema elettrico, specie per quanto riguarda la disponibilità per amministratori Locali, operatori CI, autorità di Protezione Civile di uno strumento innovativo per l'analisi del rischio del sistema elettrico nel caso di fenomeni naturali estremi.

Infatti, con particolare riguardo all'analisi della vulnerabilità e della resilienza del sistema elettrico, CIPCast potrà, in un futuro prossimo, essere offerto come servizio e strumento di supporto decisionale ad una vasta platea di utenti finali, sia a livello di aziende operatrici delle CI, ed anche a livello di P.A. nei suoi diversi ruoli e funzioni (Municipalità, Organismi di Protezione Civile, ARERA, etc.).

Infine, nell'ambito della collaborazione tra l'ENEA e il DIAEE della "Sapienza" Università di Roma, è stata effettuata una panoramica sulle iniziative già realizzate e in corso di realizzazione per la costituzione di un *Working Group per la Resilienza del Sistema Elettrico* e per l'organizzazione di un Workshop, aperto anche ai *players* internazionali e che vedrà come primi promotori l'ENEA e il DIAEE. Queste iniziative avranno l'obiettivo di accrescere ulteriormente la connessione e la cooperazione tra i soggetti interessati (accademici, enti di ricerca, gestori delle reti, amministratori locali e ARERA) a promuovere la resilienza del sistema elettrico.

5 Riferimenti

Bibliografia

- Di Pietro, A., Lavalle, L., La Porta, L., Pollino, M., Tofani, A., Rosato, V.: Design of DSS for Supporting Preparedness to and Management of Anomalous Situations in Complex Scenarios. In: Setola, R., Rosato, V., Kyriakides, E., and Rome, E. (eds.) *Managing the Complexity of Critical Infrastructures: A Modelling and Simulation Approach*. pp. 195–232. Springer International Publishing, Cham (2016).
- Steiniger, S., Hunter, A.J.S.: Free and Open Source GIS Software for Building a Spatial Data Infrastructure. In: Bocher, E. and Neteler, M. (eds.) *Geospatial Free and Open Source Software in the 21st Century*. pp. 247–261. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2011).
- Tofani A, Di Pietro A, Lavalle L, Pollino M, R. V: Supporting decision makers in crisis management involving interdependent critical infrastructures. In: *The International Emergency Management Society (TIEMS) 2015*. TIEMS, Rome (2015).
- Pollino, M., Modica, G.: Free Web Mapping Tools to Characterise Landscape Dynamics and to Favour e-Participation. In: Murgante, B. et al. (ed.) *Computational Science and Its Applications. ICCSA 2013, Part III, LNCS 7973*. pp. 566–581. Springer Berlin Heidelberg (2013).
- Pollino, M., Caiaffa, E., Carillo, A., La Porta, L., Sannino, G.: Wave energy potential in the Mediterranean sea: Design and development of DSS-WebGIS “Waves energy.” In: *Lecture Notes in Computer Science*. pp. 495–510. Springer, Cham (2015).
- Caiaffa, E., La Porta, L., Pollino, M.: *Geomatics in Climate Services and Local Information: A Case Study for Mediterranean Area*. Presented at the (2015).
- Steiniger, S., Hay, G.J.: Free and open source geographic information tools for landscape ecology. *Ecol. Inform.* 4, 183–195 (2009).
- Modica, G., Pollino, M., Lanucara, S., La Porta, L., Pellicone, G., Di Fazio, S., Fichera, C.R.: Land suitability evaluation for agro-forestry: Definition of a web-based multi-criteria spatial decision support system (MC-SDSS): Preliminary results. In: *Lecture Notes in Computer Science*. pp. 399–413. Springer, Cham (2016).
- A. Coletti, A. De Nicola, A. Di Pietro, M. Pollino, V. Rosato, G. Vicoli, and M.L. Villani. Towards Semantic Generation of Geolocalized Models of Risk. In *Enterprise Interoperability* (eds M. Zelm, F. Jaekel, G. Doumeingts and M. Wollschlaeger). doi:10.1002/9781119564034.ch51, 2018-a.
- *Canadians’ experiences with emergencies and disasters*, Dyna Ibrahim, Juristat / Canadian Centre for Justice Statistics, 2014
- A. De Nicola, M. Melchiori, and M.L. Villani. M-CREAM: A tool for creative modelling of emergency scenarios in smart cities. In et Al. Gangemi, A., editor, *ESWC 2018 Satellite Events*, volume 11155, of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 1–6. Springer Nature Switzerland AG 2018, 2018.
- A. Coletti, A. De Nicola, G. Vicoli, M. Luisa Villani. Semantic Modelling of Cascading Risks in Interoperable Sociotechnical Systems. In *Proceedings of I-ESA 2018 Conference*, Berlin, 22nd-23th March, 2018-b.
- A. Coletti, A. De Nicola, G. Vicoli, M.L. Villani. A Gamified Approach to Participatory Modelling of Water System Risks. In: D’Agostino G., Scala A. (eds) *Critical Information Infrastructures Security. CRITIS 2017*. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 10707. Springer, Cham, 2017.
- T.R. Gruber. A translation approach to portable ontology specification. *Knowl. Acquis.* 5:199–220, 1993.

- WN Borst. Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse. University of Twente, Enschede, The Netherlands, 1997.
- A. Gangemi and V. Presutti, "Ontology design patterns," In: Handbook on Ontologies, 2nd edn. International Handbooks on Information Systems. Springer, Heidelberg, 2009.
- A. Coletti, A. De Nicola, and M. L. Villani. Building climate change into risk assessments. *Natural Hazards*, 84(2):1307–1325, 2016.
- A. De Nicola and M. Missikoff. A lightweight methodology for rapid ontology engineering. *Commun. ACM*, 59(3):79–86, February 2016.
- Cavalieri, F., Franchin, P., Gehl, P., Khazai, B.: Quantitative assessment of social losses based on physical damage and interaction with infrastructural systems. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 41, 1569–1589 (2012).
- FEMA: HAZUS-MH 2.1. Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Technical Manual. , Washington, D.C. (2017).
- Tomassetti, B., Coppola, E., Verdecchia, M., Visconti, G.: Coupling a distributed grid based hydrological model and MM5 meteorological model for flooding alert mapping. *Adv. Geosci.* 2, 59–63 (2005).
- Sorooshian, S., Hsu, K.-I., Coppola, E., Tomassetti, B., Verdecchia, M., Visconti, G. (Eds.): Hydrological Modelling and the Water Cycle. Coupling the Atmospheric and Hydrological Models. Water Science and Technology Library Series, Volume 63. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008
- Giovinazzi, S., Pollino, M., Kongar, I., Rossetto, T., Caiaffa, E., Di Pietro, A., La Porta, L., Rosato, V., Tofani, A.: Towards a Decision Support Tool for Assessing, Managing and Mitigating Seismic Risk of Electric Power Networks. In: Computational Science and Its Applications - ICCSA 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10406. pp. 399–414. Springer, Cham (2017).
- Cavalieri, F., Franchin, P., Buriticá Cortés, J.A.M., Tesfamariam, S.: Models for Seismic Vulnerability Analysis of Power Networks: Comparative Assessment. *Comput. Civ. Infrastruct. Eng.* 29, n/a-n/a (2014).
- Cavalieri, F., Franchin, P., Pinto, P.E.: Application to Selected Transportation and Electric Networks in Italy. Presented at the (2014).
- Matassoni, L., Fiaschi, A., Giovinazzi, S., Pollino, M., La Porta, L., Rosato, V.: A geospatial decision support tool for seismic risk management: Florence (Italy) case study. In: Computational Science and Its Applications - ICCSA 2017. Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing (2017).
- Grünthal, G., Musson, R., Schwarz, J., Stucchi, M.: European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). entre E uropèen de G éodynamique et de Séismologie, Luxembourg (1998).
- Kongar, I., Giovinazzi, S.: Damage to Infrastructure: Modeling. In: Encyclopedia of Earthquake Engineering. pp. 1–14. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2014).
- Kongar, I., Giovinazzi, S., Rossetto, T.: Seismic performance of buried electrical cables: evidence-based repair rates and fragility functions. *Bull. Earthq. Eng.* 1–31 (2016).
- Kongar, I., Rossetto, T., Giovinazzi, S.: The Effectiveness of Existing Methodologies for Predicting Electrical Substation Damage Due to Earthquakes in New Zealand. In: Vulnerability, Uncertainty, and Risk. pp. 752–761. American Society of Civil Engineers, Reston, VA (2014).

- Tofani, A., Di Pietro, A., Lavallo, P.L., Pollino, M., Rosato, V., Alessandroni, S.: CIPRNet Decision Support System: Modelling Electrical Distribution Grid Internal Dependencies. J. Polish Saf. Reliab. Assoc. 6, 133–140 (2015).
- Han Zhang, Hanjie Yuan, Gengfeng Li, Yanling Lin. "Quantitative Resilience Assessment under a Tri-Stage Framework for Power Systems," Energies, MDPI, Open Access Journal, vol. 11(6), pages 1-23, 2018
- Bie et al. : Battling the Extreme: A Study on the Power System Resilience, Proc. of the IEEE, July 2017
- Di Pietro A., Porta L.L., Lavallo L., Pollino M., Rosato V., Tofani A.: "Simulation of Cascading Outages in (Inter)-Dependent Services and Estimate of Their Societal Consequences". In: Havarneanu G., Setola R., Nassopoulos H., Wolthusen S. (eds) Critical Information Infrastructures Security. CRITIS 2016. Lecture Notes in Computer Science, vol 10242. Springer, Cham, 2017
- Tofani A., D'Agostino G., Di Pietro A., Onori G., Pollino M., Alessandroni S.: "Operational Resilience Metrics for a Complex Electrical Network". In: D'Agostino G., Scala A. (eds) Critical Information Infrastructures Security. CRITIS 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10707. Springer, Cham, 2018
- L. Calcara, A. D. Pietro, S. Giovinazzi, M. Pollino and M. Pompili, "Towards the Resilience Assessment of Electric Distribution System to Earthquakes and Adverse Meteorological Conditions," 2018 AEIT International Annual Conference, pp. 1-6, 2018
- Coletti, A., De Nicola, A., Di Pietro, A., Pollino, M., Rosato, V., Vicoli, G. and Villani, M. L.: "Towards Semantic Generation of Geolocalized Models of Risk". In Enterprise Interoperability (eds M. Zelm, F. Jaekel, G. Doumeingts and M. Wollschlaeger), Wiley, 2019
- De Nicola, A., Melchiori, M., and Villani, M.L. Creative Design of Emergency Management Scenarios Driven by Semantics: An Application to Smart Cities. Information Systems, 81:21 – 48, 2019.

Rapporti Tecnici

PAR2015

- ENEA, DTE-SEN-APIC – Report RdS/PAR2015/016 – “La piattaforma per la sicurezza delle infrastrutture critiche”, M. Pollino, L. La Porta, A. Di Pietro, A. Tofani, E. Caiaffa, e V. Rosato.
- Università dell’Aquila, DFSC – Report RdS/PAR2015/022 – “Analisi di risk forecast/assessment mediante modellistica meteorologica ed idrologica”, M. Verdecchia e B. Tomassetti.

PAR2016

- ENEA, DTE-SEN-APIC – Report RdS/PAR2016/020 – “Realizzazione del DSS per la sicurezza delle infrastrutture critiche (CI) del distretto”, M. Pollino, L. La Porta, A. Di Pietro, A. Tofani, E. Caiaffa, e V. Rosato.
- ENEA, DTE-SEN-IDRA - Report RdS/PAR2016/021 - "Sviluppo di un sistema di monitoraggio aereo per lo Smart District", S. Taraglio, L. Blasi, G. Cupertino, V. Nanni, C. Moriconi, S. De Vito, F. Formisano, G. Zanini, F. Russo, M.G. Villani, L. Vitali.
- ENEA, DTE-SEN – Report RdS/PAR2016/001 , "Piattaforma ICT per la gestione dello Smart District" , C. Novelli, M. Chinnici, A. Frascella, G. Ponti, A. Brutti, N. Gessa.

- Università dell'Aquila, DFSC – Report RdS/PAR2016/022 – “Analisi di risk forecast/assessment mediante modellistica idro-meteorologica per la stima del rischio e degli impatti sulle CI del distretto urbano”, M. Verdecchia e B. Tomassetti.
- Università di Roma “La Sapienza”, DIAEE – Report RdS/PAR2016/023 – “Modelli per l’analisi della fragilità fisica e funzionale della rete elettrica soggetta a eventi critici”, A. Geri, S. Giovinazzi, M. Pompili.

PAR2017

- ENEA, DTE-SEN-APIC – Report RdS/PAR2017/061 – “La piattaforma DSS di tipo GIS-based per l’analisi del rischio e della sicurezza delle infrastrutture critiche dello Smart District”, M. Pollino, E. Caiaffa, G. D’Agostino, A. De Nicola, A. Di Pietro, G. Fattoruso, L. La Porta, V. Rosato, A. Tofani, G. Vicoli e M.L. Villani.
- ENEA, DTE-SEN - Report RdS/PAR2017/062- “Sistema di monitoraggio aereo per lo Smart District: elaborazione dati, ausilio al pilota, sviluppo sensori”, S. Taraglio, L. Blasi, G. Cupertino, V. Nanni, C. Moriconi, S. De Vito, F. Formisano.
- ENEA, DTE-SEN-IDRA – Report RdS/PAR2017/040 - “Piattaforma ICT per la gestione dello Smart District”, C. Novelli, A. Frascella, A. Brutti, N. Gessa, M. Chinnici, G. Santomauro, G. Ponti.
- Università dell'Aquila, Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche (DSFC) – Report RdS/PAR2017/063 – “Modellistica meteo-idrologica per la valutazione e la previsione del rischio e degli impatti sulle infrastrutture del distretto urbano”, M. Verdecchia e B. Tomassetti.
- Università di Roma “La Sapienza”, Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica e Energetica (DIAEE) – Report RdS/PAR2017/064 – “Metriche e modelli di resilienza multi-rischio per il sistema elettrico”, S. Giovinazzi, M. Pompili, A. Geri, L. Calcara.
- Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile (DICIV) – Report RdS/PAR2017/066 – “Definizione di scenari di funzionamento di una rete acquedottistica in funzione di scenari di funzionamento della rete elettrica in situazioni straordinarie”, A. Longobardi

PAR2018

- ENEA, DTE-SEN-APIC - Report RdS/PAR2018/030 - "Realizzazione del DSS per la sicurezza delle Infrastrutture Critiche (CI) del Distretto", M. Pollino, G. D'Agostino, A. De Nicola, A. Di Pietro, G. Fattoruso, L. La Porta, V. Rosato, A. Tofani, Maria Luisa Villani.
- ENEA, DTE-SEN-IDRA - Report RdS/PAR2018/031 - "Monitoraggio aereo per lo smart district: test su sottostazione elettrica, sistema di ausilio al pilota, calibrazione sensori", S. Taraglio, L. Blasi, G. Cupertino, C. Moriconi, V. Nanni, S. De Vito, F. Formisano.
- Università dell'Aquila, Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche (DSFC) - Report RdS/PAR2018/032 - "Modellistica meteo-idrologica per la previsione del rischio e la valutazione degli impatti: casi di studio sulle infrastrutture elettriche del distretto urbano", M. Verdecchia e B. Tomassetti.
- Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica e Energetica (DIAEE) - Report RdS/PAR2018/033 - "Modelli per la valutazione della resilienza del sistema elettrico soggetto a sollecitazioni multiple", S. Giovinazzi, M. Pompili, A. Geri, L. Calcara.
- Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile (DICIV) - Report RdS/PAR2018/034 - "Valutazione degli impatti di scenari di funzionamento di una rete idrica in situazioni straordinarie di non funzionamento della rete elettrica", A. Longobardi.

6 Abbreviazioni ed acronimi

- DSS: Decision Support System (Sistema di Supporto alle Decisioni)
- SDI: Spatial Data Infrastructure (Infrastruttura di Dati Territoriali)
- FOSS: Free Open Source Software
- CI: Critical Infrastructures (Infrastrutture Critiche)
- GeoDatabase: Banca Dati Geospaziale
- GIS: Geographical Information Systems (Sistemi Informativi Geografici)
- SQL: Structured Query Language
- DBMS: DataBase Management System
- WebGIS: Sistemi Informativi Geografici (GIS) pubblicati su web
- CGI: Common Gateway Interface
- SAN: Storage Area Network
- OGC: Open Geospatial Consortium
- WMS: Web Map Service
- WCS: Web Coverage Service
- WFS: Web Feature Service
- WPS: Web Processing Service
- SLD: Styled Layer Descriptor
- GML: Geography Markup Language
- RSS: Remote Syndication Standard
- API: Application Programming Interface
- TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol
- GWS: Geospatial Web Services
- QoS: Quality of Service
- CHyM: CETEMPS Hydrological Model
- DEM: Digital Elevation Model
- SRTM: Shuttle Radar Topography Mission
- CA: Automi Cellulari (Cellular Automata)
- WRF: Weather Research and Forecasting
- ECMWF: European Center Medium Weather Forecast
- SPARE: Spectral Pyramidal Advection Radar Estimator
- POL: Probability of Lightning (Probabilità di Fulminazione)
- CP: Cabina Primaria elettrica
- CS: Cabina Secondaria elettrica
- QoS: Quality of Service
- EDN: Electric Distribution Network
- EPN: Electric Power Network
- WSS: Water Supply System
- WWS: Waste Water System
- BTS: Base Transceiver Stations
- IPsec: Internet Protocol Security
- SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition
- VPN: Virtual Private Network
- KPI: Key performance Index