



Ricerca di Sistema elettrico

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

A 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)

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

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

Progetto: 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	6
1 INTRODUZIONE	7
2 OBIETTIVO DELLE ATTIVITÀ E RISULTATI.....	9
3 LA PIATTAFORMA DSS CIPCAST.....	11
3.1 IMPLEMENTAZIONE E SVILUPPO DELLA PIATTAFORMA	11
3.1.1 <i>Il Workflow di CIPCast</i>	13
3.1.2 <i>Modello dei dati</i>	14
3.2 SISTEMA PER LA GEOLOCALIZZAZIONE DI MODELLI SEMANTICI DI RISCHIO	15
3.2.1 <i>Un nuovo approccio per il risk assessment geolocalizzato</i>	15
3.2.2 <i>Architettura software</i>	16
3.2.3 <i>Un modello semantico per la rappresentazione del territorio, della sua gestione e delle CI</i>	17
3.2.4 <i>WS-CREAM</i>	18
4 ANALISI DI RISK FORECAST/ASSESSMENT.....	21
4.1 MODELLISTICA METEOROLOGICA ED IDROLOGICA PER LA STIMA DEL RISCHIO E DEGLI IMPATTI	21
4.2 DEFINIZIONE DI METRICHE E MODELLI DI RESILIENZA MULTI-RISCHIO PER IL SISTEMA ELETTRICO	25
4.3 DIPENDENZA DEL FUNZIONAMENTO DI UNA RETE ACQUEDOTTISTICA DALLE CONDIZIONI DI OPERATIVITÀ DELLA RETE ELETTRICA IN SITUAZIONI STRAORDINARIE	28
4.3.1 <i>Caso di studio</i>	29
4.3.2 <i>Modellazione idraulica</i>	30
4.3.3 <i>Analisi di danneggiamento</i>	30
4.4 CASO DI STUDIO: RISK ASSESSMENT GEOLOCALIZZATO NELLA CITTÀ DI ROMA	36
4.4.1 <i>Descrizione dei POI identificati per la città di Roma</i>	36
4.4.2 <i>Estensione dell'ontologia</i>	37
5 LA VALUTAZIONE DELLA RESILIENZA DI UNA RETE ELETTRICA INTERCONNESSA.....	43
5.1 DEFINIZIONE DI RESILIENZA OPERATIVA.....	44
5.2 METRICHE PER LA VALUTAZIONE DELLA RESILIENZA DELLA RETE DI DISTRIBUZIONE ELETTRICA	44
5.3 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI.....	48
5.3.1 <i>Dipendenza della resilienza dalla viabilità urbana</i>	49
5.3.2 <i>Dipendenza della resilienza dalla disponibilità del sistema SCADA</i>	50
6 INTERAZIONE CON LA SMART DISTRICT PLATFORM	52
6.1 INTEGRAZIONE DEI DATI DA DRONE NEL DSS	52
6.2 INTERAZIONE DSS CON LA SMARCityPLATFORM	53
7 IL FRONT-END DSS (WEBGIS)	58
8 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	65
9 RIFERIMENTI	67
10 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	71

Indice delle Figure

Figura 1. Architettura <i>multi-tier</i> della Piattaforma DSS CIPcast	11
Figura 2. Schema a blocchi funzionali della Piattaforma DSS.....	13
Figura 3. Architettura software del sistema che evidenzia l'interoperabilità del DSS CIPCast con i componenti software per la gestione delle rappresentazioni concettuali dei rischi	17
Figura 4 Rappresentazione UML del <i>risk of system service</i> ontology design pattern per la modellazione del rischio.....	18
Figura 5. Funzione di generazione ed ordinamento dei rischi	20
Figura 6. Esempio di sequenza delle mappe di precipitazione.....	22
Figura 7. Visualizzazione integrata della mappa di precipitazioni previste (valori in mm/h) e dell'indice BDD nel contesto dell'interfaccia WebGIS della Piattaforma DSS CIPCast.....	23
Figura 8. Visualizzazione integrata della mappa di BDD index e della localizzazione delle Cabine Primarie della rete MT di Areti per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008.....	24
Figura 9. Visualizzazione integrata della mappa di CAI index e della localizzazione delle Cabine Primarie della rete MT di Areti per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008.....	24
Figura 10. Tabella completa dell'indice di allarme BDD, elaborato per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008 in riferimento agli elementi critici (Cabine Primarie) della rete di distribuzione ACEA-Areti.....	25
Figura 11. Frequenze di guasto, derivate empiricamente, per giunti elettrici soggetti a ondate di calore (periodo Dicembre-Febbraio, DFJ), in funzione della temperatura esterna massima.....	27
Figura 12. Esempio di scenario di danneggiamento atteso per la Rete di distribuzione elettrica (EDN) e il sistema idrico (Adduzione, distribuzione e impianti di sollevamento).....	28
Figura 13. Rete acquedottistica del Peschiera-Capore gestita da ACEA-Ato2 Spa	29
Figura 14. Rete di distribuzione che serve la zona di Ottavia, Municipio XIV di Roma.....	30
Figura 15. Analisi del rischio di danneggiamento fisico delle singole condotte delle reti di adduzione e distribuzione.....	31
Figura 16. Confronto tra le distribuzioni delle portate nodali dello scenario baseline e gli scenari 1-4 relativi alla rete di adduzione.....	34
Figura 17. Confronto tra le distribuzioni delle portate nodali dello scenario baseline e gli scenari 5-7 relativi alla rete di adduzione.....	34
Figura 18. Confronto tra le distribuzioni delle pressioni nodali dello scenario baseline e gli scenari 8-11 relativi alla rete di distribuzione	35
Figura 19. Strato informativo dei Punti di interesse (POI) della Città metropolitana di Roma	36
Figura 20 Data model dei Punti di interesse (POI).....	37
Figura 21 Estratto dall'ontologia TERMINUS che mostra un frammento della tassonomia relativa al concetto Hazard.	37
Figura 22. Estratto dall'ontologia TERMINUS che mostra un frammento della tassonomia relativa al concetto Entertainment_system_event.....	38
Figura 23. Tipologie di Critical_event_of_system associate ai system_service e relativo valore di rilevanza	39
Figura 24 Elenco delle vulnerabilità divise per livello di criticità.....	40
Figura 25 Estratto dall'ontologia TERMINUS che mostra un frammento della tassonomia relativa al concetto Stakeholder.....	40
Figura 26 Estratto dall'ontologia TERMINUS che mostra un frammento della tassonomia relativa al concetto Vulnerability.	41
Figura 27 Estratto dall'ontologia TERMINUS che mostra un frammento della tassonomia relativa al concetto System_service.....	41
Figura 28 Tipologie di impatto associate ai system_service	42
Figura 29 Curva di resilienza.....	43
Figura 30 Esempio della metrica Γ a seguito di un doppio guasto sulla linea.....	46

Figura 31 Variazione del parametro $R - 1$ all'aumentare delle cabine telecontrollate con telecontrollo no funzionante	50
Figura 32 Confronto della curva di resilienza tra doppio guasto casuale e doppio guasto su stessa linea o semi-dorsale	51
Figura 33. Visualizzazione del modello 3D di un edificio all'interno dell'interfaccia Web del DSS CIPCast...	52
Figura 34. Visualizzazione nell'interfaccia del DDS dei dati di concentrazione chimica relativi ad un punto della traiettoria del drone	53
Figura 35. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS del DSS di un dato di anomalie "LowLevel" (giornaliero) proveniente dalla SCP	57
Figura 36. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS del DSS di un dato di anomalie "HighLevel" (annuale) proveniente dalla SCP	57
Figura 37. Visualizzazione dell'interfaccia WebGIS di CIPCast: layout e funzionalità.....	59
Figura 38. Visualizzazione integrata nell'interfaccia WebGIS della geolocalizzazione delle Infrastrutture Critiche (CI) presenti nel DSS CIPCast	60
Figura 39. Visualizzazione integrata nell'interfaccia WebGIS di CIPCast della mappatura delle precipitazioni previste (mm/h) e della mappatura dei valori dell'indice di allarme idrologico BDD sul reticolo idrografico del bacino del Tevere.....	60
Figura 40. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS di CIPCast del monitoraggio sismico del territorio (24/7)	61
Figura 41. Visualizzazione integrata nell'interfaccia WebGIS di CIPCast dello Scenario previsionale d'impatto sulle CI di interesse in caso di evento meteo estremo	61
Figura 42. Interfaccia WebGIS dell'applicazione di simulazione sismica CIPCast-ES (Earthquake Simulator)	62
Figura 43. CIPCast-ES: Finestre di dialogo per l'inserimento dei parametri di input e la definizione dell'approccio simulativo	63
Figura 44. CIPCast-ES: visualizzazione dei risultati della simulazione (Terremoto dei Colli Albani, Roma, M=5,9) e consultazione interattiva dei risultati dello scenario di danno sui componenti della rete elettrica e della rete idrica.....	63
Figura 45. CIPCast-ES: visualizzazione degli scenari di danno per la rete elettrica ed idrica, integrati con lo scenario di danno per l'edificato (simulazione Terremoto dei Colli Albani, Roma, M=6,5).....	64

Sommario

Nel presente report sono descritte le attività svolte ed i risultati conseguiti nell'ambito del Sotto-Obiettivo d.1 "DSS protezione e sicurezza delle infrastrutture critiche", il quale rappresenta uno dei due sotto-obiettivi nei quali è articolato l'Obiettivo d ("Sicurezza infrastrutture critiche e monitoraggio smart district") del Progetto D6 ("Sviluppo di un modello integrato di Smart District urbano").

Le attività del Sotto-Obiettivo d.1 hanno riguardato la progettazione e lo sviluppo di un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS, denominato CIPCast) con finalità operative e di simulazione, concepito come piattaforma per la sicurezza delle Infrastrutture Critiche (CI), con particolare riguardo al sistema elettrico ed alle sue vulnerabilità.

Nel corso del Piano Annuale di Realizzazione 2017 (PAR2017) è stato completato lo sviluppo del sistema e ne sono state testate le funzionalità (di base e specializzate), concordemente con quanto definito e sviluppato nel corso delle precedenti annualità. Per la stima degli impatti dei guasti e la valutazione della resilienza sui sistemi di CI del distretto, sono stati integrati nel DSS strumenti e metodologie per l'esecuzione di analisi di *risk assessment* e sviluppati metodi e innovativi basati su tecniche semantiche. Inoltre sono stati integrati dati da drone ed è stato implementato l'interscambio con la SmarCityPlatform.

Nel complesso, pertanto, la piattaforma DSS CIPCast consente di valutare le vulnerabilità ed i rischi per le CI, elaborare scenari, nonché supportare le azioni volte ad incrementare la resilienza complessiva del sistema-distretto.

1 Introduzione

In una città che mira ad essere resiliente, un distretto urbano “*smart*” è un sistema capace di adeguarsi alle sollecitazioni endogene o esogene, riuscendo ad esprimere una capacità adattiva cosiddetta “*all hazards*”, vale a dire in relazione alle molteplici sorgenti di perturbazione - ambientali, sociali, infrastrutturali - che lo sollecitano. Un tale sistema, quindi, si modifica sotto le spinte perturbative costruendo risposte tecnologiche, sociali e ambientali nuove che permettano di resistere nel lungo periodo alle sollecitazioni dell’ambiente e del territorio in senso più ampio. In un contesto quale quello attuale dove le spinte sono molteplici e si avvicinano con continuità e rapidità, il concetto di resilienza è rapidamente assunto al ruolo di proprietà guida per la gestione di un distretto urbano.

In questo quadro generale, le Infrastrutture Critiche (CI), con particolare riguardo a quelle legate al sistema elettrico, rivestono un ruolo importante, specie se viste quali elementi essenziali dell’erogazione dei servizi primari ai cittadini, così come la loro gestione “resiliente”. In questo senso, il monitoraggio e la gestione delle CI, particolarmente per gli aspetti legati alla valutazione del rischio, richiedono l’individuazione di soluzioni in grado di affrontare le molteplici esigenze di tipo tecnologico, ambientale, etc..

Tuttavia, anche in situazioni non perturbate, l’adattamento del sistema urbano a situazioni anche su scale di tempo molto piccole (eventi meteo-climatici estremi, situazioni d’improvvisa congestione urbana, etc.) richiede un notevole supporto anche da parte dei sistemi delle CI. In questo senso, è evidente come queste siano rilevanti per fornire comportamenti resilienti al sistema urbano stesso. Per garantire dunque queste “prestazioni”, sia in tempi non perturbati sia in situazioni di crisi, i processi decisionali facenti capo a vari soggetti, quali operatori/gestori di CI, organi di Protezione Civile, e via dicendo, devono essere in grado di esaminare le vulnerabilità, gestire le situazioni rischio e, conseguentemente, definire operazioni/strategie da attuare per rispondere a determinate esigenze.

In una complessa area metropolitana come quella di Roma (individuata come area di test per le attività svolte nella corrente annualità e descritte nel presente Report) dove fondamentale è la tutela dei cittadini e dei beni, i processi decisionali in situazioni critiche dipendono dalla disponibilità e dall’analisi di un ampio set di informazioni, relative alla sicurezza del territorio, al funzionamento delle infrastrutture tecnologiche che forniscono servizi primari – quali i sistemi elettrici - e al rischio in corrispondenza di determinati punti di interesse (ad es., ospedali, edifici pubblici, etc.). In simili contesti, strategie di valutazione dei rischi e approcci alla mitigazione di impatti di situazioni di crisi, inoltre, non possono essere affrontati sulla base di un approccio “linearizzato” entro il quale ogni singolo settore sia considerato e analizzato indipendentemente dagli altri: molte e diverse sono, infatti, le dipendenze e le interdipendenze tra i vari settori che fanno in modo che un guasto in un settore possa riverberarsi su molti altri, in alcuni casi ricevendo da questi ulteriori *feedback* perturbativi in grado di ulteriormente amplificare gli effetti.

Un siffatto approccio integrato, mirato alla previsione e alla riduzione degli impatti di catene di eventi, può consentire di rafforzare la resilienza di tutto il sistema ossia la capacità del sistema di ripristinare in modo rapido ed efficiente la propria situazione di equilibrio dopo una perturbazione, migliorando la previsione di eventi perturbativi - ad esempio, di origine naturale - e facendo leva su un ampio insieme d’informazioni provenienti dai diversi settori (società, infrastrutture, servizi primari, ambiente, ecc.).

Nello spirito di tale approccio, il Laboratorio “Analisi e Protezione delle Infrastrutture Critiche” (APIC) dell’ENEA, in collaborazione con il laboratorio DTE-FSN-DIN dell’ENEA e con le Università di Roma “Sapienza, L’Aquila e Salerno, nel corso delle tre annualità del presente Accordo di Programma ha portato avanti lo sviluppo e l’implementazione del Sistema di Supporto alle Decisioni (*Decision Support System*, DSS), denominato **CIPCast**, con finalità operative e di simulazione, concepito come piattaforma per la sicurezza delle Infrastrutture Critiche (CI), con particolare riguardo al sistema elettrico ed alle sue vulnerabilità. Nei seguenti paragrafi saranno descritte in dettaglio le principali componenti e funzionalità della piattaforma CIPCast.

In questo Paragrafo introduttivo, tuttavia, è importante sottolineare che tra le funzionalità principali che CIPCast fornisce vi è la valutazione del rischio indotto da eventi naturali. L'aumento di resilienza dei sistemi tecnologici passa, infatti, attraverso un'adeguata previsione degli eventi (laddove prevedibili, come ad esempio quelli meteo-climatici) ed una stima degli impatti complessivi indotti da guasti causati da tali eventi sulle CI.

Il problema della propagazione dei guasti nelle CI è particolarmente complesso, a causa del forte livello di dipendenza e interdipendenza che le caratterizza: un guasto su una CI, oltre ad avere un effetto sul suo funzionamento, ha in genere conseguenze anche importanti su altre CI alle quali essa sia funzionalmente legata. In questo senso, le stime degli impatti dei guasti hanno, in genere, una valenza molto maggiore di quelli stimabili da analisi sulle singole infrastrutture.

Ricapitolando, il DSS CIPCast è stato progettato per valutare la probabilità di attesa di danni a partire dagli effetti previsti di eventi naturali estremi quali precipitazioni intense, esondazioni o dalla simulazione di altri non prevedibili (e.g. i terremoti) e, quindi, fornire una stima di quali potrebbero essere i danni alle CI tendendo presenti le specifiche vulnerabilità degli elementi oggetto di monitoraggio. Tali "scenari di crisi" possono essere rappresentati sia sotto forma di mappe degli elementi delle CI di cui si prevedono guasti o riduzioni del funzionamento in conseguenza degli eventi naturali, visualizzati attraverso l'interfaccia geografica del DSS e, quindi, condivisi con gli utenti finali (operatori/gestori delle CI, autorità di Protezione Civile, etc.). Gli operatori della CI, in particolare, attraverso le simulazioni da loro gestite, potranno essere supportati adeguatamente nel valutare le conseguenze sulla loro infrastruttura di competenza (ad es., riduzioni previste dei carichi elettrici, etc.).

2 Obiettivo delle attività e risultati

Come descritto nel Paragrafo introduttivo, 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**, in sintesi, erano i seguenti:

1. Sviluppo della piattaforma DSS per la sicurezza delle Infrastrutture Critiche (CI) dello Smart District (CIPCast).
2. Definizione Data Model, GeoDatabase e Workflow DSS. Modelli semantici di rischio.
3. Analisi di risk forecast/assessment.
4. Stima degli impatti dei guasti e valutazione della resilienza di una rete elettrica interconnessa.
5. Integrazione dei dati da drone nel DSS. Interazione del DSS con la SmartCityPlatform.
6. Implementazione front-end DSS (WebGIS).

Nel corso del presente Piano Annuale di Realizzazione, PAR2017, è stato completato lo sviluppo del sistema e ne sono state testate le funzionalità (di base e specializzate), concordemente con quanto definito nella fase di studio di fattibilità (svolta nella prima annualità, PAR2015, cfr. Report RdS/PAR2015/016, "La piattaforma per la sicurezza delle infrastrutture critiche") e con quanto implementato nel corso della seconda annualità (PAR2016, cfr. Report RdS/PAR2016/020, "Realizzazione del DSS per la sicurezza delle infrastrutture critiche (CI) del distretto").

Nello specifico, è stata ultimata la realizzazione del GeoDatabase, opportunamente strutturato per la gestione di una vasta mole di dati geolocalizzati e informazioni territoriali del distretto. Quindi, è stato completato lo sviluppo del DSS di tipo GIS-based (secondo l'architettura definita nel Report RdS/PAR2015/016), articolato nei suoi specifici moduli funzionali (gestione dati, analisi di rischio e impatti, interfaccia geografica, etc.), per la sicurezza delle CI del distretto. Esso consente di valutare le vulnerabilità ed i rischi per le CI, elaborare scenari, nonché supportare le azioni volte ad incrementare la resilienza complessiva del sistema-distretto.

Quindi, un aspetto peculiare ed innovativo delle attività svolte nella presente annualità ha riguardato lo sviluppo di metodi e strumenti originali basati su tecniche semantiche di supporto alla gestione collaborativa di emergenze: a tal fine, si è proceduto all'integrazione del DSS con un sistema software per la gestione della conoscenza ontologica relativa ai rischi delle CI.

Per quanto riguarda l'analisi e la stima del rischio, sono state definite una serie di metodologie che hanno permesso l'integrazione nel DSS di strumenti per:

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

Nella valutazione del rischio delle CI del distretto, è stata altresì presa in considerazione l'interdipendenza tra diversi sistemi (quali, ad esempio, quello elettrico e quello idrico).

Infine, le attività del Sotto-Obiettivo d.1 si sono strettamente coordinate con quelle definite nel Sotto-Obiettivo d.2 per l'integrazione dei dati da drone e con quelle legate all'interazione del DSS con la SmartCityPlatform (definita e sviluppata nell'ambito dell'Obiettivo a del Progetto D6, cfr. Report RdS/PAR2017/040).

Nell'ambito delle summenzionate 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 valutazione e la previsione del rischio e degli impatti sulle infrastrutture 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: "Metriche e modelli di resilienza multi-rischio per il sistema elettrico" (Referenti: Prof. Massimo Pompili ed Alberto Geri).
- Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile (DICIV). Accordo di Collaborazione per attività di ricerca dal titolo: "Definizione di scenari di funzionamento di una rete acquedottistica in funzione di scenari di funzionamento della rete elettrica in situazioni straordinarie" (referente: Prof.ssa Antonia Longobardi).

I principali risultati ottenuti possono essere elencati come di seguito riportato:

- Completamento dell'implementazione delle funzionalità di base e specializzate del DSS. Rilascio del DSS con moduli per elaborazione di scenari, simulazioni, impatto e conseguenze, strategie.
- Definizione di un sistema per la geolocalizzazione di modelli semantici di rischio nella Piattaforma DSS.
- Analisi meteo-idrologica: valutazione del rischio e degli impatti sulle CI (in collaborazione con il DSFC - Università dell'Aquila).
- Definizione di metriche e modelli di resilienza multi-rischio per il sistema elettrico (in collaborazione con il DIAEE - Università di Roma «La Sapienza»).
- Dipendenza del funzionamento di una rete acquedottistica dalle condizioni di operatività della rete elettrica in situazioni straordinarie (in collaborazione con il DICIV – Università di Salerno)
- Implementazione nel DSS dell'approccio la stima degli impatti dei guasti e la valutazione della resilienza di una rete elettrica interconnessa.
- Integrazione dati da drone e interazione con la piattaforma ICT per la gestione dello smart district.
- Rilascio dell'interfaccia applicativa avanzata del DSS front-end di tipo WebGIS

3 La Piattaforma DSS CIPCast

3.1 Implementazione e sviluppo della piattaforma

Nel corso della presente annualità 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/PAR2015/01 e Report RdS/PAR2016/020).

Una volta definito il modello di architettura del DSS più adatto agli scopi progettuali (quello di tipo *server-side*) e sviluppata la relativa interfaccia geografica (GUI, di tipo WebGIS), la piattaforma CIPCast consente di eseguire analisi spaziali (*geoprocessing*) e valutazioni di vulnerabilità e rischio sulle CI d'interesse. La specifica SDI (*Spatial Data Infrastructure*, Infrastruttura di Dati Territoriali) su cui il sistema si poggia, ed il cui sviluppo operativo è proseguito anche nel corso della presente annualità, consente per la gestione di grandi quantità di strati informativi territoriali e la loro coerente utilizzazione all'interno di applicazioni software avanzate per l'analisi di impatto sulle CI.

Al termine di tale fase di sviluppo, pertanto, il DSS 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.). In particolare, nel corso delle attività del PAR2017 ed in continuità con le annualità precedenti, le summenzionate funzionalità della Piattaforma CIPCast sono state implementate e testate per il monitoraggio della rete di distribuzione elettrica dell'area metropolitana di Roma, gestita da Areti S.p.a., società del gruppo ACEA. Dal punto di vista simulativo, inoltre, è proseguito lo sviluppo dell'applicativo CIPCast-ES (*Earthquake Simulator*), che costituisce il modulo di analisi del rischio sismico della Piattaforma DSS. Per implementare la Piattaforma CIPCast ed offrire agli utenti la possibilità di utilizzarla in maniera efficace e accessibile on-line, è stata definita la specifica architettura di tipo *multi-tier* riportata in Figura 1 (per la cui descrizione approfondita si rimanda al Report RdS/PAR2016/020).

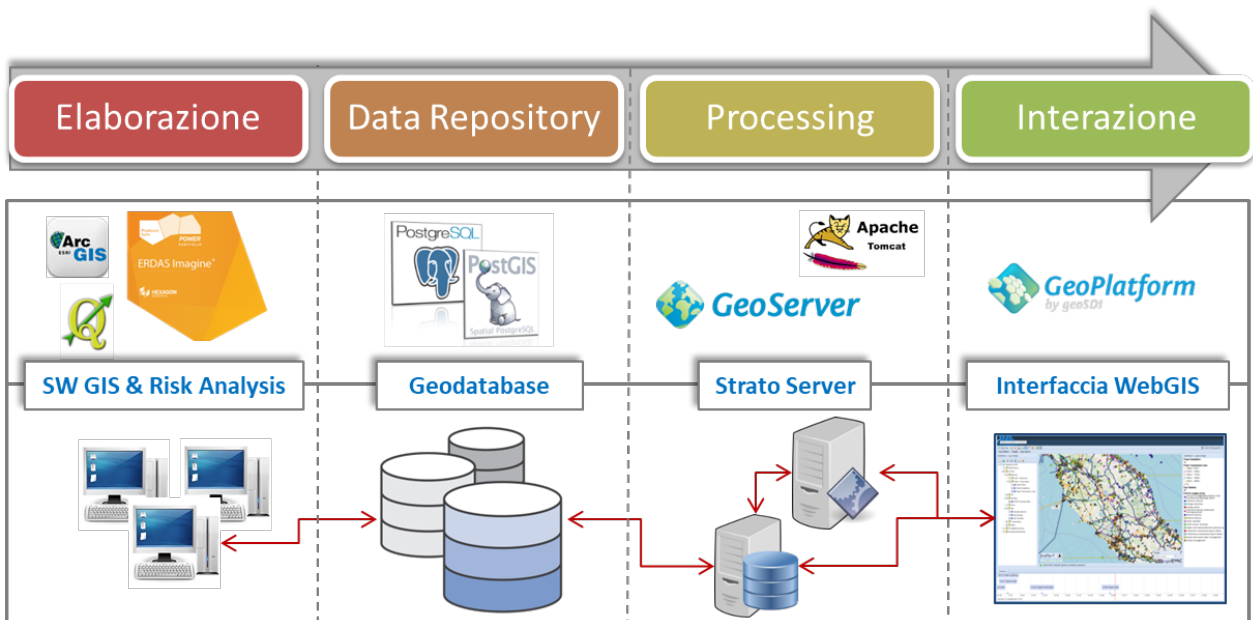


Figura 1. Architettura *multi-tier* della Piattaforma DSS CIPCast

In sintesi, i quattro strati provvedono rispettivamente alla: (i) *Elaborazione* (preparazione dei dati, definizione ed esecuzione delle analisi spaziali, valutazione del rischio, etc.); (ii) *Data Repository*

(archiviazione dati e metadati nel GeoDatabase); (iii) *Processing* (applicativi server, per gestire/acquisire i dati, archivarli, elaborarli e pubblicarli via Web); (iv) *Interazione* (interfaccia WebGIS).

Tutte le mappe e gli strati informativi, sia disponibili come dati di base, sia prodotti nell'ambito delle correnti attività, sono stati organizzati per essere utilizzati nell'ambito della Piattaforma CIPCast e per essere visualizzati ed interrogati mediante l'interfaccia WebGIS. Il GeoDatabase del DSS (per le cui specifiche di realizzazione si rimanda ai Report RdS/PAR2015/016 e RdS/PAR2016/020) è stato opportunamente strutturato e organizzato, non solo per gestire i vari strati informativi utilizzati, ma anche per valutare e tenere conto delle "vulnerabilità specifiche" (e.g. relative a diversi tipi di pericolosità) di ogni singolo elemento infrastrutturale (edifici, cabine elettriche, cavi, etc.). A tal fine, è stato innanzitutto costruito un apposito *Data Model*, sulla base del quale ogni generica CI è stata definita secondo le classi specifiche, a loro volta suddivise in sottoclassi distinte, via via più dettagliate e modellate come un grafo (cfr. RdS/PAR2016/020). Su tale Data Model si poggia, quindi, l'utilizzo dei dati nei vari processi elaborativi e di simulazione (descritti nei successivi Paragrafi).

In virtù di tali sviluppi ed implementazioni, nella versione rilasciata al termine della presente annualità CIPCast è dotato delle seguenti funzionalità:

- a) condivisione delle informazioni territoriali ed ambientali;
- b) gestione ed elaborazione dati geospaziali di interesse;
- c) acquisizione dati dal campo (dati meteo-climatici, eventi sismici, etc.);
- d) localizzazione e monitoraggio delle CI;
- e) elaborazione di: analisi spaziali, scenari, simulazioni.

La Piattaforma CIPCast è stata organizzata secondo una sequenza di blocchi funzionali che ne implementano il *Workflow* operativo e simulativo (cfr. Report RdS/PAR2016/020): in tal modo, è possibile stimare una serie di fattori di rischio e di potenziale danno, che il verificarsi di un dato evento potrebbe causare nei sistemi tecnologici. Effettuata una stima del rischio, CIPCast può supportare gli utenti, fornendo informazioni specifiche sullo scenario atteso. Il DSS, pertanto può lavorare sia in modalità operativa (dati effettivi, acquisiti in *real-time*) che simulativa (modulo applicativo CIPCast-ES). In entrambe le modalità, sulla base della conoscenza della posizione geografica degli elementi delle CI dell'area di interesse, CIPCast permette di valutare per ciascun elemento delle CI di interesse il possibile livello di danno atteso, in funzione del tipo di evento previsto (e della sua intensità): il risultato consiste nella elaborazione di uno scenario di danneggiamento atteso.

Nello specifico, in modalità operativa il *Workflow* di CIPCast è il seguente: (i) acquisizione in real-time di dati di differente natura (ad es., previsioni meteo, operatività delle infrastrutture monitorate, etc.): (ii) monitoraggio e valutazione del rischio connesso ad eventi naturali estremi (ad es., precipitazioni intense previste a breve o medio termine, esondazioni, etc.); (iii) elaborazione di uno scenario di rischio potenziale per le CI monitorate (e.g., tenendo presenti le specifiche vulnerabilità degli elementi della rete elettrica di interesse).

In modalità simulativa, invece, tramite il modulo elaborativo CIPCast-ES, il DSS consente di simulare terremoti e valutare gli scenari (deterministici) di rischio sul patrimonio edilizio e sulle infrastrutture critiche la cui vulnerabilità è nota. Nel caso della simulazione, pertanto, dal punto di vista del flusso operativo, inserendo in input i dati e i parametri relativi ad un terremoto simulato (ad esempio, magnitudo, epicentro e profondità di un evento realmente accaduto in una certa area), CIPCast-ES consente di valutare/simulare:

- a) l'intensità macrosismica;
- b) il livello di danno degli edifici e sulle CI sulla base degli specifici dati di vulnerabilità;

- c) le eventuali vittime e persone da evacuare incrociando il livelli informativi relativi al danno atteso e i dati del censimento della popolazione;
- d) edifici/elementi strategici isolati o danneggiati e loro dipendenza dalla rete elettrica.

Nei prossimi sviluppi è prevista anche la possibilità di stimare i volumi di detriti e le conseguenti ostruzione delle strade, effettuando anche una analisi di connettività del grafo stradale;

3.1.1 Il Workflow di CIPCast

Il DSS CIPCast è uno strumento che permette di effettuare analisi di rischio per infrastrutture critiche (CI) presenti nel territorio di interesse. La piattaforma è stata organizzata secondo una sequenza di blocchi funzionali (cfr. Report RdS/PAR2016/020) che implementano le suddette funzionalità e ne consentono un utilizzo efficace.

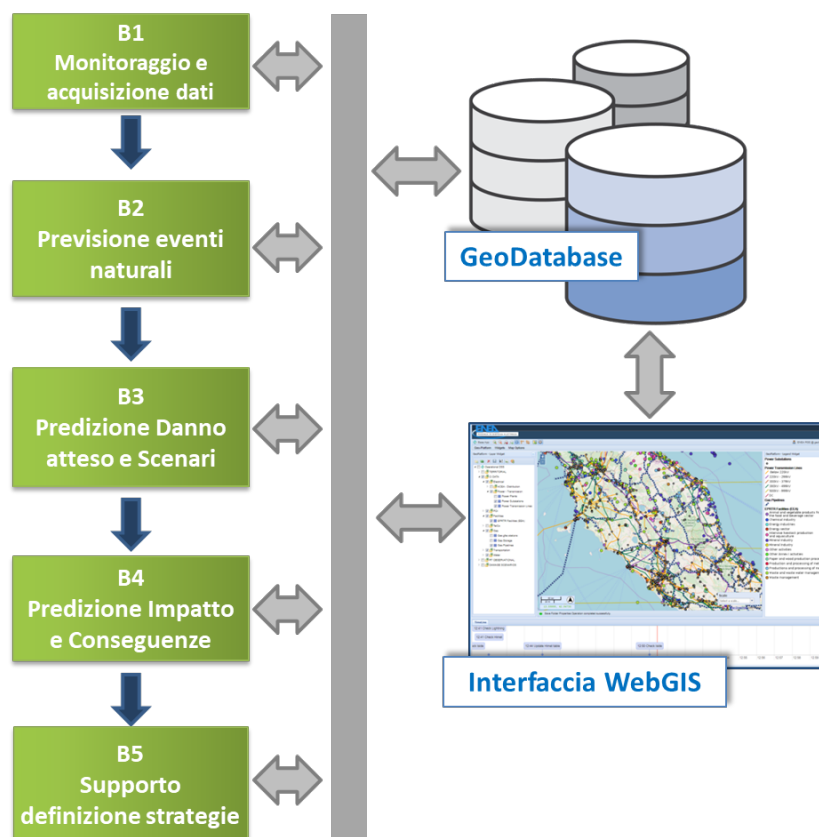


Figura 2. Schema a blocchi funzionali della Piattaforma DSS

Come descritto nel precedente Paragrafo, alla base del *Workflow* della piattaforma vi è la necessità di stimare una serie di fattori di rischio e di potenziale danno che uno specifico evento potrebbe causare nei sistemi tecnologici. Quindi, effettuata la stima del rischio, il DSS è chiamato a supportare gli operatori di CI ed, eventualmente, i gestori dell'emergenza, fornendo informazioni specifiche sullo scenario atteso. In Figura 2, sono schematizzati i principali blocchi funzionali (B_i) della Piattaforma DSS:

- B1. *Monitoraggio e acquisizione dati* (GeoDatabase): il DSS acquisisce dati esterni da molte fonti diverse (ad esempio, dati meteo, eventi sismici, etc.) per stabilire le attuali condizioni esterne.
- B2. *Previsione eventi naturali* (ad es., precipitazione intense, esondazioni, etc.): il DSS stima l'intensità della manifestazione attesa, nel caso di eventi prevedibili (e.g. meteo).

- B3. *Predizione danno atteso e scenari*: il DSS correla l'intensità degli eventi (*hazard*) attesi alla vulnerabilità dei diversi componenti delle CI situati nell'area interessata. Lo scenario di danno viene valutato e prodotto per tutti i componenti delle CI che presentano un'elevata probabilità di danneggiamento a causa dell'evento avverso.
- B4. *Predizione impatto e conseguenze* sui servizi erogati dalle CI (elettricità, telecomunicazioni, etc.) e stima delle conseguenze.
- B5. *Supporto definizione strategie* di gestione delle emergenze o di mitigazione del danno.

In sintesi, seguendo il flusso di lavoro sopra descritto, il DSS CIPCast, a partire da dati esterni (Blocco B1, sensori da stazioni di rilevamento pubbliche, previsioni meteo e di *nowcasting*, dati di terremoto, dati da droni, etc.) elabora una previsione (B2) e costruisce uno "scenario" (B3), contenente gli eventi attesi, la loro intensità, fornendo una stima di impatti e conseguenze (B4). Per la descrizione in maggior dettaglio si rimanda al Report RdS/PAR2016/020)

Per quanto riguarda, infine, l'ultimo modulo (B5), il suo sviluppo è stato in particolare oggetto della presente annualità. Esso si occupa di fornire adeguato supporto decisionale e consente di ordinare, secondo metriche di categorizzazione del rischio, configurabili dall'utente finale del DSS, un insieme di punti di interesse relativamente ad specifiche minacce naturali (terremoti, alluvioni, frane) che possono essere statiche oppure rilevate real-time. Il valore aggiunto della Piattaforma, in quest'ultimo caso, è quello di offrire al decisore uno strumento per esprimere i punti d'interesse (e.g. ospedali, edifici pubblici, etc.) più a rischio a seconda della minaccia considerata, della vulnerabilità alla minaccia e della criticità.

3.1.2 Modello dei dati

Il GeoDatabase di CIPCast (implementato in ambiente PostgreSQL/PostGIS¹, come descritto nel Report RdS/PAR2015/016) è stato opportunamente strutturato e organizzato, non solo per gestire i vari strati informativi (*layers*) utilizzati nel DSS, ma anche per tenere conto (e valutare) le "vulnerabilità specifiche" (e.g. relative a diversi tipi di *hazard*) di ogni singolo elemento infrastrutturale (edifici, cabine elettriche, cavi, etc.). A tal fine, nella precedente annualità, è stato definito e costruito un apposito *Data Model*, sulla base del quale ogni generica CI è stata definita secondo le classi *Building* (edifici o strutture riconducibili all'edificato) e *Network* (infrastrutture a rete e loro componenti), a loro volta suddivise in specifiche sottoclassi, via via più dettagliate e modellate come un grafo (ogni sottoclasse può contenere altre sottoclassi specifiche, in base alla tipologia e alle funzioni dell'infrastruttura considerata).

Sul *Data Model* precedentemente definito si poggia, pertanto, l'utilizzo dei dati archiviati nel GeoDatabase. Ad esempio, nel processo di simulazione sismica e della conseguente stima dei danni sugli edifici e sulle infrastrutture, il GeoDatabase alimenta il DSS mediante dati "statici" (ad esempio, le caratteristiche strutturali degli edifici e dei singoli componenti delle infrastrutture) e dinamici (ad esempio, le stime di danneggiamento degli edifici o del livello di servizio fornito dalle infrastrutture). L'elenco completo dei dati e degli strati informativi gestiti e/o archiviati nella Piattaforma DSS è riportato e descritto in dettaglio nel Report RdS/PAR2016/020.

Nella presente annualità, al fine di effettuare l'integrazione nella piattaforma DSS di un sistema per la geolocalizzazione di modelli semantici di rischio (successivamente descritta nel Paragrafo 3.2), onde poter effettuare una valutazione della criticità di specifici punti di interesse, è stata aggiunto un ulteriore strato informativo riguardante l'insieme di tali punti di interesse ("Point Of Interest", nel seguito identificato come POI) della provincia di Roma. Uno o più generici POI rappresentano entità che sono alimentate elettricamente da una sottostazione elettrica ("SecondarySubstation") della rete di distribuzione elettrica Areti, che prevede un certo numero di utenti elettrici ("inhabitants").

¹ <https://www.postgresql.org/>, <http://postgis.net/>

3.2 Sistema per la geolocalizzazione di modelli semantici di rischio

In questo Paragrafo, viene descritta l'attività di progettazione e sviluppo di un sistema integrato che ha l'obiettivo di generare modelli concettuali da utilizzare per la valutazione del rischio di un'area geografica, come un quartiere, una città, una regione o, finanche, l'intero territorio nazionale.

Il sistema realizzato consiste di quattro componenti principali, una delle quali è – appunto – **CIPCast** e le altre tre sono le seguenti:

- **CREAM (CREativity Machine)** [De Nicola et al., 2018], uno strumento per la generazione automatica di modelli concettuali di rischio che si basa su tecniche semantiche e di creatività computazionale;
- **TERMINUS (TERritorial Management and INfrastructures ontology for institutional and industrial USage)** [Coletti et al., 2018-b], un'ontologia di dominio relativa alla conoscenza sull'ambiente, sulle infrastrutture critiche e sui rischi relativi;
- **ICE (Innovation through Collaborative Environment)** [Coletti et al., 2017], un'applicazione mobile basata su tecniche di gamification per la modellazione partecipativa di rischi.

Nel seguito (cfr. Par. 4.4), inoltre, verranno presentati i risultati di una sperimentazione della suite software finalizzata alla valutazione del rischio in aree di interesse nella città di Roma.

La tecnologia sviluppata ha l'obiettivo di essere di supporto all'operatore della rete elettrica e/o all'operatore della Protezione Civile nella valutazione di piani preventivi d'intervento o emergenza che tengano conto della criticità dell'area interessata nei confronti di fenomeni antropici e/o naturali (e.g., blackout, terremoti, allagamenti, frane).

Nel dettaglio le attività svolte sono state le seguenti:

1. Definizione di un metodo per il *risk assessment* geolocalizzato basato su tecniche semantiche.
2. Definizione dell'architettura di una piattaforma software per il *risk assessment* geolocalizzato.
3. Definizione di una struttura concettuale (i.e. *ontology design pattern*) per la modellazione del rischio.
4. Definizione delle proprietà da utilizzare per stimare la rilevanza del rischio.
5. Implementazione della piattaforma software (interfaccia, logica applicativa e *knowledge base*).
6. Realizzazione di un caso di studio per la città di Roma:
 - a. Identificazione dei POI e raccolta dati associati
 - b. Estensione *knowledge base*.
 - c. Annotazione semantica del sistema informativo geografico per la città di Roma.
 - d. Valorizzazione delle proprietà per la stima della rilevanza dei rischi.
 - e. Utilizzo della piattaforma per il *risk assessment* in due zone della città di Roma.

3.2.1 Un nuovo approccio per il risk assessment geolocalizzato

Il metodo per il *risk assessment* geolocalizzato proposto ha l'obiettivo di fornire un'analisi del rischio dovuto ad eventi naturali che incidono su un territorio urbano. Tale metodo è stato concepito per essere di supporto nelle fasi di preparazione e pianificazione dell'emergenza permettendo di geolocalizzare i possibili rischi sui punti di interesse. Esso prevede che la mappa del territorio visualizzata dall'applicazione CIPCast sia annotata semanticamente con i concetti di un'ontologia di dominio.

Successivamente grazie a WS-CREAM, una nuova applicazione sviluppata da ENEA che implementa tecniche di *reasoning* semantico, sono generati i possibili rischi che a seguito di una validazione da parte di esperti

potranno essere aggiunti ad un *knowledge* base di rischi. Nei Paragrafi immediatamente seguenti sono descritti i dettagli dell'architettura software; nel Paragrafo 4.4, invece, è presentato un caso di studio localizzato nella città di Roma ed utilizzato per testare il metodo proposto.

3.2.2 Architettura software

L'architettura della piattaforma DSS CIPCast, estesa con le nuove funzioni per la geolocalizzazione di rappresentazioni semantiche di rischio, è illustrata in [Coletti et al., 2018-a]. Nello specifico, l'architettura mostra i componenti del sistema integrato, ossia:

- l'interfaccia WebGis di CIPCast (*front-end*), che, in aggiunta alle precedenti funzionalità, consente di richiedere e visualizzare descrizioni semantiche dei rischi associati a punti d'interesse distribuiti in una data area geografica;
- la componente server del DSS CIPCast, per la gestione ed elaborazione di dati geolocalizzati, come descritto in dettaglio nel Paragrafo 3.1;
- l'ontologia TERMINUS che formalizza la conoscenza su: sistemi (inclusi infrastrutture e servizi) presenti su un territorio, con associati tipi di vulnerabilità; *stakeholders* di tali sistemi (inclusi lavoratori, decisori amministrativi e utenti dei servizi); eventi naturali avversi e tipi di danni sui sistemi che possono essere da questi causati;
- WS-CREAM, un *web-service* dedicato alla generazione automatica di descrizioni semantiche di rischio relativi agli oggetti d'interesse di un dato contesto geografico, e loro classificazione per rilevanza, come descritto nel successivo Paragrafo 3.2.4.

Allo scopo di mantenere il più possibile disaccoppiate le funzioni della componente server del DSS CIPCast da quella di WS-CREAM, è stato realizzato un modulo software intermedio, dedicato alla gestione dell'interazione con tali componenti, che raccoglie le richieste utente dall'interfaccia WebGIS, relative alle descrizioni semantiche dei rischi, abilita il flusso dati verso gli altri due componenti, e assembla le risposte da visualizzare. In particolare, la Figura 3 mostra il tipo d'interazione tra i componenti dell'architettura, che consente il seguente flusso di controllo e di dati attivato da una richiesta utente.

1. L'utente seleziona un'area geografica dalla mappa dell'interfaccia web, e, facoltativamente, un tipo di evento naturale (e.g., inondazione), volendo conoscere i tipi di rischi originati da eventi naturali avversi sui punti d'interesse che ricadono in quell'area.
2. Il componente software *Semantic data Integrator*, che recepisce questo messaggio di richiesta dell'utente, invoca una funzione del DSS CIPCast per ottenere la lista dei punti d'interesse ricadenti nell'area, e loro caratteristiche specifiche.
3. Il DSS CIPCast elabora la richiesta e restituisce la lista dei punti d'interesse con associati: annotazione semantica che specifica il tipo di sistema (e.g., ospedale); lista di proprietà fisiche e geografiche del punto d'interesse per la definizione dei rischi (e.g., vulnerabilità strutturale dell'edificio che lo ospita e/o livello di rischio inondazione della punto geografico in cui è situato).
4. Il *Semantic data Integrator* costruisce il messaggio di input per il componente WS-CREAM, nella sintassi attesa da quest'ultimo, e lo invia.
5. WS-CREAM elabora la richiesta interrogando l'ontologia TERMINUS, e restituisce, per ogni punto d'interesse, una lista di modelli semantici di rischio, ordinata per grado di rilevanza.
6. Il *Semantic data Integrator* decodifica il risultato e inoltra i dati all'interfaccia WebGIS per la visualizzazione sulla mappa.

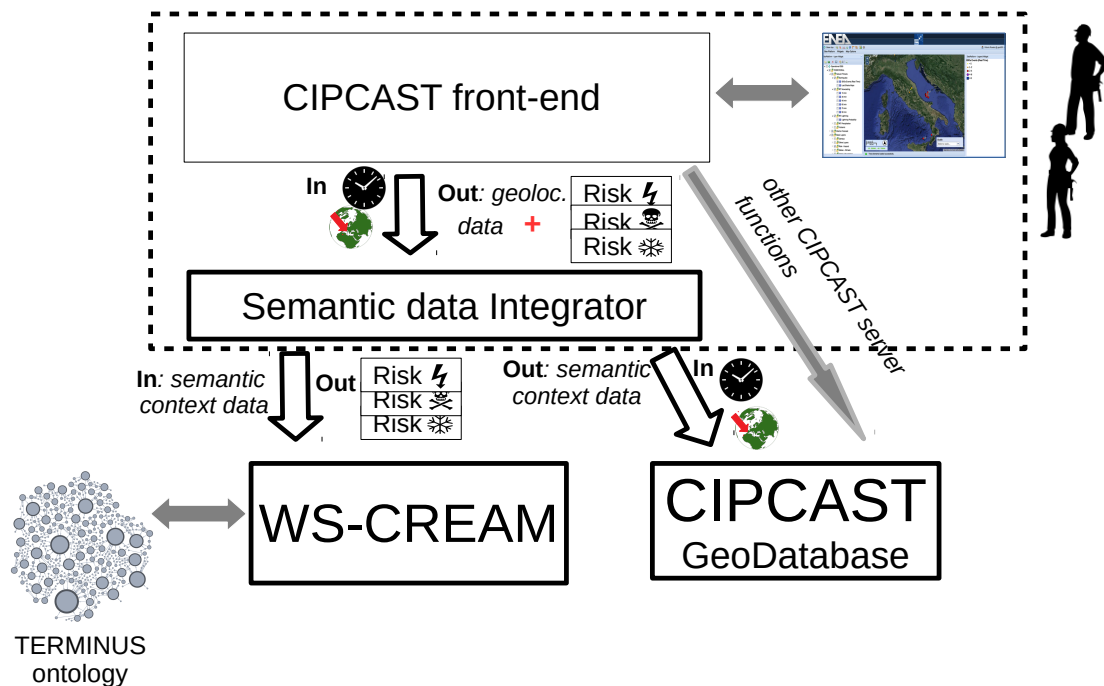


Figura 3. Architettura software del sistema che evidenzia l'interoperabilità del DSS CIPCast con i componenti software per la gestione delle rappresentazioni concettuali dei rischi

3.2.3 Un modello semantico per la rappresentazione del territorio, della sua gestione e delle CI

TERMINUS (*TERritorial Management and INfrastructures ontology for institutional and industrial USage*) [Coletti et al., 2017] è un'ontologia di dominio che raccoglie conoscenza riguardante il territorio, l'ambiente, le infrastrutture critiche ed i rischi relativi. Un'ontologia è una specifica formale ed esplicita di una concettualizzazione condivisa [Gruber, 1993; Borst, 1997]. Essa definisce concetti, relazioni e assiomi rilevanti per la modellazione di un dominio. TERMINUS è un'ontologia strutturata che è stata costruita estendendo alcuni *ontology design pattern* predefiniti. Un *ontology design pattern (ODP)* è struttura concettuale riusabile che ha l'obiettivo di supportare il processo di *ontology engineering* [Gangemi & Presutti, 2009]. Tra gli ODP utilizzati precedentemente per la costruzione di TERMINUS si citano: il *Vulnerability Upper Model* ODP presentato da Coletti et al., 2016, il *system aspect* ODP presentato da Coletti et al., 2018-b. Nell'ambito delle attività della presente annualità, come descritto in questo Report, è stato definito un nuovo ODP denominato *risk of system service*. Esso consente di rappresentare ontologicamente il rischio per i servizi di una città dovuto a eventi catastrofici come terremoti, inondazioni e frane. Tale ODP è costituito da 5 concetti di alto livello di astrazione (i.e. *upper level concepts*). Essi sono:

- 1) **Hazard**: rappresenta l'evento che pone una di minaccia alla vita, alla proprietà o all'ambiente.
- 2) **Critical_event_of_system**: rappresenta un evento critico per un sistema che può essere conseguenza di un hazard e/o minaccia per un altro sistema.
- 3) **Functional_vulnerability**: rappresenta la causa intrinseca della suscettibilità degli aspetti funzionali di un servizio ai rischi.
- 4) **System_service**: rappresenta il servizio fornito da un sistema.
- 5) **Stakeholder**: rappresenta chi l'agente che ha interesse in un sistema e nei suoi sottosistemi.

La Figura 4 presenta un diagramma delle classi UML che schematizza il *risk of system service* ODP. I concetti che compongono tale design pattern sono presentati sinteticamente in Tabella 1 mentre le relazioni concettuali che li collegano semanticamente sono presentate in Tabella 2.

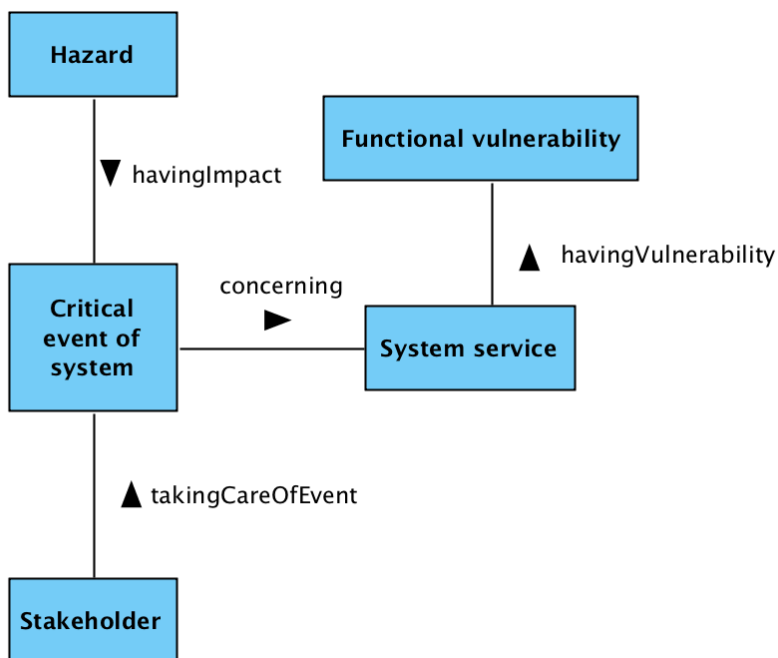


Figura 4 Rappresentazione UML del *risk of system service* ontology design pattern per la modellazione del rischio

Tabella 1. Concetti appartenenti al *risk of system service* ontology design pattern

Concept name	Description
Hazard	Evento che pone una di minaccia alla vita, alla proprietà o all’ambiente
Critical_event_of_system	Evento critico per un sistema che rappresenta l’impatto di un hazard su di esso.
Functional_vulnerability	Causa intrinseca della suscettibilità degli aspetti funzionali di un servizio ai rischi.
System_service	Servizio fornito da un sistema.
Stakeholder	Agente che ha interesse in un sistema e nei suoi sottosistemi.

Tabella 2. Relazioni concettuali del *risk of system service* ontology design pattern

Object property name	Description
havingImpact	Relazione che collega concettualmente un evento esterno al sistema (i.e. Hazard) ad un potenziale evento critico per esso (i.e. Critical_event_of_system).
concerning	Relazione che collega concettualmente un evento critico per un sistema (i.e. Critical_event_of_system) ad uno dei suoi servizi offerti (i.e. System_service).
havingVulnerability	Relazione che collega concettualmente un servizio di un sistema (i.e. System_service) ad una delle sue vulnerabilità funzionali (i.e. Functional_vulnerability)
takingCareOfEvent	Relazione che collega concettualmente uno stakeholder (i.e. Stakeholder) di un sistema ad un evento critico per esso (i.e. Critical_event_of_system).

3.2.4 WS-CREAM

WS-CREAM (*Web Service - CREATivity Machine*) è un'applicazione software realizzata, più in generale, per generare automaticamente descrizioni semantiche di situazioni "possibili" da analizzare, ad esempio di emergenza per una città, o anche idee per l'innovazione. L'obiettivo è di aiutare l'utente, ossia l'analista dei rischi, la protezione civile o il decisore pubblico, nell'attività di immaginare possibili futuri, rilevanti per l'analisi da svolgere (ad esempio per la gestione di emergenze e prevenzione dei rischi). Perciò, WS-CREAM è stato implementato in modo da essere il più possibile indipendente dal dominio, per adattarsi a diversi utilizzi.

Per questo lavoro sull'individuazione dei rischi relativi ai punti d'interesse di una città, WS-CREAM usa una configurazione che specifica:

- il **dominio applicativo**, descritto dall'ontologia TERMINUS;
- la **struttura semantica** dell'informazione sui rischi da rappresentare.

Nel presente lavoro, tale struttura è definita dal design pattern dell'ontologia illustrato in Figura 4, che si riferisce ai tipi di rischi generati da un *hazard*, che impattano su un *servizio*, e quindi coinvolgono una *vulnerabilità funzionale* del punto d'interesse, descritti così come percepiti dai vari tipi di *stakeholder*. In conformità a questo pattern, i tipi di rischi per tutti i punti d'interesse saranno descritti da record della seguente tabella:

[*System service, Hazard, Functional vulnerability, Critical event of system, Stakeholder*] (1)

- la **formula** per calcolare il ranking dei rischi generati. Tale formula indica: le proprietà specifiche del punto d'interesse da considerare (ad esempio la rilevanza dell'*Ospedale Villa San Pietro*); le proprietà più generali che si riferiscono al *tipo* del punto (*ospedale* nell'esempio), contenute nell'ontologia; e l'operazione di aggregazione di queste metriche.

Un esempio di formula utilizzato nel caso di studio è la *media* dei livelli di rilevanza per alcune componenti del pattern, ossia: il *livello di rilevanza* del punto d'interesse (che si riferisce al *valore* o *criticità* del particolare punto all'interno della città, associato al componente *System service* di (1); il *livello di rischio* causato da un evento naturale, riferito al luogo dove si trova il punto d'interesse, associato al componente *Hazard* di (1); il *livello di criticità* di un evento-conseguenza possibile sul punto d'interesse, rispetto ad altri tipi di eventi che potrebbero conseguire, associato al componente *Critical event of system* di (1); il *livello di rilevanza* del tipo di vulnerabilità considerato per il punto d'interesse, rispetto ad altri tipi di vulnerabilità conosciuti, associato al componente *Functional vulnerability* di (1).

Usando tale configurazione, WS-CREAM implementa un metodo che prende in input una lista di punti d'interesse e relative proprietà di contesto; ed eventualmente il tipo di hazard con associate caratteristiche, tutti annotati semanticamente tramite l'ontologia TERMINUS. Il metodo, quindi, usa tecniche avanzate di *semantic reasoning* per interrogare l'ontologia e generare una lista di descrizioni semantiche di possibili rischi, come valori del vettore (1), in cui il componente *System service* specifica il tipo del punto d'interesse indicato in input, ed, eventualmente, il componente *Hazard* specifica il tipo di *hazard* scelto dall'utente. Per ciascun punto d'interesse, il metodo di WS-CREAM calcola il livello di rilevanza stimato di ogni rischio generato (in una scala ordinale da 1 a 5), usando la formula specificata. Il risultato finale è, perciò, una lista di associazioni dei punti d'interesse con l'elenco dei rischi ordinato per rilevanza.

Tale funzionamento è illustrato in Figura 5. WS-CREAM è stato realizzato con tecnologia Java, in particolare: le funzioni d'interrogazione e *reasoning* dell'ontologia utilizzano l'implementazione SPARQL (il linguaggio più comune per il formato RDF/OWL di ontologie) del framework Apache Jena²; l'interfaccia web service

² Apache Jena. A free and open source Java framework for building Semantic Web and Linked Data applications. <https://jena.apache.org>

usa l'implementazione Jersey di JAX-RS³ (Java API for RESTful Web Services), e JSON⁴ come formato di scambio dati.

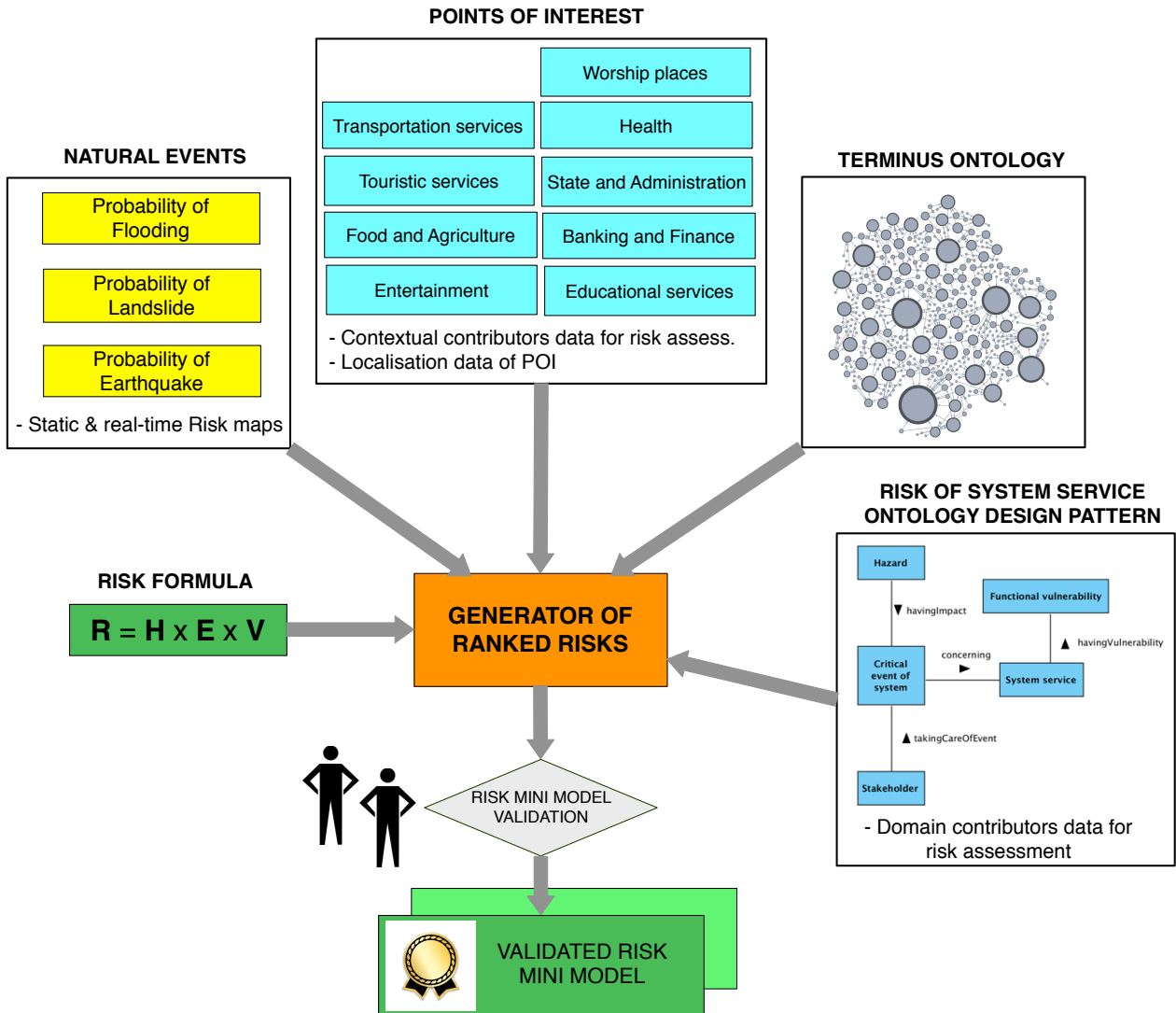


Figura 5. Funzione di generazione ed ordinamento dei rischi

In conclusione, è altresì importante sottolineare come sia auspicabile una ulteriore fase (in aggiunta a quelle elencate nel Par. 3.2.2) dedicata alla validazione dei risultati ottenuti.

³ Java API for RESTful Web Services (JAX-RS). Oracle corporation. <https://github.com/jax-rs>

⁴ JavaScript Object Notation (JSON). <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf>

4 Analisi di risk forecast/assessment

La Piattaforma sviluppata costituisce un innovativo esempio di un DSS finalizzato alla costante analisi del rischio delle CI (con particolare attenzione al sistema elettrico) in un'area metropolitana al fine di coadiuvare - come affermato in precedenza - gli operatori delle CI e l'Autorità Pubblica, come 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.).

Alla luce di tutto ciò, un ruolo fondamentale è rivestito dalle analisi di *risk forecast/assessment*: grazie al loro opportuno sviluppo ed alla loro integrazione nel DSS, è possibile avere a disposizione uno strumento in grado di valutare la probabilità attesa di danni a partire dagli effetti previsti di eventi naturali estremi (precipitazioni intense, esondazioni, terremoti etc.) e, quindi, fornire una stima di quali potrebbero essere gli impatti sulle CI, tenendo presenti le specifiche vulnerabilità degli elementi sotto monitoraggio.

4.1 Modellistica meteorologica ed idrologica per la stima del rischio e degli impatti

Per quanto riguarda le analisi di *risk forecast/assessment* mediante modellistica meteo-idrologica, le attività si sono svolte in collaborazione col Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche (DSFC) dell'Università dell'Aquila. Esse si sono incentrate prevalentemente sullo sviluppo di *tools* operativi per la visualizzazione delle previsioni idrologiche e sulla "specializzazione" di queste previsioni al fine di supportare la valutazione e la previsione del rischio e degli impatti sulle infrastrutture del sistema di distribuzione della rete elettrica nel distretto urbano di interesse. Per una descrizione più estesa delle attività, si rimanda al Report RdS/PAR2017/063 realizzato dall'Università dell'Aquila (DSFC).

La collaborazione ha previsto l'utilizzo del modello idrologico CHyM⁵, sviluppato presso il CETEMPS⁶ dell'Università dell'Aquila e lungamente testato con simulazioni a diverse scale sia spaziali che temporali. Il modello CHyM si presta particolarmente a questo tipo di applicazioni per due sue caratteristiche peculiari. In primo luogo l'architettura del modello consente di assimilare, durante l'integrazione, differenti sorgenti di dati che vengono aggregati sulla griglia del modello secondo uno schema gerarchico che dipende dalla affidabilità dei vari data-sets. Questa caratteristica permette di utilizzare il modello per prevedere, in modalità operativa, gli scenari di precipitazione con la maggior precisione possibile, adattando l'algoritmo ai dati effettivamente disponibili per ogni ora di integrazione (cfr. Report RdS/PAR2015/022 e Report RdS/PAR2016/022). L'altra caratteristica del modello (cfr. Report RdS/PAR2016/022) è la possibilità di prevedere la portata di un arbitrario bacino idrologico, utilizzando un dettagliato schema di parametrizzazione dei diversi fenomeni fisici che contribuiscono al ciclo idrologico ed utilizzando, il campo di precipitazione ricostruito secondo le modalità in precedenza descritte [Tomassetti et al., 2005; Sorooshian et al., 2008].

Nello specifico, sono state implementate le funzionalità (automatiche) di aggiornamento operativo e di mappatura sulla Piattaforma CIPCast dei due indici di allarme BDD (*Best Discharge-based Drainage alarm index*) e CAI (*CHyM Alarm Index*), in modo da avere una visione di assieme sugli eventi meteorologici attesi sul bacino del Tevere e sui bacini limitrofi, e più specificatamente dei loro effetti. Pertanto, sono stati sviluppati una serie di *tool* operativi per la visualizzazione delle previsioni idrologiche e per la "specializzazione" di queste previsioni in modo da supportare la valutazione e la previsione del rischio e

⁵ CHyM (CETEMPS Hydrological Model)

⁶ CETEMPS, Center of Excellence Telesensing of Environment and Model Prediction of Severe events:
<http://cetemps.aquila.infn.it/>

degli impatti sulle infrastrutture del sistema di distribuzione della rete elettrica nel distretto urbano di interesse.

Le simulazioni operative vengono effettuate ogni giorno all'incirca alle ore 4 locali, in maniera da rendere disponibili tutti gli output numerici e grafici già nelle prime ore del mattino. Queste simulazioni coprono un arco temporale che va da 96 ore prima del momento in cui si effettua la simulazione fino alle 24 ore successive. I risultati delle simulazioni vengono quindi resi disponibili in forma sia grafica che numerica su una pagina web⁷ dedicata al progetto, che è divisa in quattro sezioni dove vengono mostrate le sequenze dei campi di precipitazione, gli indici di allarme ed il dettaglio delle sorgenti di dati che sono state utilizzate per la ricostruzione del campo di precipitazione. La precipitazione viene visualizzata come sequenza di 24 mappe che coprono, con risoluzione temporale oraria, l'arco dell'intera giornata "corrente" a partire dalla mezzanotte; la sequenza, di cui un esempio è riportato nella Figura 6, consente una visione sinottica ed immediata degli eventi meteorici attesi nelle ore successive.

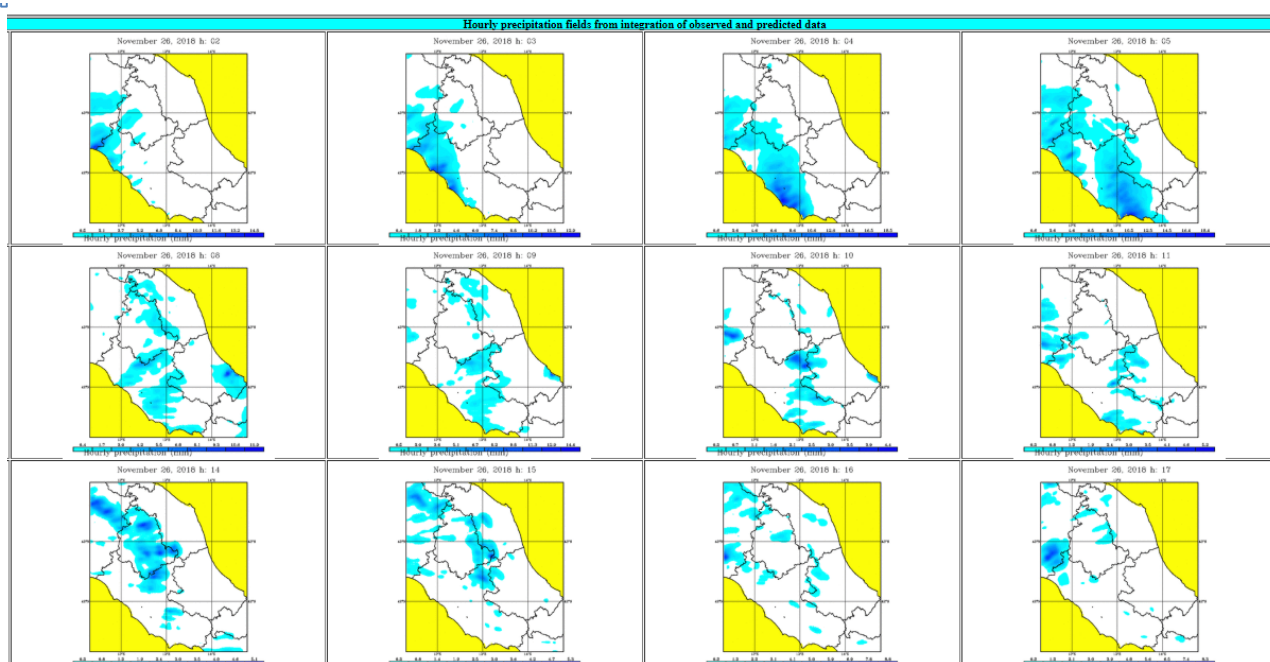


Figura 6. Esempio di sequenza delle mappe di precipitazione

Tutti i file con i dati relativi a precipitazioni e indici di allarme, in formato NetCDF⁸, sono quindi acquisiti automaticamente per essere inseriti (altrettanto automaticamente) all'interno della Piattaforma DSS ed essere visualizzabili e fruibili mediante l'interfaccia WebGIS di CIPCast (Figura 7).

Come caso di studio applicativo, i summenzionati indici di allarme idrologico sono stati "specializzati" per fornire informazioni relative ad un insieme di specifici siti che il gestore della rete di distribuzione elettrica Areti ha indicato di proprio interesse strategico, ai fini dell'operatività della rete e della continuità di servizio (in particolare, sono state selezionate le Cabine Primarie della rete di distribuzione). Per ogni Cabina Primaria è stato individuata la porzione drenante del reticolo idrografico il cui stress può risultare maggiormente critico per l'elemento in questione. Il risultato è sintetizzato in uno strato informativo che

⁷ <http://cetemps.aquila.infn.it/chym/rse/>

⁸ NetCDF (Network Common Data Form): <https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>

riporta, per ogni Cabina Primaria, la sequenza temporale degli indici di allarme ed, eventualmente, una situazione di criticità.

I livelli di allerta per gli indici di allarme idrologico sono stati stabiliti sulla base della simulazione di eventi severi che si sono verificati in anni recenti e hanno interessato il Lazio e la zona di Roma in particolare. A tal fine, sono stati individuati e definiti una serie di eventi storici critici da utilizzare come riferimento per la messa a punto dell'approccio: tali eventi hanno rappresentato i casi di studio analizzati e sono stati concordati e individuati con il supporto di Areti.

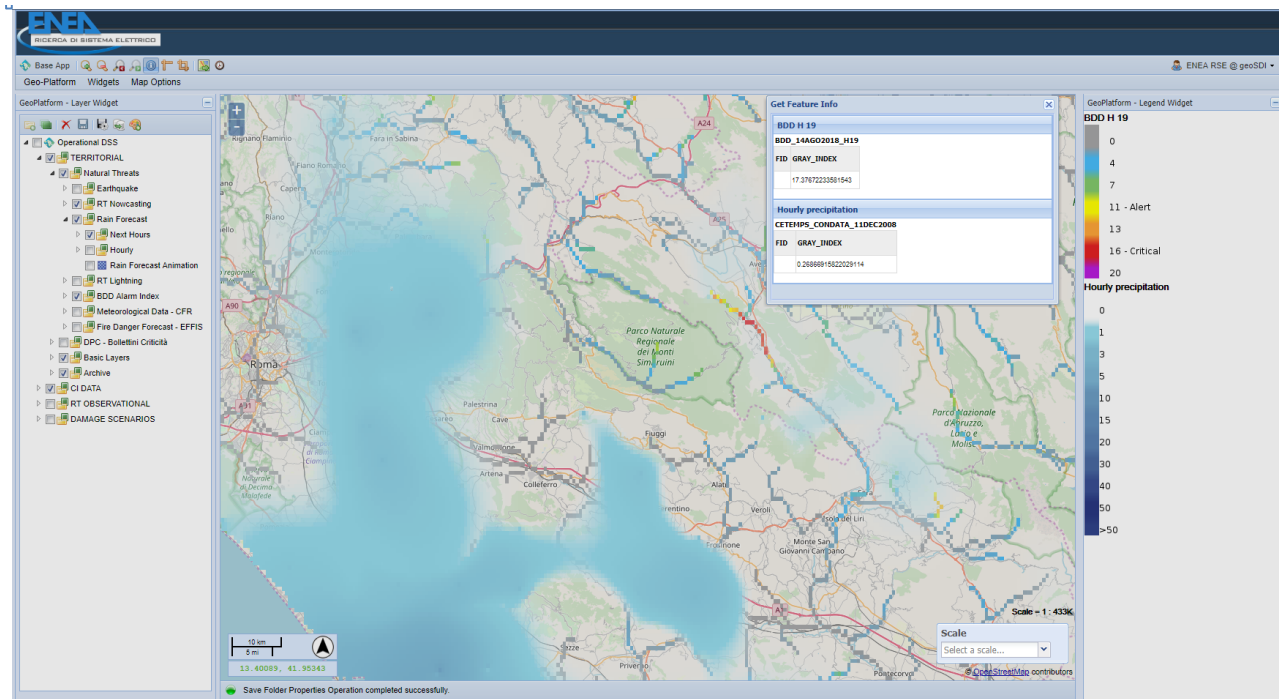


Figura 7. Visualizzazione integrata della mappa di precipitazioni previste (valori in mm/h) e dell'indice BDD nel contesto dell'interfaccia WebGIS della Piattaforma DSS CIPCast

In particolare, una ricostruzione dettagliata, con relativa simulazione della previsione operativa, è stata effettuata per una serie di eventi (precipitazioni ed alluvioni) che hanno interessato la Capitale ed i suoi dintorni nella prima decade del dicembre del 2008 (5-6 dicembre e 11-12 dicembre). I risultati di tale simulazione hanno mostrato come il sistema CIPCast (grazie ai dati provenienti dal modello CHyM), se operante al tempo dell'evento pregresso, sarebbe stato effettivamente in grado di generare un'efficace allerta con almeno un giorno di anticipo ed evidenziare i segmenti della rete drenante e le zone degli elementi della rete elettrica che sono stati realmente soggetti a situazioni di stress o criticità (Figura 8 e Figura 9).

Nella è riportata la tabella completa (generata automaticamente) dell'indice di allarme BDD, elaborato per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008 in riferimento agli elementi critici (Cabine Primarie) della rete di distribuzione ACEA-Areti, così come mappato anche nella Figura 8. Per rendere più immediatamente visualizzabile la sinottica dei possibili stress che ci si può attendere, gli elementi della tabella di Figura 10 vengono colorati in giallo o in rosso, a seconda di due soglie che sono stabilite, per il momento, sulla base delle attività di test e di calibrazione che hanno riguardato gli allarmi idrologici (BDD=11 per l'Alert; BDD=16 per la Criticità). Questi livelli sembrano comunque ben adattarsi a segnalare possibili criticità anche per quello che riguarda i punti critici (elementi della rete di distribuzione elettrica) individuati nella simulazione: tali punti costituiscono poi l'output delle successive analisi di rischio che è possibile effettuare in CIPCast.

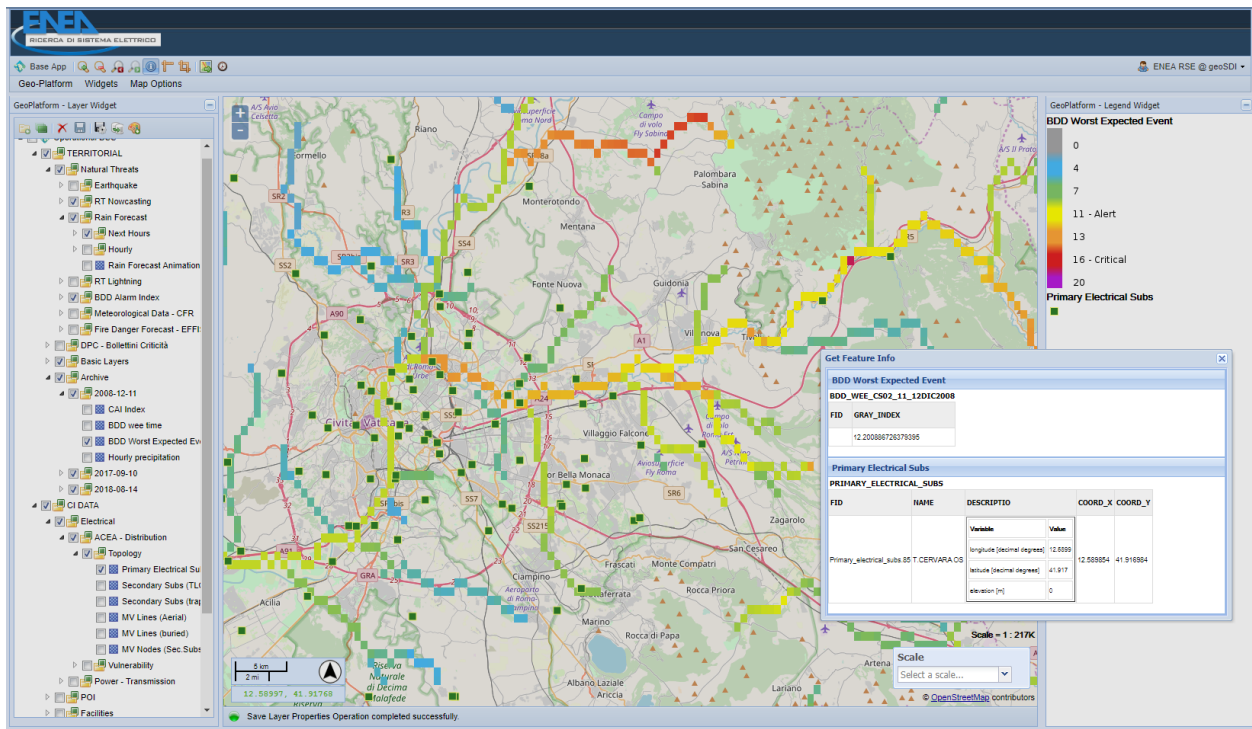


Figura 8. Visualizzazione integrata della mappa di BDD index e della localizzazione delle Cabine Primarie della rete MT di Areti per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008.

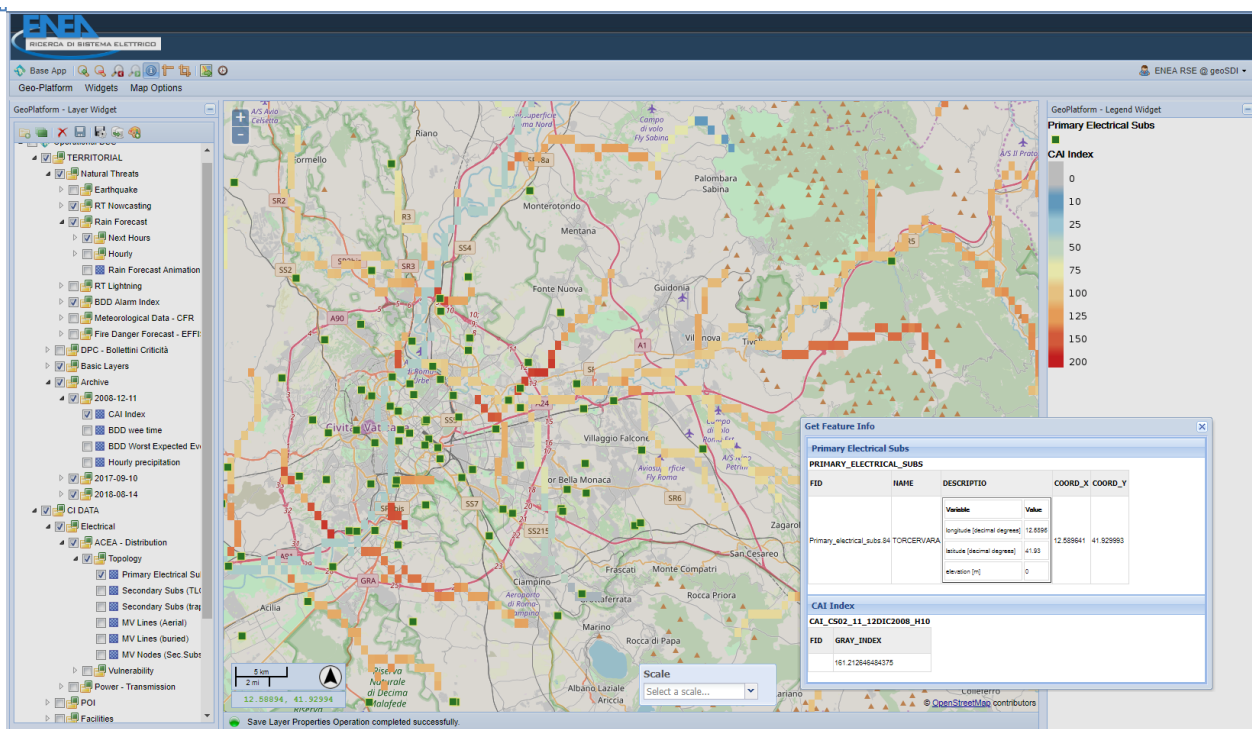


Figura 9. Visualizzazione integrata della mappa di CAI index e della localizzazione delle Cabine Primarie della rete MT di Areti per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008.

Record	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ACEA Id	76	26	32	84	83	40	49	48	62	43	85	98	12	27	33	79	58	66	74	28	78	92
Distance (Km) from closest channel	0.8	0.4	12.5	1.1	0.7	0.3	0.5	0.6	0.8	0.3	0.2	0.4	0.3	0.6	1.0	0.4	0.2	3.0	0.4	0.6	0.6	0.4
Drained area (Km ²)	14516	16953	101	1647	1649	16631	16563	1766	100	813	1576	116	902	16499	14676	16490	1773	100	16562	104	1446	159
December 11, 2008 h: 5.00	2.6	1.5	7.2	4.1	3.8	1.8	2.0	2.8	4.2	4.7	4.3	6.0	4.8	2.3	2.3	2.4	2.6	4.2	2.1	3.0	4.4	2.9
December 11, 2008 h: 6.00	3.2	1.9	8.6	5.2	4.9	2.3	2.5	4.0	5.1	5.6	5.4	6.8	5.4	2.9	2.8	3.0	3.7	5.1	2.6	3.7	5.6	3.1
December 11, 2008 h: 7.00	3.7	2.4	9.3	6.4	6.1	2.8	3.0	5.1	5.5	6.4	6.5	7.3	6.1	3.5	3.3	3.7	4.8	5.5	3.1	4.1	7.0	3.3
December 11, 2008 h: 8.00	4.3	2.9	9.5	7.6	7.3	3.4	3.7	6.3	6.0	7.4	7.7	7.7	7.3	4.2	3.9	4.4	6.0	6.0	3.8	4.6	8.5	3.6
December 11, 2008 h: 9.00	4.8	3.4	9.8	8.9	8.6	4.1	4.4	7.5	5.8	8.6	9.0	7.7	8.4	5.0	4.5	5.2	7.1	5.8	4.5	4.7	9.7	3.5
December 11, 2008 h: 10.00	5.3	3.9	9.8	10.2	9.9	4.7	5.1	8.7	5.5	9.7	10.2	7.1	9.0	5.8	5.0	6.0	8.2	5.5	5.2	4.6	10.8	3.6
December 11, 2008 h: 11.00	5.8	4.5	9.2	11.3	11.0	5.5	5.8	9.9	5.2	10.2	11.2	6.2	9.7	6.5	5.5	6.7	9.4	5.2	6.0	4.3	11.6	3.7
December 11, 2008 h: 12.00	6.2	5.1	8.0	12.1	11.9	6.2	6.6	11.0	4.8	10.6	11.8	5.4	10.4	7.3	6.0	7.5	10.6	4.8	6.7	3.9	12.1	3.8
December 11, 2008 h: 13.00	6.5	5.7	6.7	12.5	12.4	6.9	7.3	12.0	4.3	10.9	12.2	4.7	10.9	8.0	6.3	8.1	11.6	4.3	7.4	3.4	12.2	3.9
December 11, 2008 h: 14.00	6.7	6.4	5.6	12.6	12.6	7.6	7.9	12.7	3.8	11.1	12.2	4.1	11.1	8.5	6.6	8.7	12.4	3.8	8.1	3.0	12.2	4.0
December 11, 2008 h: 15.00	6.9	7.0	4.7	12.6	12.6	8.2	8.5	13.0	3.4	11.2	12.1	3.7	11.2	9.0	6.8	9.1	12.9	3.4	8.6	2.5	12.0	4.1
December 11, 2008 h: 16.00	7.0	7.7	4.1	12.4	12.4	8.7	9.0	13.0	2.9	11.2	11.9	3.2	11.2	9.3	7.0	9.4	13.0	2.9	9.0	2.2	11.8	4.2
December 11, 2008 h: 17.00	7.1	8.3	3.4	12.2	12.2	9.1	9.3	12.9	2.6	11.2	11.7	2.8	11.2	9.5	7.1	9.5	12.9	2.6	9.3	1.9	11.7	4.2
December 11, 2008 h: 18.00	7.2	8.8	2.8	11.9	12.0	9.4	9.5	12.6	2.3	11.2	11.5	2.4	11.1	9.6	7.2	9.6	12.7	2.3	9.5	1.7	11.5	4.1
December 11, 2008 h: 19.00	7.3	9.2	2.3	11.6	11.7	9.6	9.6	12.3	2.0	11.1	11.2	2.1	10.9	9.6	7.3	9.6	12.4	2.0	9.6	1.6	11.3	3.9
December 11, 2008 h: 20.00	7.3	9.5	1.8	11.4	11.4	9.6	9.6	11.9	1.7	11.1	11.0	1.7	10.8	9.6	7.3	9.6	12.1	1.7	9.6	1.5	11.1	3.6
December 11, 2008 h: 21.00	7.4	9.6	1.5	11.1	11.2	9.6	9.6	11.6	1.5	11.2	10.8	1.4	10.8	9.6	7.4	9.6	11.7	1.5	9.6	1.3	10.8	3.3
December 11, 2008 h: 22.00	7.5	9.7	1.3	10.8	10.9	9.6	9.6	11.3	1.3	11.1	10.5	1.2	10.7	9.5	7.4	9.5	11.4	1.3	9.6	1.2	10.5	2.9
December 11, 2008 h: 23.00	7.6	9.7	1.2	10.4	10.5	9.6	9.5	10.9	1.2	10.9	10.3	1.0	10.6	9.5	7.5	9.5	11.0	1.2	9.5	1.1	10.2	2.6
December 12, 2008 h: 0.00	7.7	9.7	1.1	10.1	10.2	9.6	9.5	10.6	1.1	10.5	10.0	0.8	10.5	9.5	7.6	9.5	10.7	1.1	9.5	1.1	9.9	2.3
December 12, 2008 h: 1.00	7.9	9.6	1.1	9.8	9.9	9.5	9.5	10.3	1.1	10.1	9.8	0.8	10.4	9.5	7.7	9.5	10.4	1.1	9.5	1.1	9.7	2.0
December 12, 2008 h: 2.00	8.0	9.6	1.4	9.6	9.6	9.5	9.5	9.9	1.0	9.6	9.5	0.7	10.3	9.6	7.9	9.6	10.0	1.0	9.5	1.1	9.5	1.7
December 12, 2008 h: 3.00	8.2	9.6	1.7	9.4	9.4	9.5	9.5	9.6	1.0	9.0	9.4	0.7	10.0	9.6	8.0	9.6	9.7	1.0	9.6	1.1	9.5	1.5
December 12, 2008 h: 4.00	8.4	9.6	1.9	9.3	9.3	9.6	9.6	9.4	1.2	8.3	9.4	0.8	9.5	9.7	8.2	9.7	9.5	1.2	9.6	1.2	9.6	1.5

Figura 10. Tabella completa dell'indice di allarme BDD, elaborato per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008 in riferimento agli elementi critici (Cabine Primarie) della rete di distribuzione ACEA-Areti.

4.2 Definizione di metriche e modelli di resilienza multi-rischio per il sistema elettrico

Sempre per quanto riguarda le analisi di *risk assessment* sulle CI del distretto, nel corso della presente annualità è proseguito il lavoro mirato alla definizione e allo sviluppo di metriche e modelli per la valutazione della resilienza dei sistemi elettrici soggetti a più sollecitazioni indotte da eventi naturali estremi, con l'obiettivo di arrivare a un'integrazione funzionale, delle stesse metriche e modelli, all'interno del DSS CIPCast. In questo contesto rientrano le attività svolte in collaborazione col Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica e Energetica (DIAEE) dell'Università di Roma "Sapienza" (cfr. Report RdS/PAR2017/064).

Innanzitutto, si è proceduto ad una attenta e critica revisione delle definizioni e delle metriche correlate alla resilienza del sistema elettrico ed utilizzate ad oggi nel panorama nazionale e internazionale. Si è evinto come, diversamente dal termine "affidabilità", non esista per la "resilienza" una univoca definizione formale, ma solo una crescente consapevolezza della necessità di approcciare il problema da un punto di vista olistico e multi-disciplinare, mirando operativamente a:

- valutare attentamente i possibili rischi per il sistema elettrico, nel breve e lungo termine, indotti da fenomeni naturali estremi, errori umani, attacchi cyber e terroristici, ecc.;
- mantenere la funzionalità del servizio erogato anche in situazioni di crisi;
- limitare la portata e l'impatto delle interruzioni quando si verificano;
- ripristinare rapidamente il servizio in seguito a situazioni di crisi e imparare da queste esperienze per gestire meglio gli eventi futuri.

Per ciascuno dei punti sopracitati, sono stati sintetizzati e confrontati criticamente modelli di valutazioni, metriche, buone pratiche proposte e/o adottate a livello nazionale e internazionale.

La caratterizzazione delle minacce è fondamentale per comprendere quanto un sistema possa essere capace di assorbire e adattarsi a diversi tipi di attacchi o eventi naturali, che possono anche presentarsi in modo congiunto e/o contemporaneo per effetti a cascata o contesti *multi-hazard*. Quando si esegue

un'analisi per valutare la resilienza contro molteplici rischi, le informazioni sulla probabilità di ogni possibile scenario di minaccia e sulle capacità o la forza della minaccia sono estremamente importanti: piattaforme per la valutazione del rischio come CIPCast sono fondamentali per eseguire questo passo della valutazione.

I rischi naturali possono, come abbiamo visto in precedenza, avere seri impatti sulle infrastrutture elettriche, portando a interruzioni di corrente che possono avere conseguenze sulle infrastrutture stesse e sugli utenti. In particolare, le condizioni meteorologiche avverse, le inondazioni fluviali e i terremoti sono riconosciuti come i pericoli più ricorrenti e hanno un alto potenziale di perturbazione nei confronti della funzionalità di una rete elettrica. Mentre i sistemi di trasmissione ad alta tensione si sono rivelati robusti per il rischio sismico, lo scuotimento del suolo indotto dai terremoti è una causa di danni inerziali a attrezzature pesanti (come generatori e trasformatori) e componenti fragili (come la ceramica), specie per quanto riguarda gli edifici che ospitano le sottostazioni del sistema di distribuzione elettrica.

Inoltre, i guasti indotti dai terremoti per effetto di fenomeni come la liquefazione del suolo sono stati identificati come una delle principali cause di danni ai componenti interrati delle infrastrutture elettriche. Il tempo necessario per ripristinare l'alimentazione elettrica dopo i terremoti, sulla base delle esperienze pregresse, può variare da poche ore finanche a mesi (più frequentemente varia in un intervallo da 1 a 4 giorni) a seconda della specificità degli interventi di riparazione (e.g., disponibilità di energia elettrica, macchinari e pezzi di ricambio, etc.) e del livello di accesso alle strutture danneggiate, eventualmente condizionato da danni alla rete stradale e/o dalla congestione del traffico.

Per quanto riguarda le condizioni meteorologiche avverse, sia i sistemi di trasmissione che i sistemi di distribuzione, possono essere influenzati negativamente da eventi come precipitazioni intense, alluvioni, inondazioni, neve, vento forte o ondate di calore.

Ad esempio, le linee aeree di media tensione possono essere soggette a guasti a causa della ondate di calore che possono provocare il surriscaldamento dei cavi interrati. Considerando pertanto questo contesto ambientale, sulla base di quanto elencato al precedente punto a), in questa annualità si è proceduto (Report RdS/PAR2017/064) a una attenta analisi mirata alla valutazione dei rischi che fenomeni di surriscaldamento (dovuti ad eventi meteoclimatici come, appunto, le ondate di calore) possono indurre nel sistema elettrico e, nello specifico, si è focalizzata l'attenzione sui cavi sotterranei.

Tra i fattori esogeni che contribuiscono alla definizione del surriscaldamento del cavo rientrano: la temperatura dell'ambiente e le sue possibili variazioni (e.g. gradiente termico giornaliero), le ulteriori condizioni meteorologiche (ad es., il numero di giorni piovosi in un mese), la tipologia di copertura della superficie, aspetti specifici del sito (profondità di interrimento, tipo di terreno, etc.). Oltre a tali fattori esogeni, inoltre, occorre tenere conto anche della resistività termica del suolo e della resistività termica del materiale di reinterro. Infine, le caratteristiche peculiari di cavi e giunti possono influenzare (aumentandola o diminuendola) la frequenza di guasto di cavi e giunti quando soggetti a ondate di calore.

Considerando i fattori meteo-climatici, sono state correlate le frequenze empiricamente derivate di danno con un parametro di temperatura, ipotizzando di assumere la città di Roma come riferimento ed utilizzando le registrazioni storiche delle condizioni meteorologiche mensili (temperatura esterna media, massima e minima, numero di giorni piovosi, umidità esterna). In tal modo, si è arrivati a definire una correlazione analitica per la valutazione della frequenza dei danni previsti per giunti e cavi in tali reti (Figura 11). L'espressione analitica, originalmente proposta, è stata ricavata dalle evidenze di danni raccolti nell'area dell'Italia Centrale per un periodo di quattro anni (2010-2013).

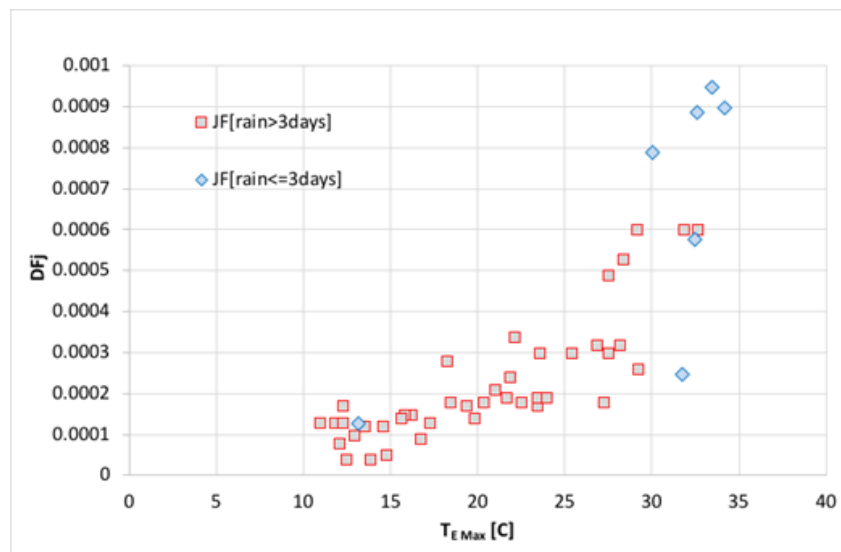


Figura 11. Frequenze di guasto, derivate empiricamente, per giunti elettrici soggetti a ondate di calore (periodo Dicembre-Febbraio, DFJ), in funzione della temperatura esterna massima.

Quindi, sempre in relazione ai possibili rischi per il sistema elettrico, nel breve e lungo termine, indotti da fenomeni naturali estremi, si è proceduto a una verifica dell'affidabilità degli approcci e dei modelli proposti per la valutazione dei danni fisici indotti da eventi sismici [Matassoni et al., 2017], sulla base dei risultati conseguiti nell'Accordo di Collaborazione portato avanti nell'ambito del precedente PAR2016 (cfr. Report RdS/PAR2016/023). Nella Figura 12 è mostrato un esempio di scenario di danneggiamento atteso prodotto, mediante il modulo di simulazione CIPCast-ES, per la Rete di distribuzione elettrica (EDN) [Giovinazzi et al., 2017] e il sistema idrico (Adduzione, distribuzione e impianti di sollevamento). In questo caso, è stato simulato il sisma che ebbe come epicentro i Colli Albani, a sud di Roma, il 26 Agosto 1806. La magnitudo è stata amplificata del 15% rispetto a quella effettivamente registrata (pari a $M=5.5$). Il danno è espresso in termini di livelli di danno⁹ (D0-D5) per gli elementi puntuali e in termini di *Repair Rate*, *RR* per i cavi e le condotte.

Le analisi condotte per valutare la frequenza dei danni ai cavi sotterranei, sia quando sottoposti a terremoti sia in caso di surriscaldamento, sono un passo necessario verso la valutazione della reale resilienza dei sistemi di energia elettrica sia nelle condizioni di status quo che nella fase di pianificazione di interventi e strategie per rafforzare tale capacità di recupero, come previsto a livello nazionale dall'Autorità di Regolazione per l'Energia reti e Ambiente ARERA. Fondamentale è, in questo senso, il contributo che può fornire un DSS, come appunto la Piattaforma CIPCast, in grado di supportare il processo di valutazione della resilienza.

Come descritto in precedenza, la Piattaforma CIPCast integra modelli elaborativi per prevedere le prestazioni dei sistemi di distribuzione (elettrici e idraulici) sottoposti a terremoti. Una specifica implementazione di ciò, specificamente correlata ad un evento sismico nell'Italia centrale che interessa l'area abitata di Roma e la sua rete di distribuzione elettrica, è stata descritta nella precedente annualità (cfr. Report RdS/PAR2016/020 e Report RdS/PAR2016/023). Inoltre, CIPCast può anche supportare processi decisionali di miglioramento della resilienza, come descritto in dettaglio nel successivo Par. 5.

⁹ In accordo con la Scala Macrosismica Europea EMS-98 (Grünthal et al., 1998)

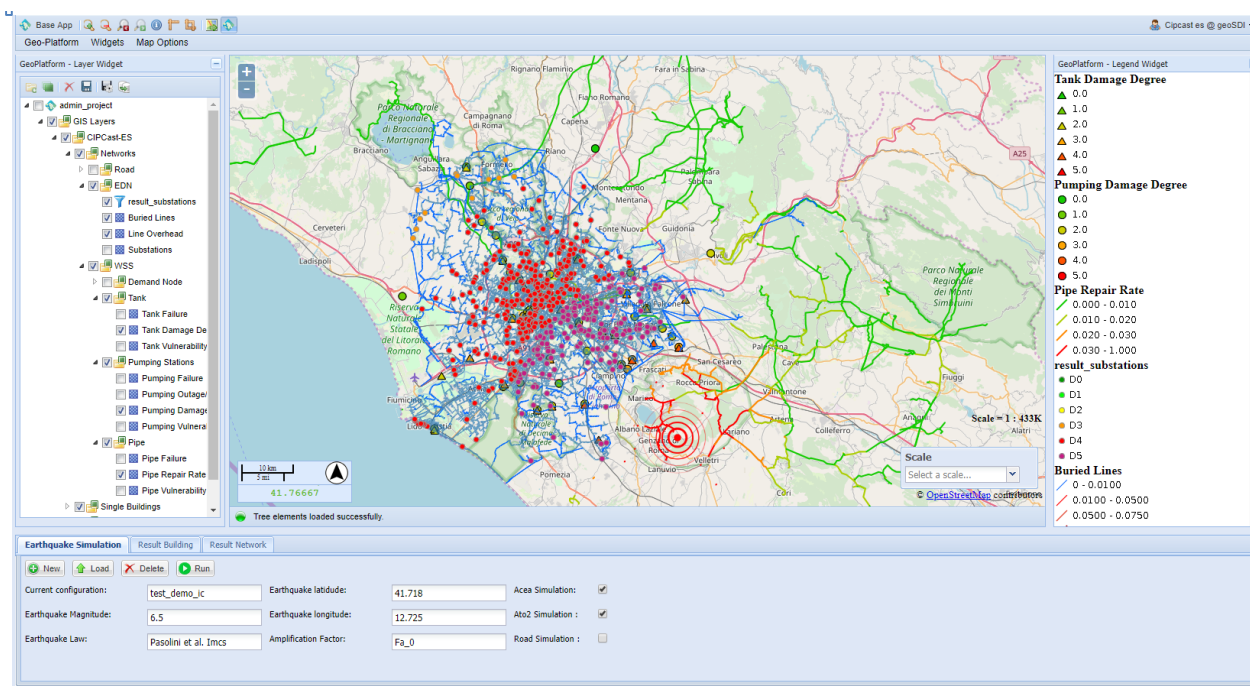


Figura 12. Esempio di scenario di danneggiamento atteso per la Rete di distribuzione elettrica (EDN) e il sistema idrico (Adduzione, distribuzione e impianti di sollevamento).

Come sviluppo futuro, CIPCast mirerà all'utilizzo di dati di telerilevamento per valutare l'umidità del suolo e la temperatura della superficie terrestre. In tal senso, si potrà lavorare per correlare l'espressione analitica proposta per valutare la vulnerabilità dei giunti al surriscaldamento in modo da correlarla con altri database ambientali e territoriali (ad esempio, copertura del suolo, pedologia, etc.) al fine di supportare la valutazione dei vari parametri che influenzano il surriscaldamento degli elementi in questione. Ulteriori sforzi per proseguire su questa strada necessiteranno, in ogni caso, della collaborazione dei gestori delle CI per fornire dati e informazioni sulla manutenzione.

4.3 Dipendenza del funzionamento di una rete acquedottistica dalle condizioni di operatività della rete elettrica in situazioni straordinarie

Un aspetto specifico delle analisi di *risk assessment* svolte nel corso della presente annualità ha riguardato lo studio delle interdipendenze tra sistemi infrastrutturali. Tale attività è stata portata avanti in collaborazione tra i gruppi di lavoro ENEA afferenti al Laboratorio DTE-SEN-APIC del C.R. Casaccia ed al Laboratorio DTE-FSN-DIN del C.R. Portici; inoltre, in questo contesto si è inserito l'Accordo di Collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile (DICIV) dell'Università di Salerno, finalizzato allo studio di scenari di funzionamento di una rete acquedottistica in funzione di scenari di funzionamento della rete elettrica in situazioni straordinarie (cfr. Report RdS/PAR2017/066).

L'obiettivo era di identificare e modellare la interdipendenza funzionale tra due infrastrutture critiche a servizio di una comunità urbana, l'infrastruttura elettrica e quella acquedottistica, in condizioni straordinarie di funzionamento quali quelle derivanti dal verificarsi di un terremoto di assegnate caratteristiche (tempo di ritorno e probabilità di superamento). In particolare è stata messa a punto una metodologia per la valutazione delle prestazioni funzionali della rete idrica in situazioni straordinarie, definendo e caratterizzando scenari multipli di funzionamento derivanti dalla rottura delle singole condotte, dall'interruzione di energia elettrica, dalla combinazione delle precedenti situazioni.

4.3.1 Caso di studio

Come caso di studio sono stati individuati due sistemi idrici principali, gestiti da ACEA ATO2 S.p.a.. Il primo è l'acquedotto del Peschiera-Capore (Figura 13) che dalle aree di captazione delle sorgenti del Peschiera e del Capore si snoda fino al serbatoio (situato nel Centro Idrico di Ottavia) che serve la zona di Ottavia, nel Municipio XIV di Roma Capitale. Un secondo, è la rete di distribuzione idrica che serve, a valle del serbatoio, la zona di Ottavia (Figura 14).

L'acquedotto del Peschiera viaggia a pelo libero in condotte scavate nella roccia viva, con una pendenza graduale e un'altezza di 2,7 m, e una sezione policentrica. Le condotte sono per la maggior parte in cemento armato con alcune in acciaio. Le sorgenti del Peschiera hanno una portata di $9 \text{ m}^3/\text{s}$ mentre le sorgenti delle Capore una portata di $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Dalle vasche di captazione, le acque delle Capore scorrono attraverso una galleria di deviazione a pelo libero della lunghezza di 7 km e confluiscono nell'acquedotto del Peschiera prima di arrivare alla città di Roma. Da Salisano in poi la rete principale si divide in due rami inferiori: il ramo sinistro che ha una capacità di trasporto di $8.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ed una lunghezza di 33Km; il ramo destro che convoglia $5 \text{ m}^3/\text{s}$ e una lunghezza di 59 km quasi tutto in galleria. Le acque del Peschiera giungono poi al Centro Idrico di Ottavia costituito da un serbatoio sopraelevato con capacità di 500 m^3 , alto 45 metri; una stazione di sollevamento costituita da 5 elettropompe che alimenta il serbatoio di Ottavia; due vasche di riunione e disconnessione. Al Centro Idrico di Ottavia convergono anche le acque captate dal lago di Bracciano, utilizzate soltanto in caso di emergenza, attraverso una condotta in pressione di 2000 mm. Le condotte si trovano sul fondo del lago, a 55 m, e terminano in un manufatto che le collega al primo tratto dell'acquedotto a pelo libero.

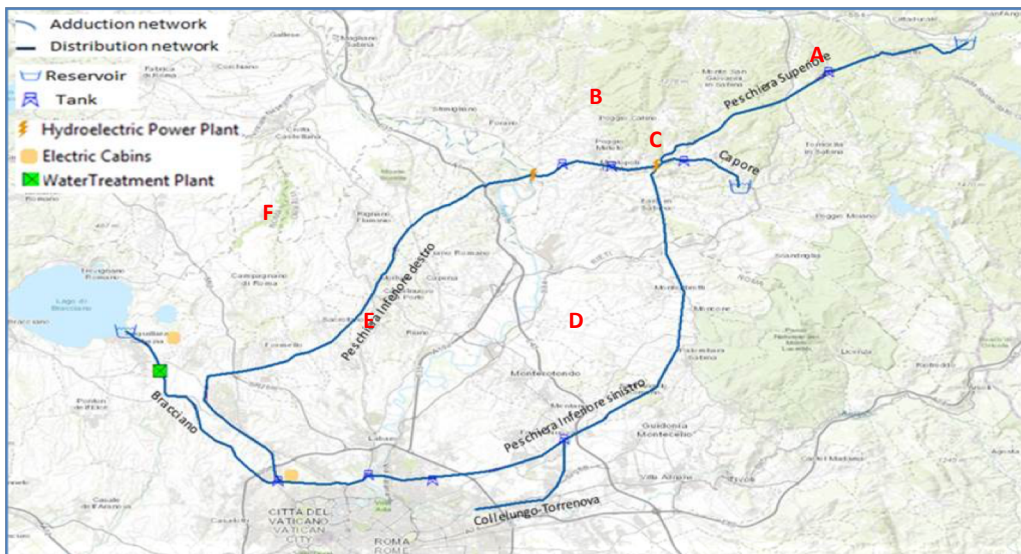


Figura 13. Rete acquedottistica del Peschiera-Capore gestita da ACEA-Ato2 Spa

Dal serbatoio di Ottavia, la portata viene convogliata alla rete di distribuzione attraverso una condotta di avvicinamento di 500 mm in acciaio. La rete di distribuzione è composta da 11 maglie chiuse principali, condotte in ghisa di diametro variabile, da un minimo di 50 mm ad un massimo di 250 mm. La rete di distribuzione copre una superficie di circa 4 km^2 ed eroga acqua ad una popolazione di 27.823 abitanti. La portata media distribuita nella rete di distribuzione è di 48.6 l/s e tiene conto sia della dotazione idrica pro capite (150 l/ab*g) che del numero totale di abitanti. I dati raccolti sulle infrastrutture idriche sono stati organizzati nel GeoDatabase del DSS di CIPCast.

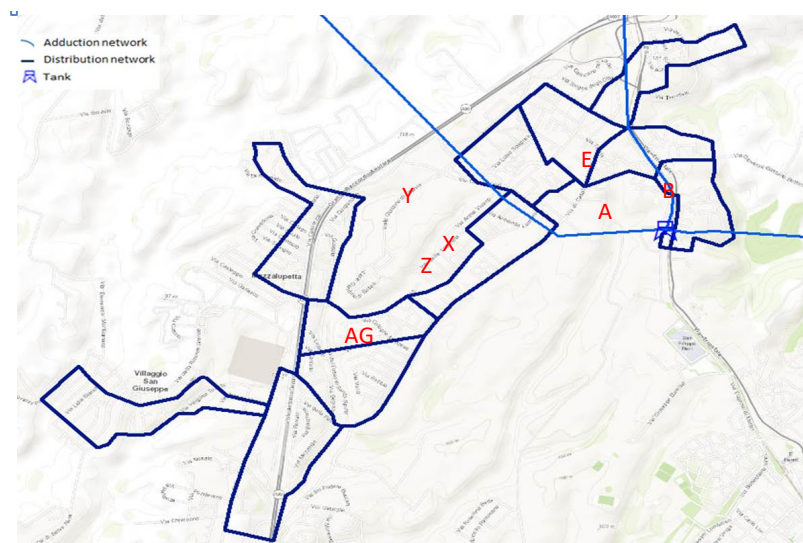


Figura 14. Rete di distribuzione che serve la zona di Ottavia, Municipio XIV di Roma

4.3.2 Modellazione idraulica

Una volta identificato e caratterizzato il caso di studio si è proceduti alla modellazione idraulica del complesso delle opere di adduzione e distribuzione, evidenziando le componenti energivore del sistema. Benché possono essere diverse, sono stati considerati organi sensibili al funzionamento della rete elettrica essenzialmente le stazioni di sollevamento meccanico dell'acqua, operato mediante l'ausilio di pompe azionate con motori elettrici. Rispetto al caso di studio, questi sono localizzati in due sezioni ovvero sulla diramazione dell'acquedotto esterno che proviene dal lago di Bracciano, che alimenta la città di Roma in condizioni di surplus di richiesta idrica, ed a monte del serbatoio di Ottavia (localizzato nel nodo E dello schema idraulico).

Con il modello idraulico della rete e i relativi codici di calcolo (e.g. EPANET, INFOWATER) si è realizzato uno strumento di simulazione idraulica che è in grado di mostrare la distribuzione nodale dei carichi idraulici, delle pressioni e delle portate in funzione della portata che viene immessa nello schema idraulico. Variazioni nella portata immessa insieme a variazioni strutturali del sistema, ad esempio mancato servizio (per rottura) di alcuni tratti o di manufatti speciali (impianti di sollevamento), conducono a funzionamenti diversi ed in ultima analisi a prestazioni diverse della rete di distribuzione rispetto alle richieste che vengono fatte dall'utenza. Come scenario baseline è stato simulato il funzionamento della rete di distribuzione in situazioni ordinarie, con una portata media immessa in rete pari a 48,6 l/s, determinando le distribuzioni nodali delle pressioni e delle portate rispetto alle quali valutare le prestazioni del sistema in condizioni straordinarie.

4.3.3 Analisi di danneggiamento

Per condizioni straordinarie si sono intese quelle determinate dall'occorrenza di un sisma di assegnate caratteristiche (quali periodo di ritorno e probabilità di superamento). L'occorrenza di un evento sismico può determinare danneggiamento ad un insieme di infrastrutture critiche. Per il caso studio, abbiamo supposto arrechi danno ad alcune cabine elettriche della rete elettrica mentre alla rete idraulica causi un numero di rotture a tratti di condotte, dipendente dalle caratteristiche geometrico-strutturali delle stesse oltre che dalle caratteristiche dell'evento sismico.

Nella identificazione degli scenari di interdipendenza delle reti elettrica ed idraulica, sono stati pertanto considerati sia gli scenari che derivano dalla interruzione del servizio elettrico che quelli che derivano dal

danneggiamento delle singole condotte oltre che quelli derivanti da una combinazione di situazioni, ovvero dal danneggiamento delle condotte e contemporanea dall' interruzione elettrica.

Si è quindi proceduto alla caratterizzazione della vulnerabilità sismica del sistema modellato, attraverso un'analisi del rischio di danneggiamento delle singole condotte della rete idrica del caso studio, in funzione delle caratteristiche geometriche e strutturali di queste ultime oltre che della loro pericolosità sismica. Si è proceduti dapprima eseguendo un'analisi di pericolosità sismica della rete idrica assegnando ad ogni segmento di condotta il relativo valore di PGA (*Peak Ground Acceleration*) in relazione a eventi sismici con periodo di ritorno di 2475 anni e probabilità di eccedenza del 2% e con periodo di ritorno di 475 anni e probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, derivato dalle relative mappe di pericolosità fornite dall'INGV¹⁰.

A seguire un'analisi di danneggiamento della rete, calcolando per ogni segmento di condotta il parametro *Repair Rate (RR)*, tramite l'equazione di fragilità empirica di Toprak (1986), espressa come:

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

Quindi, ad ogni segmento di condotta è stata associata una probabilità di danneggiamento P_f , calcolata tramite la seguente relazione sperimentale (assumendo che il numero di condotte che subiscono un danneggiamento segue la distribuzione di Poisson):

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

dove L è la lunghezza della condotta in km, RR è il valore *Repair Rate* delle condotte. P_f è calcolata per ogni condotta (o segmento di condotta) sia della rete di adduzione che della rete di distribuzione (Figura 15).

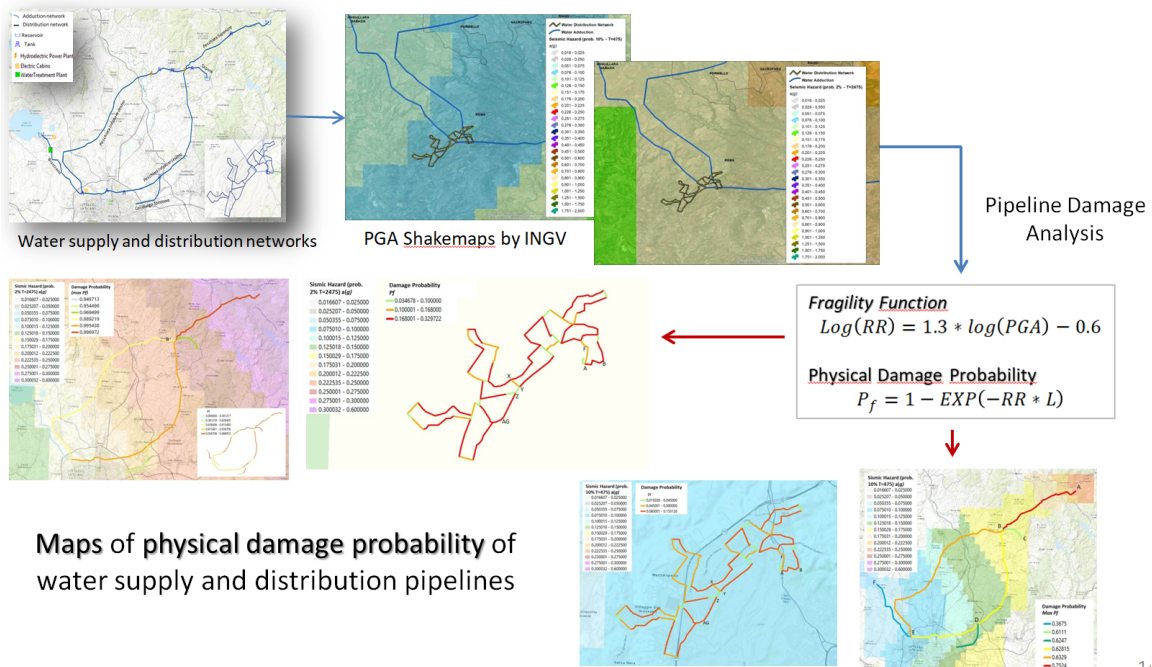


Figura 15. Analisi del rischio di danneggiamento fisico delle singole condotte delle reti di adduzione e distribuzione

¹⁰ <http://www.mi.ingv.it/pericolosita-sismica/> - <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>

Come conseguenza della probabilità di danneggiamento di ciascun segmento di condotta, sono stati identificati 12 differenti scenari di funzionamento (Tabella 3), derivanti dalla rottura dei singoli segmenti di condotta, dall'interruzione di energia elettrica, dalla combinazioni tra le precedenti situazioni.

Per ciascuno scenario sono state determinate le variazioni di portata da associare allo schema idraulico della rete di distribuzione. I primi 4 scenari riguardano la rottura delle diverse diramazioni dell'acquedotto del Peschiera-Capore, caratterizzate da una probabilità di danneggiamento crescente. L'evento di una rottura lungo ciascun tratto impone una riduzione del valore della portata media che viene immessa nella rete di distribuzione studiata in corrispondenza del serbatoio al nodo E (Figura 14), che va da un minimo di 12.15 l/s ad un massimo di 36.45 l/s. Lo scenario 5 ipotizza la rottura della derivazione dal Lago di Bracciano, considerando un numero di abitanti incrementato del 15% rispetto allo scenario baseline e una portata media immessa in rete invariata. L'incremento della richiesta idrica è ipotizzato nel settore a sud-ovest della rete di distribuzione. Gli scenari 6 e 7 ipotizzano l'interruzione del funzionamento elettrico a servizio dell'impianto di sollevamento posto a monte del serbatoio di Ottavia. Si ipotizza che il serbatoio a momento dell'interruzione del servizio elettrico, sia pieno (scenario 6) per un volume di 500 m³ e mezzo pieno per un volume di 250 mc (scenario 7). Desiderando erogare una portata media giornaliera per tutti gli utenti è possibile immettere in rete una portata di soli 5.78 l/s e 2.89 l/s rispettivamente. Gli scenari 8-10 ipotizzano la rottura di rami critici della maglia della rete di distribuzione. In questi scenari non varia la portata media immessa nella rete ma cambia la topologia della rete. Gli scenari 11 e 12 combinano lo scenario 8 con gli scenari 6 e 7. Per una descrizione di maggior dettaglio si rimanda al Report RdS/PAR2017/066 a cura del co-beneficiario Università di Salerno (DICIV).

Tabella 3. Scenari di funzionamento della rete di distribuzione analizzata derivanti dalla rottura delle singole condotte, dall'interruzione del servizio elettrico e dalla combinazione di entrambi le situazioni. Per ciascuno scenario è definita la portata media immessa in rete e la probabilità di occorrenza

N° scenario	Water Infrastructure	Damage Type	Pipeline	Connected population N	Tank Volume (mc)	Failure Probability T475	Failure Probability T2500	Q _m (l/s)
1	Adduction Network	Break pipeline	AB	N	-	0.7524	0.9969	16.2
2	Adduction Network	Break pipeline	BC	N	-	0.6111	0.9694	32.4
3	Adduction Network	Break pipeline	BE superior	N	-	0.6329	0.9892	12.15
4	Adduction Network	Break pipeline	BE inferior	N	-	0.6281	0.9954	36.45
5	Adduction Network	Electric power interruption	FE	N + 15%N	-	-	-	48.6
6	Storage tank	Electric power interruption	filling tank at node E	N	500	-	-	5.78
7	Storage tank	Electric power interruption	Half filling tank at node E	N	250	-	-	2.89
8	Distribution network	Break pipeline	A-B	N	-	0.1531	0.3297	48.6
9	Distribution network	Break pipeline	A-F	N	-	0.080	0.1680	48.6
10	Distribution network	Break pipeline	X-Y+AG-Z	N	-	0.1531	0.3297	48.6
11	Distribution network& filling tank	Break pipeline& Storage tank	A-B + Tank at Node E	N	500	0.1531	0.3297	5.78
12	Distribution network& half filling tank	Break pipeline& Storage tank	A-B + Tank at node E	N	250	0.1531	0.3297	2.89

Gli scenari identificati sono dati in input al modello idraulico della rete di distribuzione della municipalità analizzata ricavando le distribuzioni delle portate, dei carichi idraulici e delle pressioni. Sul confronto di queste distribuzioni con quelle dello scenario baseline, nonché sul calcolo dell'indice di prestazione R , si basa l'analisi delle prestazioni e di affidabilità del sistema idraulico in condizioni e situazioni di funzionamento diverse da quelle ordinarie. L'indice R è basato sul rapporto tra i volumi effettivamente erogati W_E e quelli richiesti W_R , durante il periodo di valutazione:

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

in cui W_E è il volume erogato per ciascuno scenario e W_R è il volume della domanda corrispondente allo scenario baseline. R è stato determinato come valore medio sull'intera rete.

In particolare, si può osservare che per ogni scenario relativo alla rete di adduzione i valori delle portate nodali sono sempre inferiori rispetto a quelli dello scenario baseline, in maniera più o meno significativa, a seconda della riduzione della portata totale immessa in rete (Figura 16 e Figura 17). Fa eccezione il risultato della simulazione relativo allo scenario 5 che considera rispetto agli altri, un aumento del numero degli abitanti pari al 15%, che viene concentrato nell'area e nelle relative maglie a sud ovest della rete. Dal calcolo di R (Tabella 4), si può anche osservare che gli scenari a cui corrisponde le prestazioni più elevate sono gli scenari 2 e 4 a cui corrispondono chiaramente le maggiori portate immesse in rete. Mentre prestazioni particolarmente basse sono affidate agli scenari 6 e 7, ovvero a quelli corrispondenti al mancato funzionamento dell'impianto di sollevamento a servizio del serbatoio di Ottavia. Le portate esigue che vengono immesse in rete in quegli scenari, che determinano scarsissime prestazioni, sono di fatto legate alla capacità nulla di compenso di cui è dotato il serbatoio sopraelevato a servizio dell'area urbana.

Tabella 4. Tabella dell'indice R di prestazione funzionale della rete di distribuzione

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

L'indice non è calcolabile per gli scenari che vanno dall'8 al 10, ovvero quelli per la rete di distribuzione, essendo il malfunzionamento dei sistemi di questa infrastruttura non riconducibile ad una limitazione di portata immessa nello schema idraulico.

Per tutti gli scenari si è proceduto con un'analisi del cielo piezometrico. Per gli scenari 1-7 si è osservato che pressioni ai nodi sono superiori a quelle che vengono generate nello scenario di baseline. Questa situazione è spiegabile nelle minori perdite di carico che vengono a calcolarsi negli scenari indicati a causa delle minori erogazioni ovvero dei minori valori di portate circolanti nei vari lati della rete. Ciò è ancora più evidente nella rappresentazione della differenza tra le pressioni simulate per i vari scenari e quelle calcolate nello scenario di baseline. Un altro elemento che accomuna gli scenari 1-7 è anche il fatto che le maggiori

differenze vengono osservate nel settore occidentale della rete, situazione potenzialmente generata da una minore richiesta idrica concentrata in questo settore rispetto alla rete nella sua totalità.



Figura 16. Confronto tra le distribuzioni delle portate nodali dello scenario baseline e gli scenari 1-4 relativi alla rete di adduzione

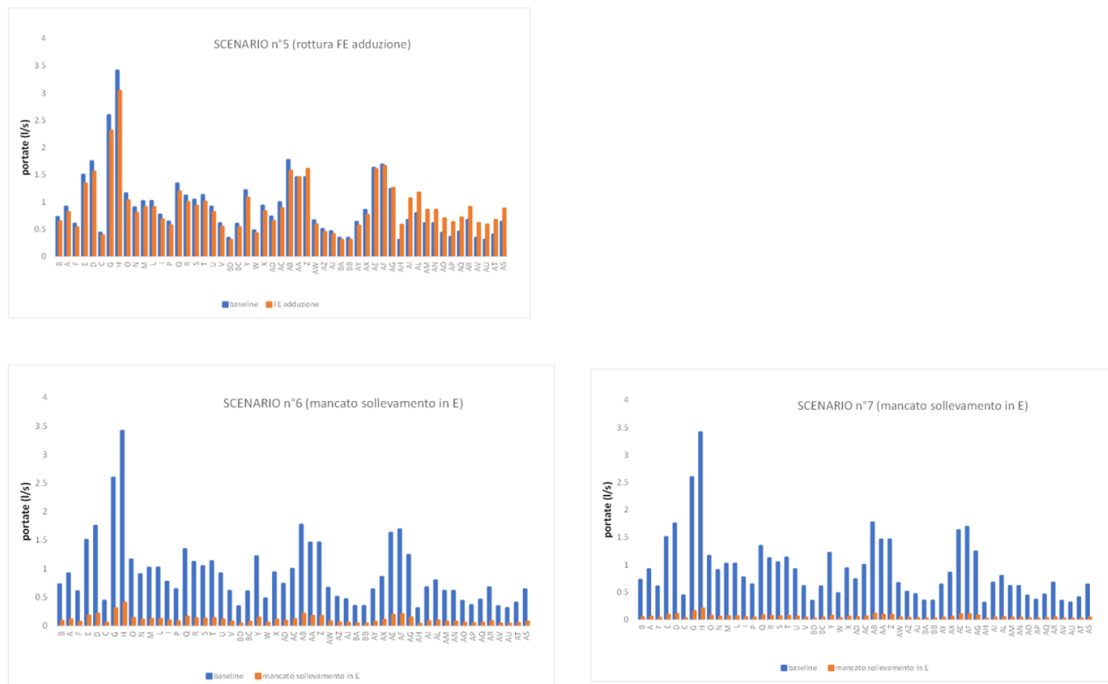


Figura 17. Confronto tra le distribuzioni delle portate nodali dello scenario baseline e gli scenari 5-7 relativi alla rete di adduzione

Relativamente agli scenari 8-12, che più direttamente investono le rotture relative alla rete di distribuzione, si notano situazioni specifiche differenti a seconda del particolare scenario proposto (Figura 18). In particolare per lo scenario 8, che prevede la rottura del tratto AB immediatamente a valle della condotta di avvicinamento dal serbatoio in E, si osservano minori pressioni nel settore orientale della rete dovute alle maggiori perdite di carico determinato dal maggior valore di portata che scorre nei tratti della rete prossimi al serbatoio. Minori pressioni rappresentano una situazione sensibile in quanto sono indicatori di minori capacità di erogazioni nodali di portata. Nello scenario 9, le pressioni sono in maniera generalizzata minori su tutta la rete, questo a causa della rottura del tratto di maggiore diametro a valle della condotta di avvicinamento. Come nel caso dello scenario 8 questo corrisponde potenzialmente a minori capacità di erogazione della portata. Nel caso dello scenario n°10 la rottura combinata di alcuni tratti sensibili che congiungono il settore orientale a quello occidentale, induce maggiori perdite di carico, causate dalla concentrazione di portate in tratti a piccolo diametro che si trovano in particolare nel settore occidentale. Nel caso degli scenari 11 e 12 che combinano la rottura del tratto AB della rete di distribuzione al mancato funzionamento della rete elettrica e quindi del sollevamento a monte del serbatoio in E, la situazione non è molto diversa da quella vista nel caso degli scenari 6 e 7, di cui sono combinazione. Evidentemente la maggiore criticità tra i due eventi congiunti, rottura meccanica di un lato e mancato funzionamento della rete elettrica, la seconda rappresenta l'evento più critico.



Figura 18. Confronto tra le distribuzioni delle pressioni nodali dello scenario baseline e gli scenari 8-11 relativi alla rete di distribuzione

L'analisi dell'interdipendenza, oltre che a mettere in luce le eventuali fragilità della rete acquedottistica, rappresenta in generale uno strumento di pianificazione di strategie mirate a mitigare i danni connessi al rischio di malfunzionamento della rete idrica in condizioni straordinarie, nonché un elemento di supporto alla progettazione strutturale di interventi di miglioramento della medesima.

4.4 Caso di studio: risk assessment geolocalizzato nella città di Roma

4.4.1 Descrizione dei POI identificati per la città di Roma

Per dimostrare l'efficacia dell'integrazione tra le piattaforme CIPCast e WS-CREAM, è stato utilizzato 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. Questo è stato fornito dalla società TeleAtlas. I POI rappresentano le seguenti nove categorie:

- Infrastruttura di Trasporto
- Servizi turistici
- Agricoltura e servizi alimentari
- Intrattenimento
- Salute
- Stato ed amministrazione
- Banche e finanza
- Scuola e università
- Luoghi di culto

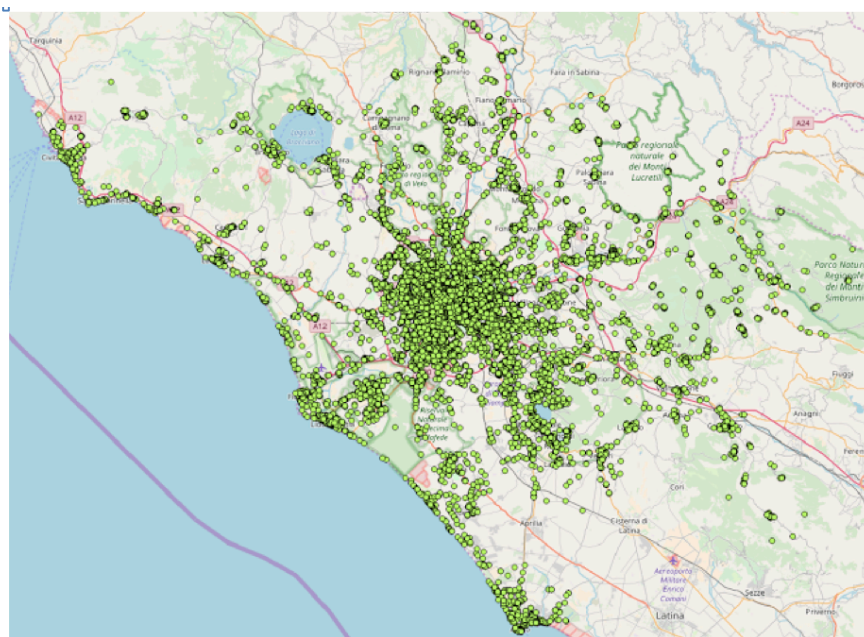


Figura 19. Strato informativo dei Punti di interesse (POI) della Città metropolitana di Roma

Secondo il data model definito in Figura 20, la classe **POI** è caratterizzata da un nome (e.g. "Studio medico dott. Rossi", "Ospedale San Filippo Neri", etc.), una geometria di tipo GIS (ovvero una localizzazione geografica integrata con una serie di attributi descrittivi), un indirizzo, la categoria, un valore di rilevanza che tiene conto della criticità intrinseca del POI (ad es. il Colosseo è considerato più critico di un altro POI turistico), un valore di vulnerabilità (ad es. un indice di vulnerabilità sismica dovuta alle caratteristiche costruttive dell'edificio nel quale si trova il POI) e tre valori relativi al rischio idrogeologico, sismico e franoso associati all'area in cui si trova il POI. La sottoclasse **POI_building** denota un POI confinato in un edificio (e.g. ospedale) mentre negli altri casi parliamo di **POI_no_building** (e.g. parco pubblico).

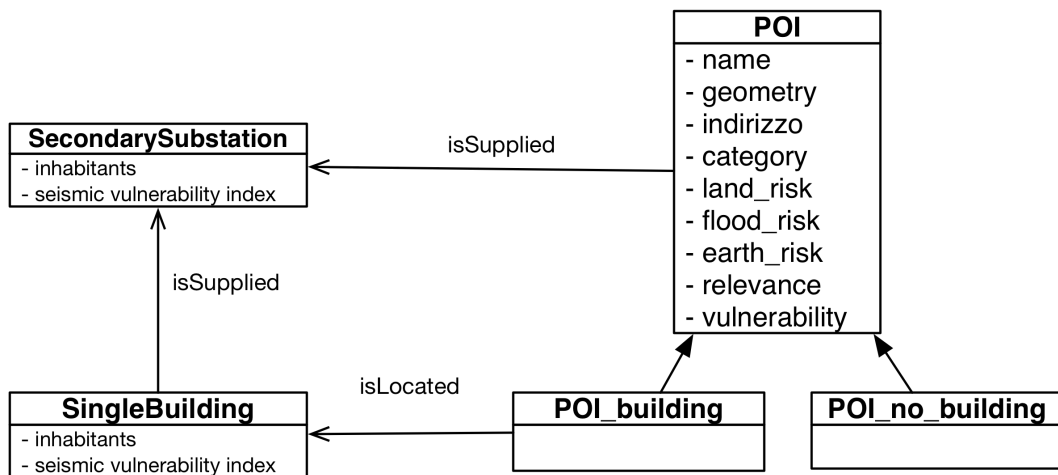


Figura 20 Data model dei Punti di interesse (POI)

4.4.2 Estensione dell'ontologia

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 Par. 3.2, sono stati ulteriormente specializzati seguendo la metodologia di ontology engineering UPON lite [De Nicola & M. Missikoff, 2016]. In primo luogo è stata sviluppata la tassonomia degli Hazard (Figura 21). 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 21).

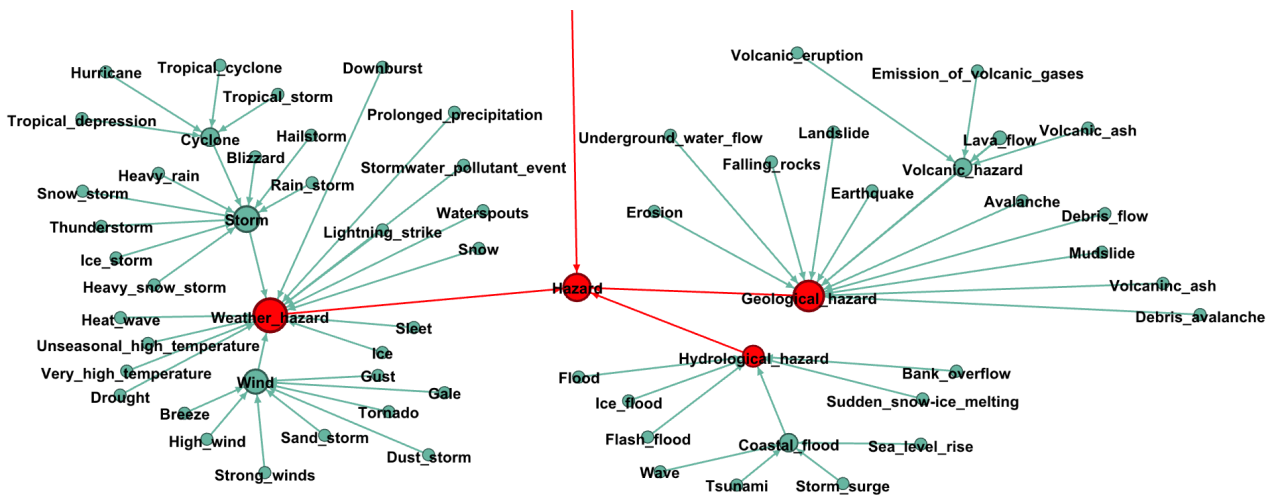


Figura 21 Estratto dall'ontologia TERMINUS che mostra un frammento della tassonomia relativa al concetto Hazard.

I **Critical_event_of_system** (Figura 22) rappresentano l'insieme delle problematiche, dei danni e degli impatti che affliggono sia la struttura fisica, sia la comunità che usufruisce, gestisce o detiene qualsiasi interesse relativamente ad ogni POI considerato. Infatti, ogni tipologia di POI è stata considerata con i possibili impatti di natura fisica (che interessa la struttura), economica, politica, sociale ed antropica che l'entità associata al POI può subire in seguito agli agenti di rischio contemplati. Tali impatti sono stati

modellati su (Dyna Ibrahim, 2014), che presenta una raccolta di esperienze riscontrate dalle persone durante le emergenze.

□

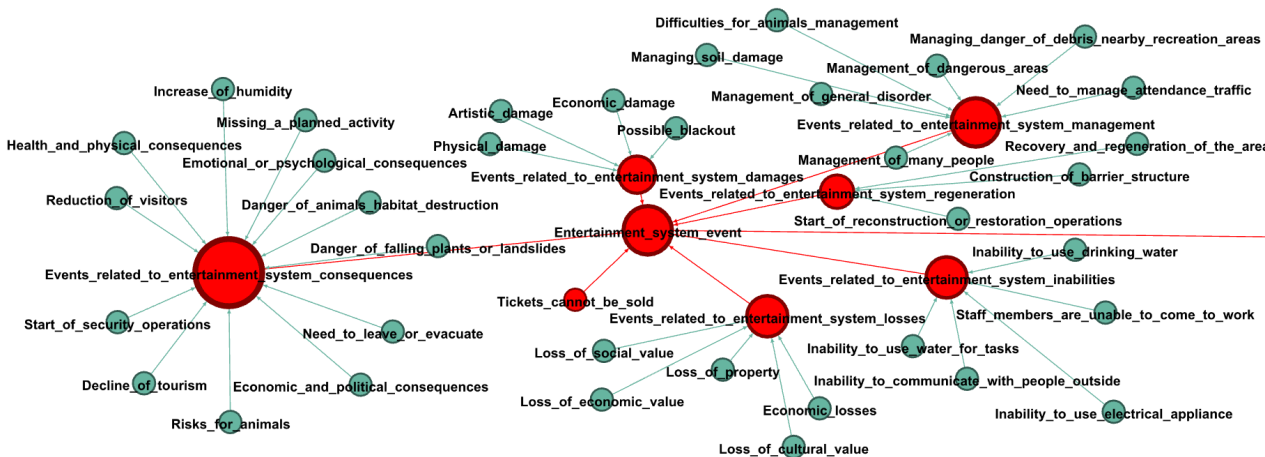


Figura 22. Estratto dall’ontologia TERMINUS che mostra un frammento della tassonomia relativa al concetto Entertainment_system_event.

In prima analisi, ogni impatto è stato associato al relativo evento naturale (nel nostro caso o un evento sismico o un evento franoso o un evento idrogeologico), dal momento che essi, nella loro diversità, possono produrre effetti che sono in grado di intaccare in modo differente ogni POI.

Successivamente, ogni *Critical_event_of_system* è stato categorizzato per la tipologia di possibile impatto che produce, generando 6 macro-categorie: *management*, *inabilities*, *damages*, *losses*, *consequences* e *regeneration* (Figura 23 e Figura 24). Infine, ad ogni possibile evento critico è stato associata la sua **rilevanza**, ovvero la sua criticità nella situazione ipotizzata. In particolare, sono stati adottati tre livelli: *basso*, *medio* ed *alto* (Figura 23).

In aggiunta a questo, gli impatti sono stati suddivisi a seconda della tipologia di utente, come ad esempio, gestore che usufruisce di quel servizio. Sono stati identificati quindi gli **Stakeholder**, ossia quei soggetti che hanno interesse in un sistema o, come in questo caso, nel servizio ad esso associato. Tra gli stakeholder si distinguono tre categorie (Figura 27):

- I soggetti ed i **decision maker** nella sfera della governance;
- I **system operator**;
- I soggetti che usufruiscono del servizio, gli **user**.

Un estratto della tassonomia degli **Stakeholder** è presentato in Figura 25.

Il concetto di **Functional_vulnerability**, ossia la causa intrinseca della suscettibilità ai rischi degli aspetti funzionali di un servizio, come definito nel Paragrafo 3.2, dipende: (i) dagli oggetti che permettono un servizio accettabile per ogni specifico POI (ad esempio, per il POI “teatro”, tra gli elementi vulnerabili, possiamo trovare i componenti della scenografia) e (ii) dalle persone che usufruiscono dello stesso servizio erogato. Un estratto della tassonomia delle vulnerabilità in TERMINUS è visualizzato in Figura 26. Per esempio, la presenza di persone vicino ad elementi pesanti (vedi Figura 24) possono amplificare l’impatto degli eventi (ad esempio se queste persone sono situate vicino ad oggetti che possono cadere).

Successivamente è stata considerata un’altra componente della vulnerabilità: la **vulnerabilità strutturale**. Essa considera le singole caratteristiche dell’edificio (nel caso dei POI_building) o alternativamente

dell'ambiente circostante. A tal fine sono stati valutati, ad esempio, il materiale di costruzione, l'età dell'edificio, la composizione costruttiva e strutturale, il volume e la mole dell'oggetto, la sua altezza, il numero dei piani, la qualità e la frequenza dei possibili interventi di manutenzione sullo stesso.

Tali vulnerabilità rispondono a peculiarità differenti del singolo servizio associato al POI, le quali, di conseguenza, hanno pesi diversi nella possibile definizione di uno scenario di danno in cui il servizio è coinvolto. A questo scopo, sono stati definiti tre livelli di **criticità**: *basso*, *medio* ed *alto*. 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 (Figura 27). La Figura 28 mostra, infine, le tipologie di impatto associate ai **System_service**.

	LOW RELEVANCE	MEDIUM RELEVANCE	HIGH RELEVANCE
MANAGEMENT	<ul style="list-style-type: none"> Difficulties for animals management Managing danger of debris nearby recreation areas Managing soil damage 	<ul style="list-style-type: none"> Management of dangerous areas Management of general disorder Need to manage attendance traffic Need to manage transport inconvenience 	<ul style="list-style-type: none"> Management of displaced Management of displaced patients Management of many people Managing of flames risk
INABILITIES	<ul style="list-style-type: none"> Inability to prepare hot meals Inability to heat or cold Staff members are unable to come to work Suspension of withdrawing money Suspension of post services Suspension of work 	<ul style="list-style-type: none"> Inability to communicate with people outside Inability to use electrical appliance Inability to use water for tasks Inability to use drinking water 	
DAMAGES	<ul style="list-style-type: none"> Artistic damage 	<ul style="list-style-type: none"> Economic damage Physical damage Possible blackout Transportation network damage 	
LOSSES	<ul style="list-style-type: none"> Loss of cultural value Loss of historical value Loss of property Loss of religious value Loss of touristic value 	<ul style="list-style-type: none"> Economic losses Loss of economic value Loss of political value Loss of social value 	
CONSEQUENCES	<ul style="list-style-type: none"> Debris nearby access Debris on the railways Decline of tourism Difficulty for post services Difficulty for withdrawing money Increase of humidity Missing a planned activity Missing work or school Reduction of visitors 	<ul style="list-style-type: none"> Danger of animals habitat destruction Danger of falling building Danger of falling plants or landslides Economic and political consequences Heavy elements potentially dangerous Risks for animals Risks for animals and pets Start of security operations 	<ul style="list-style-type: none"> Emotional or psychological consequences Emotional or psychological consequences for patients Health and physical consequences Health and physical consequences for patients Need to leave or evacuate
REGENERATION		<ul style="list-style-type: none"> Construction of barrier structure Need to restore the infrastructure Recovery and regeneration of the area Start of reconstruction or restoration operations 	<ul style="list-style-type: none"> Need to start water disposal operation

Figura 23. Tipologie di Critical_event_of_system associate ai system_service e relativo valore di rilevanza

VULNERABILITY LEVEL			
	LOW VULNERABILITY LEVEL	MEDIUM VULNERABILITY LEVEL	CRITICAL VULNERABILITY LEVEL
STRUCTURAL VULNERABILITY			age of construction building age building height and number of floors building structural composition building volume material of construction poor maintenance of building poor maintenance of structures structures height and weight
FUNCTIONAL VULNERABILITY	bookshelves potentially dangerous goods and merchandise potentially dangerous recreation structures (seesaw, children slide...) religious elements shelves full of medicines technological elements	electric elements potentially dangerous escalators fragile elements inside furniture or tools potentially dangerous furniture potentially dangerous heavy elements potentially dangerous (big screen...) heavy elements potentially dangerous (statues, scultures...) Scenography elements	furniture in patients rooms gasoline and fuel container potentially dangerous many people inside people inside people near dangerous elements people near heavy elements

Figura 24 Elenco delle vulnerabilità divise per livello di criticità.

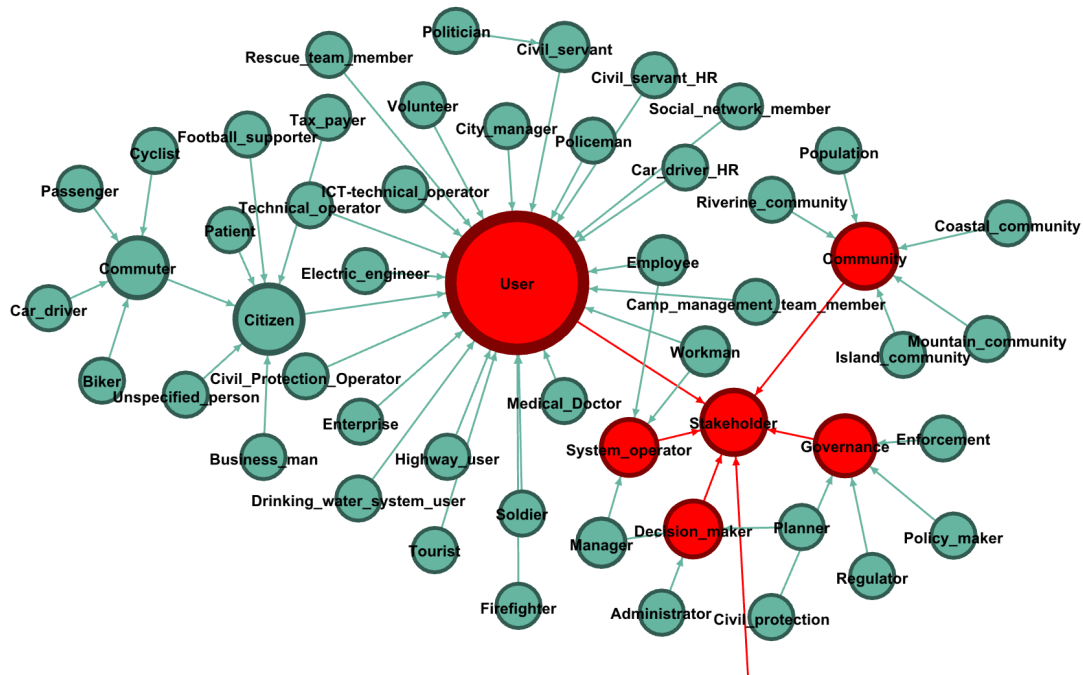


Figura 25 Estratto dall'ontologia TERMINUS che mostra un frammento della tassonomia relativa al concetto Stakeholder.

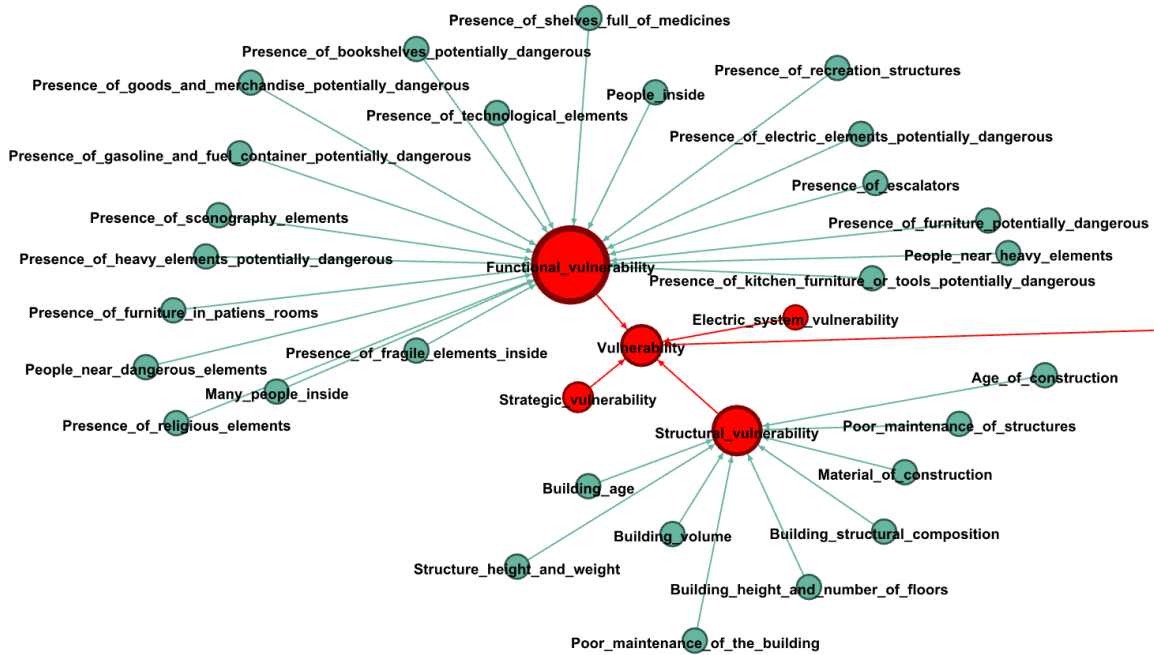


Figura 26 Estratto dall'ontologia TERMINUS che mostra un frammento della tassonomia relativa al concetto Vulnerability.

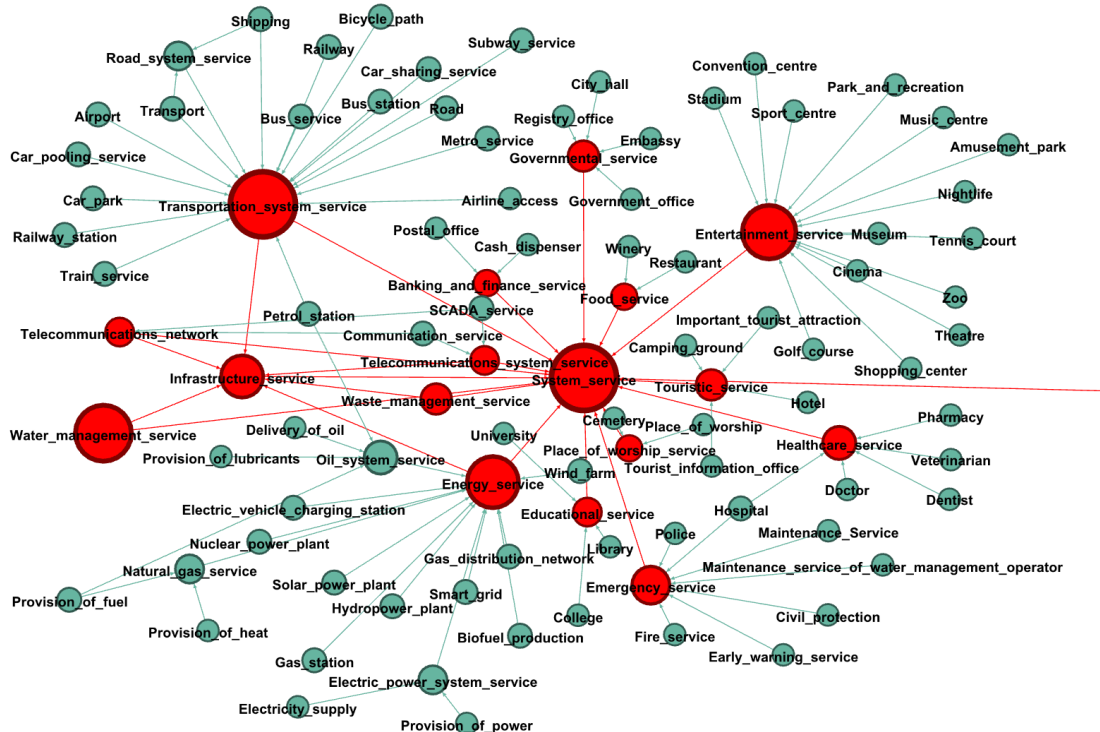


Figura 27 Estratto dall'ontologia TERMINUS che mostra un frammento della tassonomia relativa al concetto System_service.

	STAKEHOLDER		
	GOVERNANCE/DECISION MAKER	SYSTEM OPERATOR	USER
	Civil Protection Policy Maker Public Administrator Planner	Employee Workman Manager	Tourist Citizen Patient Unspecified person Football supporter
Museum	Decline of tourism	Artistic damage	Elements potentially dangerous (statues, sculptures...)
	Economic or political consequences	Economic damage	Emotional or psychological consequences
	Loss of cultural value	Heavy elements potentially dangerous (statues, sculptures...)	Health/physical consequences
	Loss of social value	Inability to use drinking water	Inability to communicate with people outside
	management of general disorder	Loss of cultural value	Inability to use drinking water
	Need to leave or evacuate	Loss of property	Loss of cultural value
	Start reconstruction or restoration operations	Missing a planned activity	Loss of social value
	Start security operation	Physical damage	Need to leave or evacuate
	Reduction of visitors Staff members are unable to come to work		
theatre	Economic or political consequences	Economic damage	Health/physical consequences E20
	Loss of social value	Inability to use drinking water	Loss of social value
	management of general disorder	Loss of cultural value	Inability to use drinking water
	Need to leave or evacuate	Loss of property	Need to leave or evacuate
	Need to manage attendance traffic	Physical damages	Emotional or psychological consequences
	Start reconstruction or restoration operations	Staff members are unable to come to work	Loss of cultural value
			Inability to communicate with people outside
sport centre	Loss of social value	Economic damage	Health/physical consequences
	Need to leave or evacuate	Inability to use drinking water	Inability to communicate with people outside
	start reconstruction or restoration operations	Inability to use water for tasks	Emotional or psychological consequences
		Missing a planned activity	Need to leave or evacuate
		Physical damages	Inability to use drinking water
	Staff members are unable to come to work	Loss of social value	

Figura 28 Tipologie di impatto associate ai system_service

5 La valutazione della resilienza di una rete elettrica interconnessa

La possibilità di valutare la resilienza della rete elettrica è di fondamentale importanza per gli operatori di rete sia di trasmissione sia di distribuzione. La Determinazione 7 Marzo 2017 n.2/2017 dell'ARERA (Autorità di Regolazione per l'Energia reti e Ambiente) descrive le linee guida per la presentazione dei piani di lavoro per l'incremento della resilienza del sistema elettrico individuando i principali fattori critici che possono avere un impatto sulla resilienza dei sistemi elettrici. La Figura 29 descrive l'andamento dello stato di funzionalità di un sistema generico mettendo in evidenza le caratteristiche e i parametri essenziali per la definizione di resilienza.

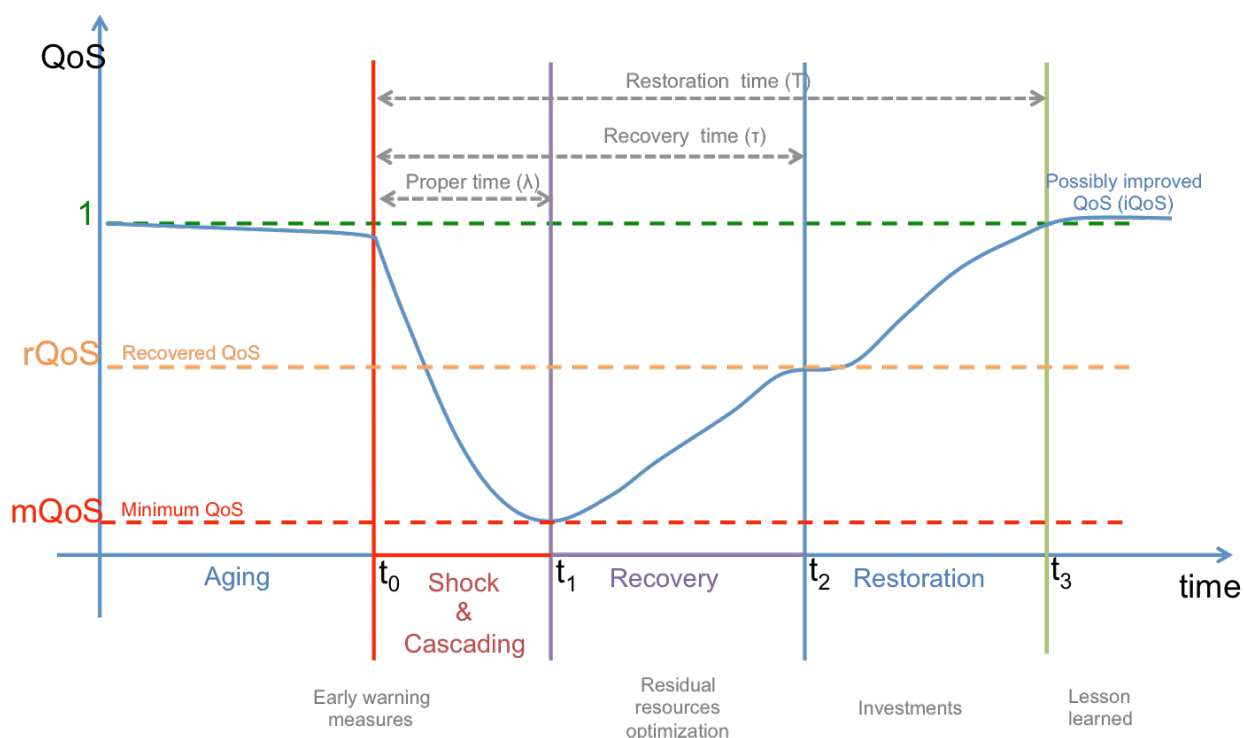


Figura 29 Curva di resilienza

In letteratura esistono approcci/definizioni simili a quelli proposti nell'ambito del lavoro svolto durante il PAR2017. Per maggiori dettagli citiamo [Tofani et al., 2015; Han et al., 2018; Bie et al., 2017]. L'approccio proposto e di seguito descritto è ottimizzato per scenari di notevoli dimensioni e per modellare e simulare le dipendenze della rete di distribuzione elettrica da altri servizi ed infrastrutture (rete di telecomunicazione, viabilità urbana). In questo Report sono presentati e descritti i risultati inerenti la valutazione della resilienza della rete di distribuzione elettrica dell'area metropolitana di Roma gestita da Areti, società del gruppo ACEA SpA.

Il metodo proposto consente la valutazione della resilienza del sistema elettrico mediante la definizione di metriche che consentono la stima dell'operatività della rete stessa. Il metodo considera differenti fattori che influenzano in modo determinante la resilienza della rete di distribuzione elettrica, dai fattori più meramente tecnologici come gli aspetti topologici della rete, il funzionamento del sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) ad aspetti più inerenti le procedure di gestione della rete adottate dall'operatore di rete. L'approccio descritto può essere utilizzato per la valutazione della resilienza della rete di distribuzione elettrica considerando la normale operatività di rete, oppure considerando la

rete seriamente danneggiata da eventi meteo-climatici critici (ad es. alluvioni) o eventi catastrofici (come ad esempio i terremoti).

Come sarà descritto nei successivi Paragrafi, il metodo proposto è stato utilizzato per valutare l'impatto sulla resilienza di rete di miglioramenti tecnologici, come ad esempio il numero ottimale delle squadre di emergenza per la gestione delle emergenze, il posizionamento delle cabine secondarie automatiche (ossia in grado di gestire senza l'intervento dell'operatore di rete di guasti sulle linee sottostanti).

5.1 Definizione di Resilienza operativa

Come detto in precedenza, la Figura 29 rappresenta l'andamento della funzionalità del sistema espresso in termini di "Quality of Service" (QoS) durante un evento di malfunzionamento della rete elettrica. Il funzionamento della rete può essere suddiviso in 4 fasi differenti:

1. Funzionamento normale ($t < t_0$). Durante questa fase il funzionamento della rete è ottimale: è di fondamentale importanza la possibilità di poter prevedere, per quanto possibile, eventi futuri (come eventi meteo avversi) che possono perturbare il funzionamento della rete stessa;
2. Picco perturbativo ($t_0 \leq t < t_1$). Durante questa fase il funzionamento del sistema decresce istantaneamente fino a raggiungere un minimo ($mQoS$). Questa decrescita, in genere molto rapida, dipende dai dispositivi di controllo e protezione presenti lungo le linee elettriche che, a seguito di un guasto, isolano la linea per evitare danni maggiori alla rete stessa;
3. Recupero ($t_1 \leq t < t_2$). Durante questa fase l'operatore di rete e i dispositivi automatici iniziano a reagire al guasto, per questo motivo la QoS della rete inizia a risalire. La durata di questa fase dipende dall'efficienza delle procedure di ripristino adottate dall'operatore e dall'efficienza di infrastrutture di supporto, come il sistema SCADA, l'infrastruttura di telecomunicazione e la viabilità urbana. Quest'ultima, come si vedrà in seguito, ha un notevole impatto durante le procedure di ripristino manuale (infatti, quando l'operatore non può intervenire tramite telecontrollo gestisce il ripristino della rete tramite l'invio sul posto delle squadre di emergenza a disposizione);
4. Restoration ($t_2 \leq t \leq t_3$). Durante questa fase l'operatore di rete ha l'obiettivo di ripristinare totalmente la QoS della rete elettrica.

La Figura 29, oltre i tempi caratteristici della curva di contingenza (t_1 , tempo di picco perturbativo - t_2 tempo di recupero e t_3 tempo di restoration), mostra i diversi valori che caratterizzano il funzionamento del sistema durante le diverse fasi di guasto: m il QoS minimo raggiunto dalla rete dopo il guasto, r il QoS raggiunto dopo la fase di ripristino e il valore di funzionamento nominale.

5.2 Metriche per la valutazione della resilienza della rete di distribuzione elettrica

Di seguito sono elencati i fattori considerati nell'approccio proposto, i quali influenzano maggiormente l'operatività della rete elettrica e quindi la sua resilienza:

1. Topologia di rete. La topologia di rete influenza la robustezza della rete ossia la capacità della rete di mantenere un funzionamento accettabile anche in caso di guasto. La topologia di rete è definita dallo schema unifilare di rete sia dalla posizione di interruttori e *switch* lungo le linee;
2. Dispositivi di telecontrollo e dispositivi automatici. La presenza di questi dispositivi lungo le linee rendono la fase di ripristino più veloce;
3. Dipendenze con altre infrastrutture tecnologiche e/o servizi;

4. Efficienza delle procedure di ripristino;
5. Numero delle squadre di emergenza disponibile per fronteggiare una crisi.

Per confrontare diversi approcci e possibili ottimizzazioni si deve definire una metrica di resilienza. Come si vedrà nella sezione dedicata ai risultati, la metrica proposta consente di valutare l'efficienza delle procedure di ripristino correntemente adottate dall'operatore e fare un'analisi costi-benefici di possibili ottimizzazioni e/o investimenti sulla rete stessa. Di seguito viene descritto in breve il modello adottato (per maggiori dettagli si rimanda al Report RdS/PAR2016/020) e la metrica di resilienza utilizzata.

La rete di distribuzione elettrica (EDN), come descritto in dettaglio nel Report RdS/PAR2016/020, è modellata tramite un grafo $EDN = (N, L)$ dove i nodi N rappresentano le cabine elettriche e l'insieme L rappresenta le linee elettriche che collegano le diverse cabine elettriche. Le cabine elettriche si distinguono in cabine elettriche secondarie (SS) e cabine elettriche primarie (PS). A loro volta le cabine secondarie possono essere telecontrollate, automatizzate, di frontiera oppure cabine elettriche secondarie normali. Le cabine telecontrollate consentono all'operatore di rete di intervenire da remoto per operazioni di monitoraggio e controllo. Le cabine secondarie automatizzate hanno dei dispositivi che implementano automaticamente procedure di ripristino ottimizzate in caso di guasti sulla linea a valle. Le cabine di frontiera consentono, in caso di necessità, di alimentare porzioni di una linea elettrica isolata utilizzando un'altra linea elettrica. In termini tecnici questa operazione è definita di "contraffacciamento".

Nel modello utilizzato le cabine elettriche si possono trovare in uno dei seguenti possibili stati:

- ON – la cabina elettrica funziona correttamente e gli utenti sottesi sono alimentati regolarmente;
- DISCONNECTED – La cabina elettrica non ha subito guasti ma non è in gradi di alimentare gli utenti sottesi;
- DAMAGED – la cabina elettrica ha un guasto e gli utenti sottesi possono essere alimentati solo tramite l'utilizzo di generatori mobili. Nel modello utilizzato, quindi, il guasto è considerato essere un guasto grave che non può essere risolto in un tempo ragionevole.

Le cabine primarie (PS) sono sempre considerate essere nello stato di ON. Le cabine telecontrollate dipendono da componenti appartenenti alla rete di telecomunicazione (*Base Transceiver Stations* - BTS) che consentono il telecontrollo della rete stessa.

Per quanto riguarda la metrica di resilienza, assumiamo che esista una funzione di tutti gli stati di tutti gli elementi della rete EDN, chiamata QoS , definita come segue:

$$QoS(N, L, t) = 1 \forall t$$

nel caso in cui tutte le cabine elettriche di EDN si trovano nello stato di ON (quindi non sono presenti guasti e disconnessioni nella rete).

Supponiamo adesso di perturbare la rete tramite una perturbazione P che cambia lo stato di alcune cabine elettriche secondarie di EDN da ON a DAMAGED o DISCONNECTED. Quindi la QoS varia diminuendo ad un valore:

$$QoS_P(N, L, t) < 1 \text{ per } t \in [t_p, t_r]$$

dove t_p indica il tempo di inizio perturbazione e t_r indica il tempo di ripristino della rete. Quindi per $t \geq t_r$ la QoS è pari alla QoS nominale della rete.

Nell'approccio proposto, come funzione QoS viene utilizzato l'impatto di una perturbazione P in termini della contingenza provocata tramite un *Key Performance Indicator* (KPI), comunemente utilizzato dall'ARERA, che stima il livello di continuità del servizio in termini del numero utenti disconnessi moltiplicato per il tempo di disconnessione. In dettaglio, l'indicatore è espresso in termini del numero di utenti disconnessi d_i sottesi al nodo i della rete EDN moltiplicato per la durata τ_i della disconnessione. Quindi la funzione QoS relativa alla perturbazione del nodo i sulla linea l è descritta tramite la seguente funzione:

$$\Gamma_i(t) = N_l - \sum_{j=1}^m d_j \delta_j(t)$$

dove N_l è il numero totale di utenti connessi alla linea l , m è il numero di cabine elettriche secondarie SS sulla linea l , d_j rappresenta il numero di utenti sottesi la cabina SS_j e $\delta_j(t)$ è una funzione che: è uguale a 1 se la cabina SS_j al tempo t è nello stato DISCONNECTED o DAMAGED, 0 se SS_j è nello stato di ON. La metrica Γ può essere, quindi, normalizzata nell'intervallo $[0,1]$:

$$\Gamma_i(N, L, t) = QoS(N, L, t)$$

La funzione di contingenza $\Gamma_i(t)$ descrive il comportamento della cabina elettrica SS_i secondaria durante la crisi. La Figura 30 mostra un esempio della funzione di contingenza applicata ad una linea di media tensione perturbata da un doppio guasto e mostra, in un esempio pratico, i tempi caratteristici di una crisi come quella provocata da un doppio guasto simultaneo su una linea.

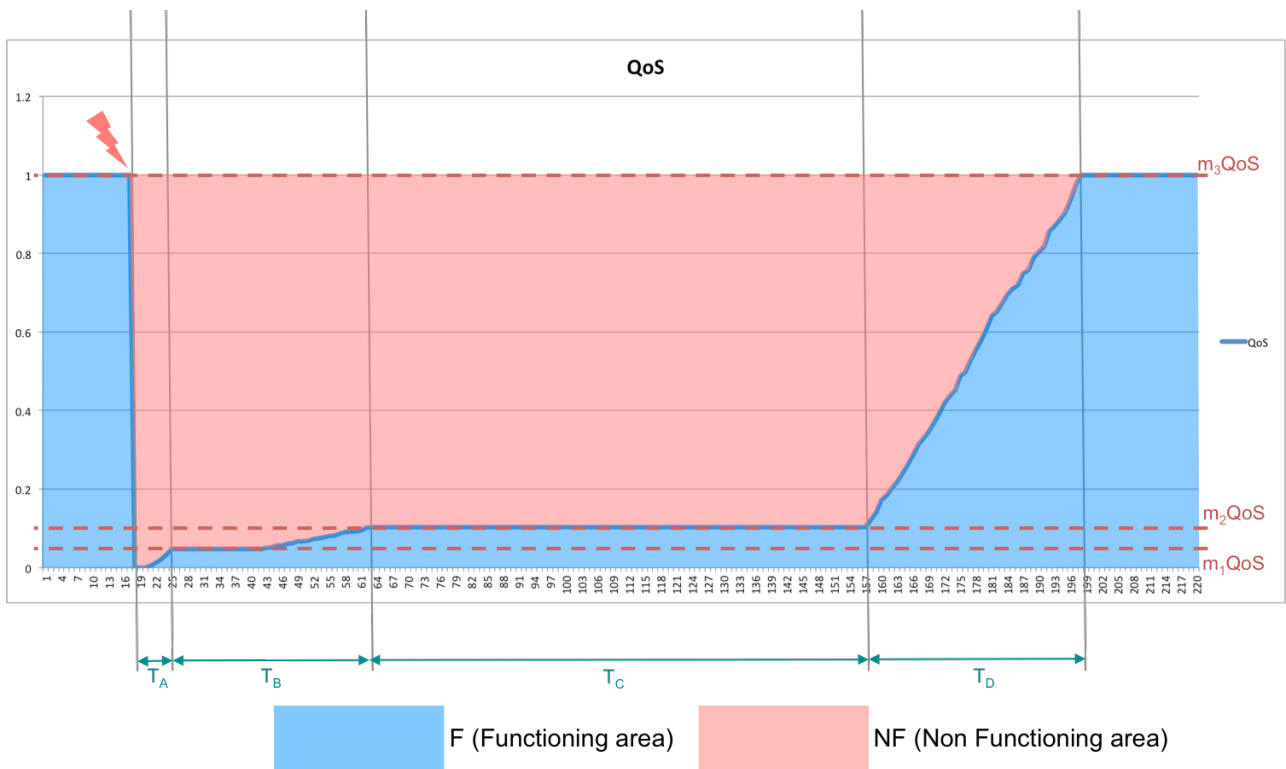


Figura 30 Esempio della metrica Γ a seguito di un doppio guasto sulla linea

Nello specifico:

- T_A è la durata di questo intervallo e dipende dalle procedure di ripristino compiute dall'operatore di rete utilizzando il telecontrollo. Passato questo intervallo, il valore $mQoS$ passa da 0 (quando la perturbazione P impatta la linea, per effetto dei dispositivi di protezione tutte le cabine elettriche secondarie SS sulla linea vengono disconnesse) al valore m_1QoS ;
- T_B rappresenta l'intervallo di tempo necessario all'isolamento delle cabine in guasto tramite l'intervento delle squadre di emergenza. Dopo l'isolamento del guasto è possibile riconnettere ulteriori cabine elettriche secondarie; quindi, la QoS si incrementa fino a raggiungere il valore m_2QoS ;
- T_C è il doppio guasto simultaneo su una stessa linea: questo è uno degli scenari peggiori per l'operatore elettrico, in quanto un certo numero di cabine elettriche sono isolate e l'unico modo per alimentare gli utenti sottesi da queste cabine è quello di ricorrere ai generatori mobili che richiedono un tempo non trascurabile per la messa in opera;
- T_D rappresenta il tempo entro cui tutti i generatori mobili sono operanti e quindi tutti gli utenti sottesi dalla linea in questione sono rialimentati.

Le performance della linea possono essere quindi misurate in termini dell'area di non funzionamento (NFA) o viceversa dell'area di funzionamento (FA) come mostrato in Figura 30. Nel seguito, si assume come metrica l'area di non funzionamento NFA. Questo valore dipende da tutti i fattori individuati in precedenza che maggiormente influenzano la resilienza della rete. Quindi, nell'approccio proposto, questo valore è inversamente proporzionale alla resilienza R della EDN:

$$R^{-1}(SS_i) \propto NFA(SS_i) = 1 - \int_0^T \Gamma_i(t)$$

L'obiettivo della valutazione della resilienza della rete di distribuzione di Roma, lavoro svolto con l'operatore di rete Areti, si è posto l'obiettivo di quantificare globalmente la resilienza della rete considerando tutte le possibili perturbazioni. Il valore globale di resilienza operativa è, quindi, associato all'integrale della funzione di distribuzione di tutti i valori di NFA relativi a tutte le possibili perturbazioni sulla EDN. Ad esempio, il valore della resilienza operativa considerando un'analisi N-1 della rete è espressa come:

$$R^{-1} \propto \frac{\sum_1^N NFA(SS_i)}{N}$$

L'algoritmo RecSIM (cfr. Report RdS/PAR2016/020), nell'ambito del lavoro svolto nella presente annualità è stato utilizzato per la stima delle funzioni Γ_i considerando analisi N-1 (le perturbazioni sono rappresentate da singoli nodi di rete) e N-2 (in questo caso ogni perturbazione è rappresentata da un doppio guasto su una stessa linea oppure su due linee appartenenti ad una stessa dorsale elettrica di media tensione).

ReSIM, pertanto, è stato utilizzato per lo studio del comportamento della EDN dell'area metropolitana di Roma contenente approssimativamente 14000 cabine elettriche secondarie SS, 80 cabine primarie PS e 1400 linee di media tensione. Nelle analisi effettuate, si assume che le perturbazioni P possono impattare solo le cabine elettriche secondarie. Quando una perturbazione impatta una SS il suo stato passa dallo stato ON allo stato di DMAGED.

I parametri utilizzati per la configurazione delle simulazioni rappresentano i diversi fattori di resilienza elencati nel precedente paragrafo:

- La topologia di rete in termini del grafo di connessione e del posizionamento degli *switch* lungo le linee di media tensione. Le simulazioni hanno fatto riferimento ad una configurazione denominata configurazione normale così come utilizzata dall'operatore di rete;
- Frazione delle cabine secondarie telecontrollate con telecontrollo disponibile. Durante l'operatività di rete può accadere che, per diversi motivi, le cabine telecontrollate non siano raggiungibili dall'operatore. Questo determina un degrado delle performance dell'operatore durante le procedure di ripristino;
- Il numero di squadre di emergenza disponibili;
- I tempi caratteristici medi d'intervento. Questi valori sono stati forniti dall'operatore Areti e indicano, ad esempio, il tempo medio necessario per operare in telecontrollo, oppure il tempo medio necessario ad una squadra di emergenza per intervenire sul luogo del guasto e per portare a termine l'intervento.

5.3 Risultati delle simulazioni

La Tabella 5 riassume la configurazione ed i valori dei parametri della simulazione di base. Utilizzando questi parametri si è ottenuto il valore di resilienza nominale, utilizzato poi come riferimento per confrontare i risultati delle successive simulazioni, effettuate modificando questi parametri di base.

Tabella 5. Parametri di simulazione di base

Configurazione parametri simulazione di base	
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 tele-controllate	0,4%

Nelle varie simulazioni eseguite sono stati modificati opportunamente questi parametri di base, per valutare gli effetti di scenari differenti sulla base delle procedure di ripristino adottate dall'operatore, come ad esempio:

- Numero di squadre di emergenza disponibili per la gestione dell'emergenza
- Congestione traffico urbano
- Viabilità ottimale
- Problemi estesi sul sistema SCADA

Di seguito, nella Tabella 6, sono riportati i risultato ottenuto variando il numero di squadre di emergenza disponibili per la gestione dell'emergenza.

Tabella 6. Risultati variazione numero squadre di emergenza

Numero di squadre	$R^{-1} (N-1)$	$R^{-1} (N-2)$
2	$X \sim + 2,2\%$	$X \sim + 5\%$
4	X	X
6	$X \sim - 0,2\%$	$X \sim - 0,5\%$
8	$X \sim - 0,4\%$	$X \sim - 0,7\%$

I risultati ottenuti mostrano come la disponibilità di un numero limitato di squadre d'emergenza possa avere un impatto maggiore nel caso di doppio guasto su una linea. Non si notano, altresì, differenze sostanziali aumentando il numero di squadre a disposizione sia nel caso N-1 e N-2. Per quanto riguarda il caso N-2 non si migliora sostanzialmente aumentando le squadre di emergenza in quanto, con un doppio guasto su una stessa linea, in media le cabine elettriche secondarie isolate sono molte e l'unico modo per ripristinare queste cabine è utilizzare generatori mobili.

5.3.1 Dipendenza della resilienza dalla viabilità urbana

Nella Tabella 7 e nella Tabella 8 sono mostrate le configurazioni di simulazione utilizzate per la modellazione dello scenario di viabilità urbana ottimale contrapposta allo scenario di congestione del traffico.

Tabella 7. Viabilità urbana buona

Viabilità urbana buona	
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 - $travel_t$	$35 \pm 10 \text{ min}$
Tempo necessario per intervento generatore mobile pg_t	$160 \pm 20 \text{ min}$
Frazione delle cabine elettriche non tele-controllate	0,4%

Tabella 8. Congestione traffico

Congestione traffico	
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 - $travel_t$	$60 \pm 10 \text{ min}$
Tempo necessario per intervento generatore mobile pg_t	$220 \pm 20 \text{ min}$
Frazione delle cabine elettriche non tele-controllate	0,4%

Di seguito la Tabella 9, che riassume i risultati ottenuti per il caso N-1 e per il caso N-2.

Tabella 9. Risultati modellazione differenti situazioni di traffico

Modellazione traffico	R^{-1} (N-1)	R^{-1} (N-2)
Traffico normale medio	X	X
Viabilità buona	$X \sim - 13\%$	$X \sim - 13\%$
Congestione	$X \sim + 19\%$	$X \sim + 23\%$

Come si evince dalla Tabella 9, l’ottimizzazione della gestione degli interventi delle squadre di emergenza può avere un forte impatto sul valore finale di resilienza. In questa ottimizzazione occorre tenere conto del percorso ottimale da seguire per raggiungere il luogo del guasto e, in fase preventiva, la possibilità di dislocare in maniera ottimale le squadre disponibili nel territorio prima che si verifichino crisi sulla rete.

Da qui si evince l’utilità del DSS CIPCast e del flusso dati implementato con il centro informativo di Arete (descritto nel Report RdS/PAR2016/020). Il DSS, in caso di previsione di eventi meteorologici critici, è in grado di informare l’operatore di rete sul rischio di avere impatti su elementi specifici della rete elettrica (cfr. anche Par. 4.1 e 4.2). Sulla base di questa informazione previsionale, l’operatore potrebbe mettere in atto una serie di azioni preventive di mitigazione, come la dislocazione mirata delle squadre di emergenza e dei generatori mobili.

5.3.2 Dipendenza della resilienza dalla disponibilità del sistema SCADA

Il simulatore RecSIM è stato utilizzato per la valutazione della resilienza della EDN in funzione della disponibilità del sistema SCADA della rete stessa e quindi della possibilità dell’operatore di rete di eseguire operazioni in telecontrollo.

Per quanto riguarda il caso N-1 la resilienza della rete non subisce variazioni particolari aumentando il numero di BTS non funzionanti. Per avere un aumento del valore R^{-1} del 2% bisogna avere un numero di cabine secondarie telecontrollate con telecontrollo non funzionante pari a circa il 4% del numero di cabine telecontrollate totali (Figura 31).

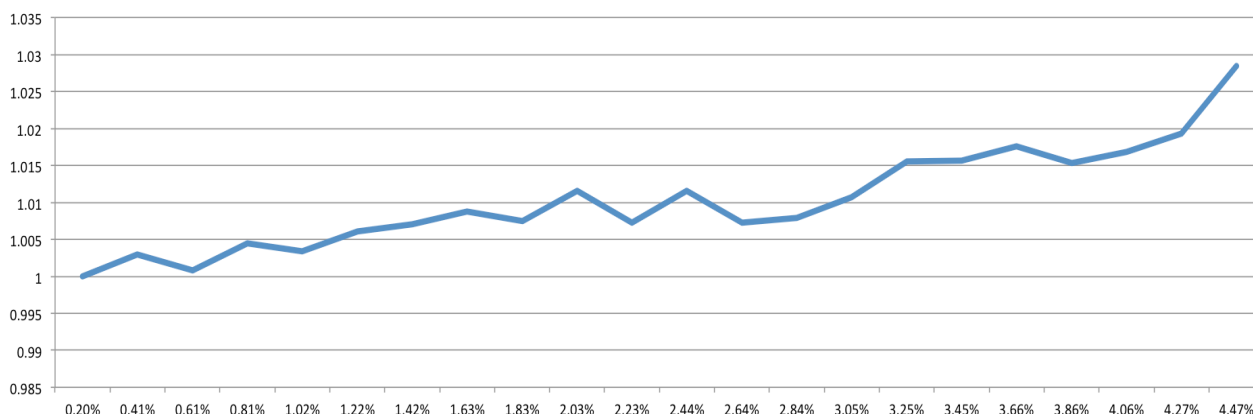


Figura 31 Variazione del parametro R^{-1} all'aumentare delle cabine telecontrollate con telecontrollo non funzionante

Per il caso N-2 si ottiene un andamento simile. Occorre notare che la valutazione N-2 ha preso in considerazione il caso peggiore, costituito dal doppio guasto su semi-dorsale e dorsale. In questi casi si ha un determinato numero di cabine elettriche che risultano isolate (tutte quelle a valle dei due guasti), quindi il telecontrollo non influisce di molto sulle performance delle procedure di ripristino. Per meglio analizzare la dipendenza delle procedure di ripristino dalla disponibilità del sistema SCADA è stata effettuata la valutazione di resilienza nel caso di valutazione N-2 random.

In questo set di simulazioni sono state eseguite ~1.000.000 di iterazioni e per ogni iterazione sono state scelte a caso due cabine secondarie in guasto (quindi non si considera più il caso peggiore). In questo caso la dipendenza del valore della resilienza dal sistema SCADA è più evidente come mostrato nella seguente Figura 32.

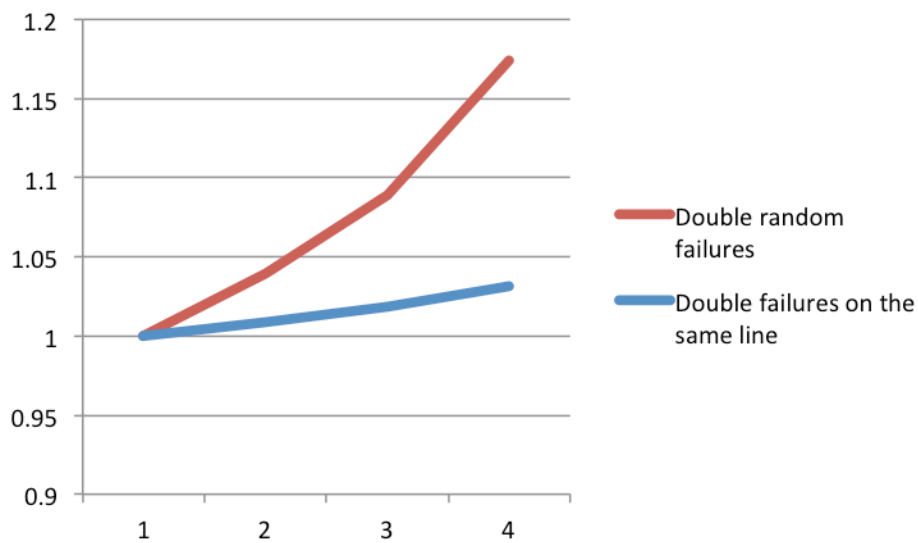


Figura 32 Confronto della curva di resilienza tra doppio guasto casuale e doppio guasto su stessa linea o semi-dorsale

6 Interazione con la Smart District Platform

6.1 Integrazione dei dati da drone nel DSS

Nel Sotto-Obiettivo d.2 (“Monitoraggio aereo dello smart district”) è stato realizzato dimostratore per il monitoraggio energetico degli edifici energivori e per quello ambientale per ciò che attiene alla qualità dell’aria; tale dimostratore si basa sulla tecnologia degli aeromobili a pilotaggio remoto (RPAS) multi elica usualmente indicati con il termine drone (cfr. Report RdS/PAR2017/062 - “Sistema di monitoraggio aereo per lo Smart District: elaborazione dati, ausilio al pilota, sviluppo sensori”).

Tale piattaforma fornisce immagini visive e termiche e dati chimici. Le immagini acquisite dal drone sono poi elaborate, sempre nel Sotto-Obiettivo d.2 (a cura del gruppo di lavoro del Laboratorio DTE-SEN-IDRA di ENEA), in modelli tridimensionali.

Il dato di input per la ricostruzione 3D, come descritto in maggior dettaglio nel Report RdS/PAR2017/062, è rappresentato da una collezione di molte immagini (dell’ordine almeno delle centinaia) o da filmati. Tale quantità di informazioni è di difficile integrazione all’interno dell’interfaccia WebGIS del DSS. Per ovviare al problema, pertanto, si è scelto di presentare all’utente direttamente il modello 3D dell’edificio mediante l’integrazione diretta nel DSS del visualizzatore in HTML sviluppato in d.2 .

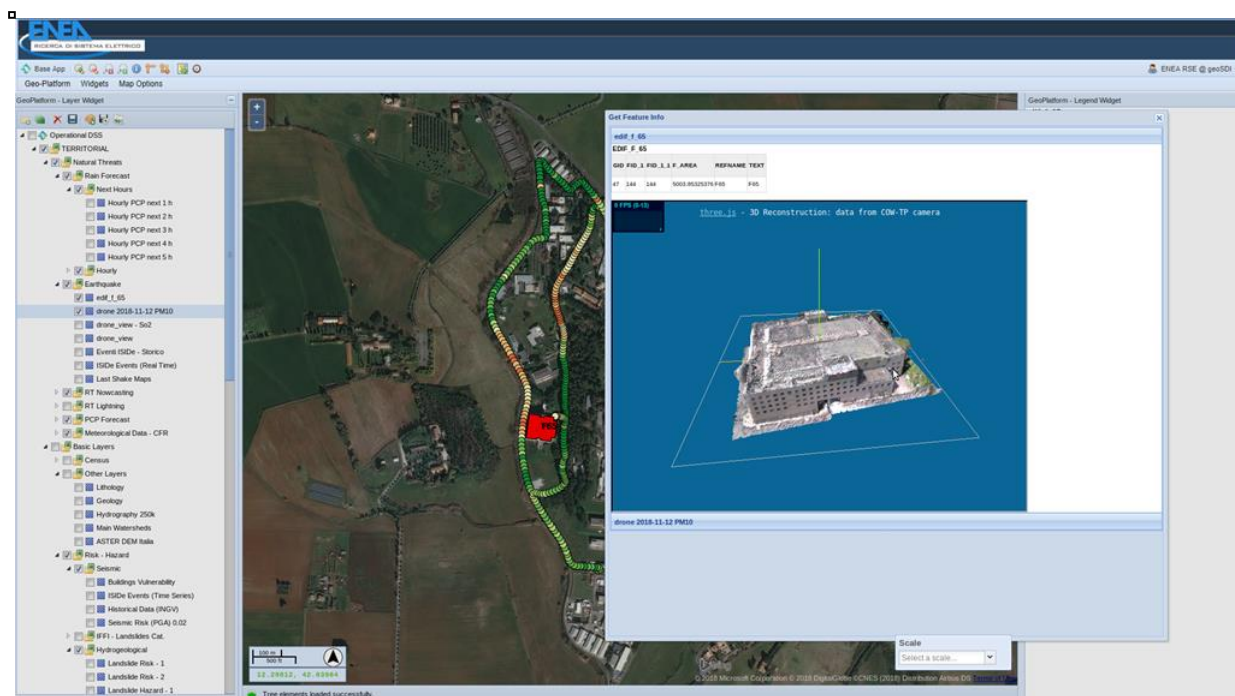


Figura 33. Visualizzazione del modello 3D di un edificio all’interno dell’interfaccia Web del DSS CIPCast

Grazie a questa soluzione è possibile, quindi, richiamare nel DSS la pagina web all’interno della quale viene visualizzato il modello 3D, con la possibilità di interagire agevolmente ed intuitivamente con esso in termini di movimentazione e display. In ogni caso, è consigliabile utilizzare il visualizzatore sotto Firefox, in quanto sotto Chrome presenta alcuni problemi che dipendono dai parametri di sicurezza interni al browser di Google. Una volta realizzata, la pagina web di visualizzazione viene a risiedere su di un server che è accessibile dal DSS CIPCast. Nella Figura 33 è mostrato il risultato dell’interrogazione effettuata tramite l’interfaccia WebGIS del DSS: l’edificio F65, utilizzato come test per le attività di rilievo effettuate in d.2 (cfr.

Report RdS/PAR2017/062) è evidenziato (in rosso), mentre tramite una finestra pop-up attivata all'interno della medesima interfaccia viene mostrato il suo modello 3D all'interno del visualizzatore in HTML.

Per quello che riguarda i dati chimici, sulla base del layout implementato durante le attività del PAR2016 (cfr. cfr. Report RdS/PAR2016/020 e Report RdS/PAR2016/021), è stato validato il processo automatico di acquisizione e visualizzazione dei dati provenienti dal *payload* chimico (Figura 34).

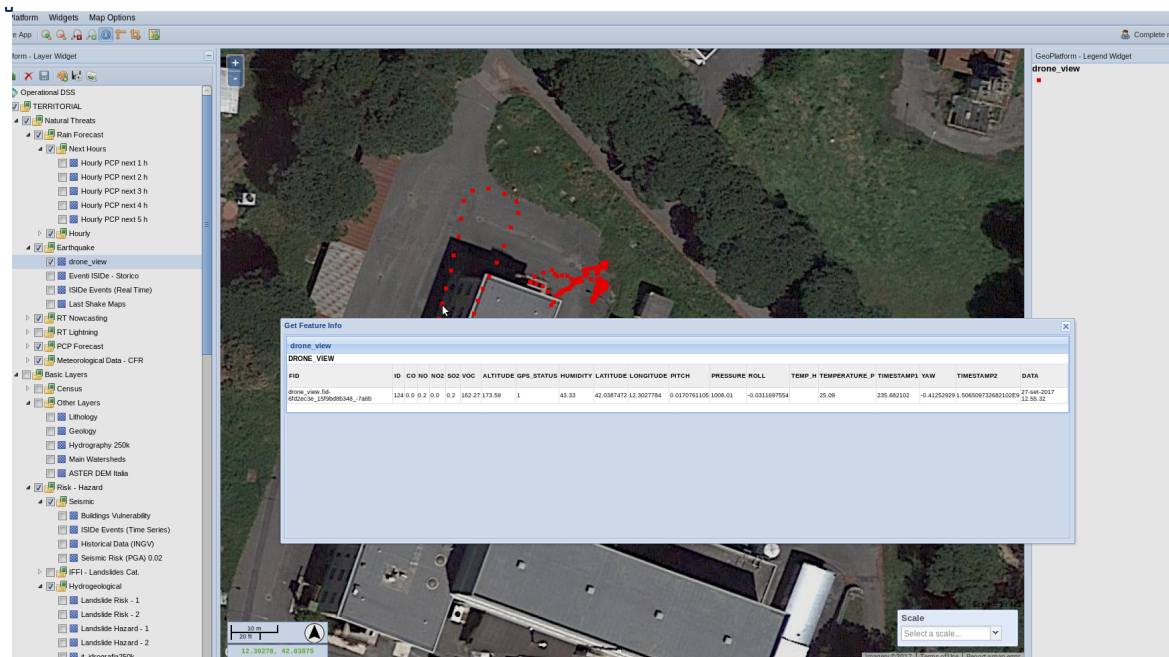


Figura 34. Visualizzazione nell'interfaccia del DDS dei dati di concentrazione chimica relativi ad un punto della traiettoria del drone

6.2 Interazione DSS con la SmartCityPlatform

Nello sviluppo operativo della Piattaforma DSS, particolare attenzione è stata dedicata anche alla definizione delle modalità di connessione e interazione con la SmartCityPlatform (SCP), per la gestione dello Smart District (descritta in dettaglio nei Report RdS/PAR2016/001 e RdS/PAR2017/040), in modo da supportare l'effettiva integrazione del DSS con i diversi contesti applicativi "verticali" dello Smart District urbano.

In particolare, le attività si sono concentrate sulla definizione delle modalità di scambio e sulla gestione dei flussi di dati tra la piattaforma DSS e gli altri contesti applicativi, attraverso la SCP. Nelle precedenti annualità (cfr. Report RdS/PAR2016/020 e Report RdS/PAR2016/001) sono stati individuati e definiti i possibili casi d'uso (visualizzazione nell'interfaccia WebGIS di anomalie e consumi di edifici monitorati, oppure dati meteo etc.) allo scopo di monitoraggio, diagnostica e attuazione di una corretta gestione energetica.

Nel corso della presente annualità, quindi, si è proceduto a testare ed implementare i suddetti casi d'uso. Gli "elementi chiave" di questa procedura sono una serie di edifici monitorati (consumi energetici, anomalie, etc.) ed individuati nell'ambito delle attività dell'obiettivo a del presente Progetto ("Piattaforma ICT per la gestione dello Smart District").

In specifiche tabelle del GeoDatabase del DSS sono stati, pertanto, integrati i dati caratteristici relativi a tali edifici monitorati (geometria e posizione geografica) insieme ad una serie di informazioni legate alle

monitoraggio dei consumi energetici in ogni edificio. Operativamente, in questo caso, il DSS richiede i suddetti dati ("UrbanDataset") alla SCP, li riceve in formato JSON e li importa nelle rispettive tabelle del proprio GeoDatabase. In questa fase, sono state definite due tipologie di "UrbanDataset":

1. anomalie "HighLevel": il dato viene recuperato ogni ora. È già aggregato su diversi intervalli di tempo (3 anni, 1 anno, 1 mese, 1 settimana, 1 giorno). Ad ogni acquisizione si va ad aggiornare la serie storiche del numero delle anomalie per ogni singolo edificio nel periodo di riferimento;
2. anomalie "LowLevel": anomalie generate da sensori malfunzionanti. Questo dataset viene inviato una volta al giorno e contiene i consumi del giorno precedente, viene accodato nelle tabelle di pertinenza.

Di seguito, viene riportato un esempio di dato contenente anomalie "HighLevel" per un edificio monitorato (ed. F40), nell'arco di un periodo di 3 anni:

```

{
  "period": {
    "start_ts": "2015-11-14T14:39:53",
    "end_ts": "2018-11-14T14:39:53"
  },
  "coordinates": {
    "latitude": 42.03849,
    "format": "WGS84-DD",
    "longitude": 12.30282
  },
  "property": [
    {
      "val": "1",
      "name": "BuildingEnergyAnomalyCode"
    },
    {
      "val": "380",
      "name": "BuildingEnergyHighAnomalies"
    },
    {
      "val": "153",
      "name": "BuildingEnergyMeanAnomalies"
    },
    {
      "val": "336",
      "name": "BuildingEnergyLowAnomalies"
    },
    {
      "val": "1",
      "name": "BuildingID"
    },
    {
      "val": "F40",
      "name": "BuildingName"
    }
  ],
  "description": "Anomalie HL individuate ultimi 3 anni.",
  "id": 1,
  "lineLocation": "42.03849,12.30282"
},

```

Quello che segue, invece, è un esempio di dato di anomalie “LowLevel” per un edificio monitorato (ed. F40), relativamente ad una giornata specifica (12 Settembre 2018):

```
"period": {
  "start_ts": "2018-09-12T00:00:00",
  "end_ts": "2018-09-13T00:00:00"
},
"coordinates": {
  "latitude": 42.03849,
  "longitude": 12.30282
},
"property": [
  {
    "val": "1",
    "name": "BuildingID"
  },
  {
    "val": "F40",
    "name": "BuildingName"
  },
  {
    "val": "1",
    "name": "DeviceAnomalyCode"
  },
  {
    "val": "SmartBuildingCasaccia-3",
    "name": "DeviceID"
  },
  {
    "val": "14220",
    "name": "DeviceTotalAnomalies"
  }
],
"description": "Anomalie LL individuate .",
"id": 1
},
```

Inoltre, il DSS può anche inviare dei dataset alla SCP. In questo caso, è stato testato ed implementato l’invio dei dati relativi alla situazione meteo (temperature, precipitazioni, etc., con “push” ogni 6 ore).

Nell’esempio che segue, è riportato il dato inviato alla SCP relativamente ai dati rilevati da una stazione meteo-climatica (temperatura in °C, precipitazioni in mm) in una giornata specifica

```

values": {
  "line": [
    {
      "id": 75,
      "coordinates": {
        "latitude": 42.08,
        "longitude": 12.4007,
        "height": 225.0,
        "format": "WGS84-DD"
      },
      "period": {
        "start_ts": "2018-09-24T10:00:00",
        "end_ts": "2018-09-24T16:00:00"
      },
      "property": [
        {
          "name": "AirTemperature",
          "val": "28.5"
        },
        {
          "name": "MeteoStationName",
          "val": "Formello"
        },
        {
          "name": "Rainfall",
          "val": "5.2"
        },
        {
          "name": "RiverFlow",
          "val": "N/A"
        }
      ]
    }
  ]
}

```

Nelle seguenti figure (Figura 35 e Figura 36), infine, sono riportati alcuni esempi di visualizzazione nel DSS dei dati di anomalie relative all’UrbanDataset, elaborati e prodotti dalla SCP e da essa acquisiti automaticamente per la consultazione nell’interfaccia WebGIS.

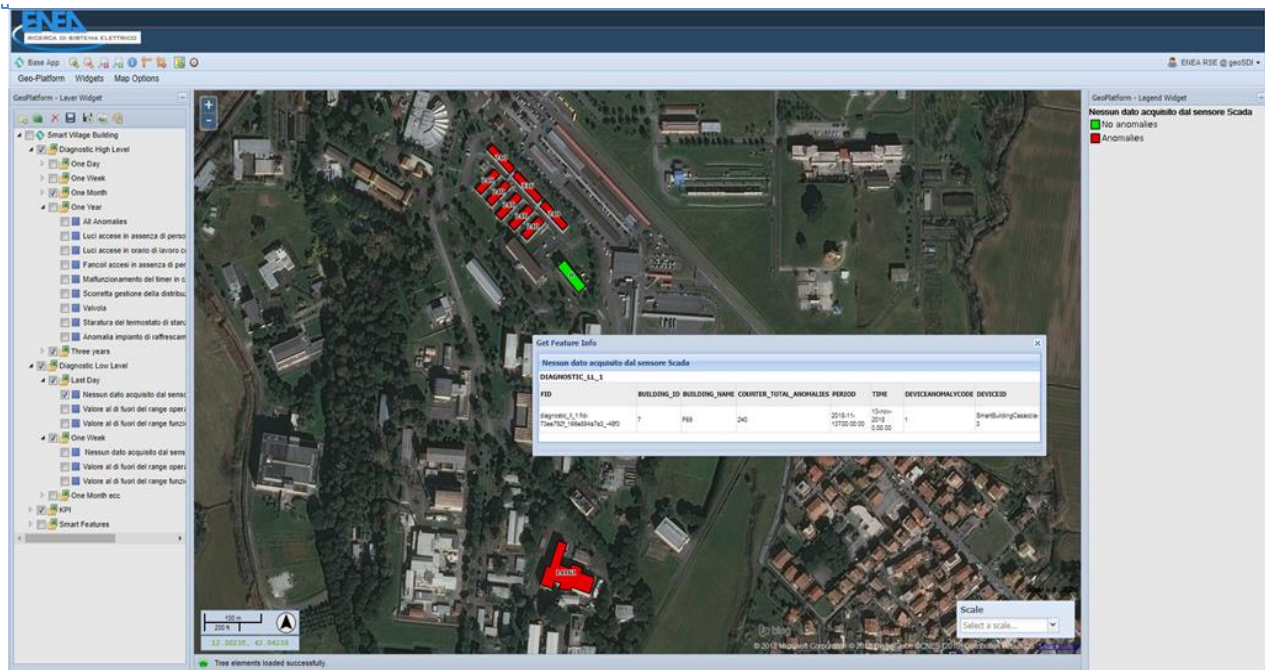


Figura 35. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS del DSS di un dato di anomalie "LowLevel" (giornaliero) proveniente dalla SCP

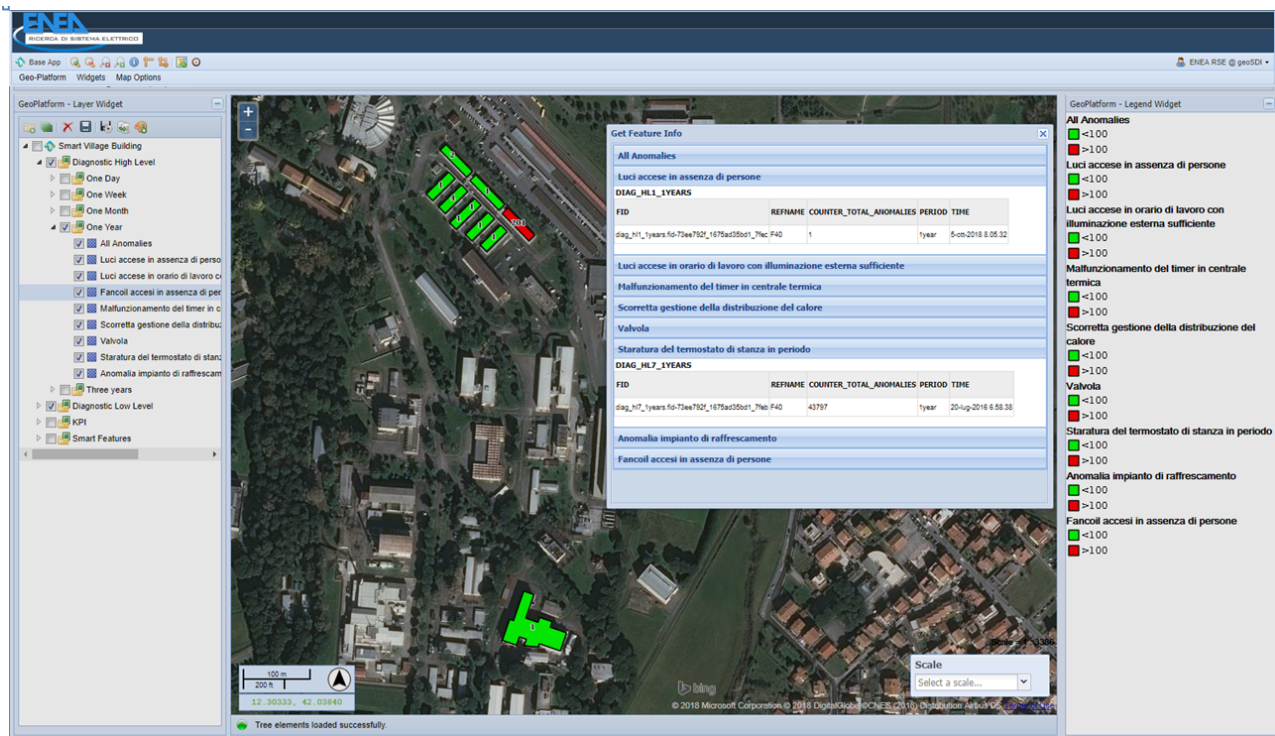


Figura 36. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS del DSS di un dato di anomalie "HighLevel" (annuale) proveniente dalla SCP

7 Il front-end DSS (WebGIS)

Nel corso della presente annualità sono state completate le attività di sviluppo e d'implementazione dell'interfaccia avanzata WebGIS del DSS CIPCast (cfr. Report RdS/PAR2016/020). Grazie a tale interfaccia gli utenti finali della Piattaforma possono visualizzare gli elementi geolocalizzati, le mappe di rischio, etc., e sovrapporre questi strati informativi con altri tipi di informazioni come, ad esempio, i risultati delle analisi di impatto e gli scenari. Il sistema informativo di CIPCast, pertanto, può essere condiviso attraverso il proprio modulo WebGIS, e divenire in tal modo utilizzabile per analisi, monitoraggio, elaborazione scenari, focalizzandosi sulle CI oggetto d'interesse.

L'URL attuale dell'applicazione WebGIS è: <http://apic.casaccia.enea.it/rse/>. Per l'accesso e l'autenticazione, stante la sensibilità di determinate informazioni (e.g., la localizzazione di elementi della rete MT di Areti e le specifiche caratteristiche), sono necessarie credenziali specifiche.

Nell'ambito delle attività del PAR2017, pertanto, sono stati effettuati l'upgrade e l'arricchimento funzionale della versione progettata nel corso del PAR2015 e sviluppata nel corso del PAR2016. A tal proposito, si ricorda che il WebGIS è stato implementato e "personalizzato" (per gli scopi progettuali) sulla base del *framework open source* GeoPlatform. Grazie alle sue specifiche caratteristiche, esso permette all'utente (non necessariamente dotato di specifiche competenze GIS, come ad esempio un operatore della Sala Controllo o un gestore di CI) di interfacciarsi con la Piattaforma CIPCast tramite un normale browser web.

L'insieme delle funzioni disponibili (Figura 37) comprende, innanzitutto, quelli di base: il tipico pan e zoom sulla mappa, che consentono non solo la variazione di scala della mappa stessa, ma anche l'identificazione di oggetti geografici presenti nel GeoDatabase e relativi ad una richiesta specifica ("GetFeatureInfo"). Per ciascun strato informativo ("Layer") presente nella Piattaforma CIPCast, pertanto, è possibile, oltre alla sua geolocalizzazione e al posizionamento nel territorio, avere anche informazioni sulle caratteristiche specifiche (attributi). Gli strati informativi sono selezionati sulla base di una richiesta inviata mediante lo standard WMS¹¹ e quindi caricati/resi disponibili direttamente nella sezione laterale di sinistra (TOC, *Table of Contents*, Figura 37) dell'interfaccia WebGIS, in modo da essere visualizzati nel *Map Viewer* (riquadro centrale dell'interfaccia, sempre in Figura 37).

Tra le implementazioni più recenti vi è anche l'inserimento nel DSS di un riquadro contenente una "Timeline", che da conto in tempo reale di tutti gli eventi monitorati e acquisiti dalla Piattaforma DSS (terremoti, previsioni meteo e *nowcasting*, etc.), nonché dei controlli ("*check*") che il DSS automaticamente opera per verificare se tali informazioni sono state correttamente acquisite e sincronizzate o se si sono verificate anomalie in tale procedura (ad esempio, perché il fornitore del dato non lo ha reso disponibile).

Tutti i dati e gli output (mappe, scenari, etc.) descritti nei precedenti Paragrafi e mostrati nelle relative Figure rappresentano alcuni degli esempi di visualizzazione e fruizione disponibili mediante l'interfaccia WebGIS di CIPCast.

In definitiva, l'applicazione WebGIS rappresenta uno strumento visuale ed interattivo a supporto ai processi decisionali e di monitoraggio. Grazie a tale interfaccia, pertanto, è possibile visualizzare/consultare:

1. i dati geospaziali di base e la geolocalizzazione degli elementi delle CI di interesse (Figura 38);
2. i dati previsionali e da modelli (e.g., dati idro-meteorologici, indici di allarme, etc., (Figura 39 e Figura 41);
3. gli eventuali scenari di rischio o di danneggiamento (Figura 40);
4. le mappe integrate, realizzate coi predetti strati informativi.

¹¹ <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>

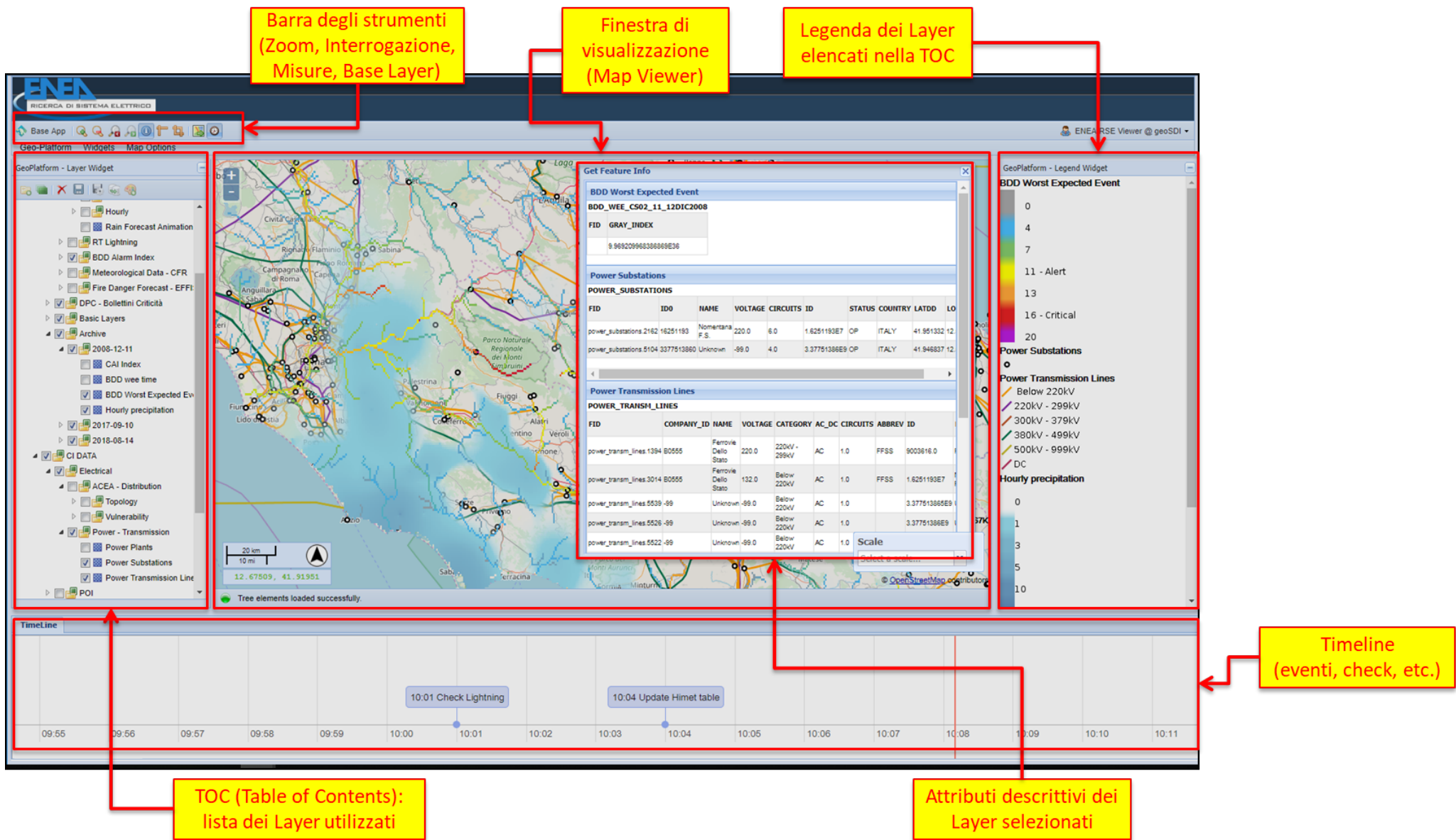


Figura 37. Visualizzazione dell'interfaccia WebGIS di CIPCast: layout e funzionalità

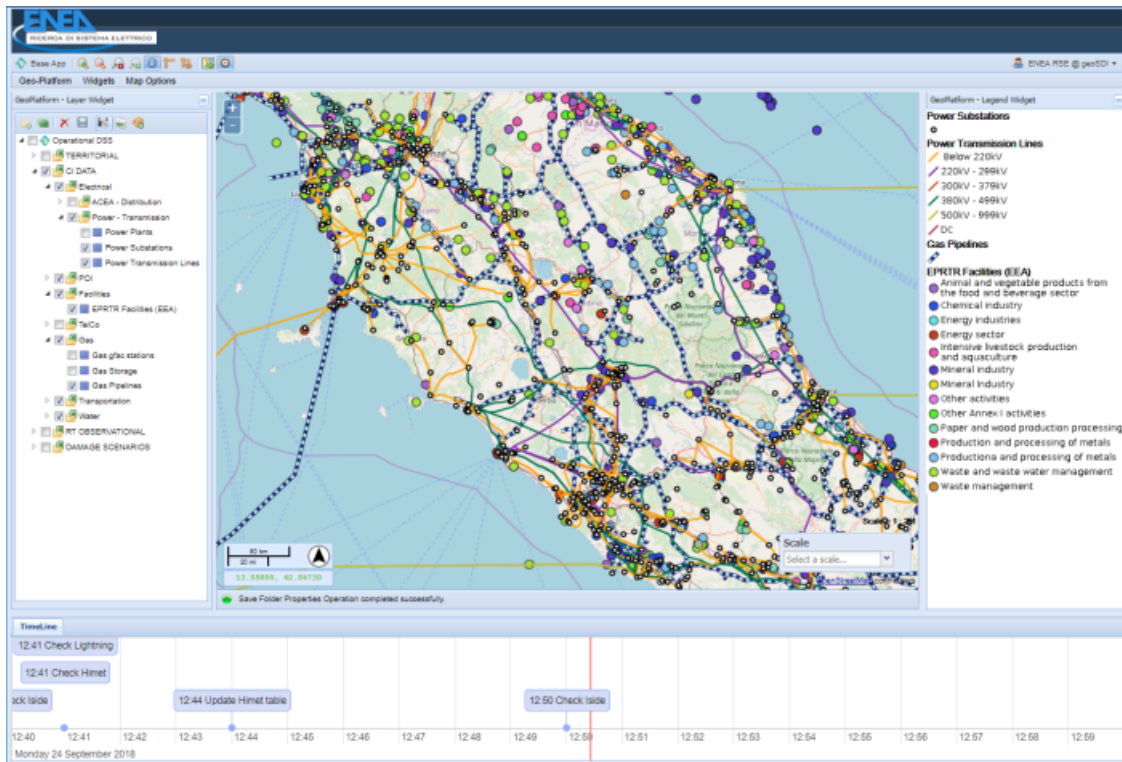


Figura 38. Visualizzazione integrata nell'interfaccia WebGIS della geolocalizzazione delle Infrastrutture Critiche (CI) presenti nel DSS CIPCast

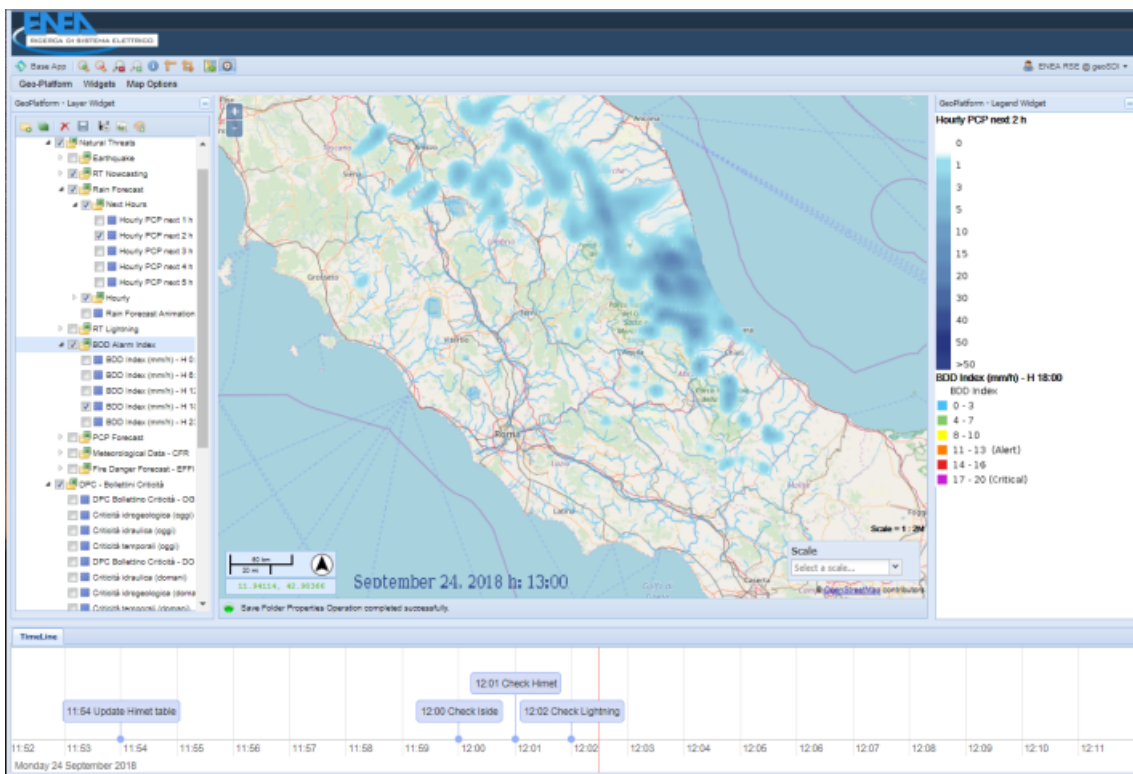


Figura 39. Visualizzazione integrata nell'interfaccia WebGIS di CIPCast della mappatura delle precipitazioni previste (mm/h) e della mappatura dei valori dell'indice di allarme idrologico BDD sul reticolo idrografico del bacino del Tevere

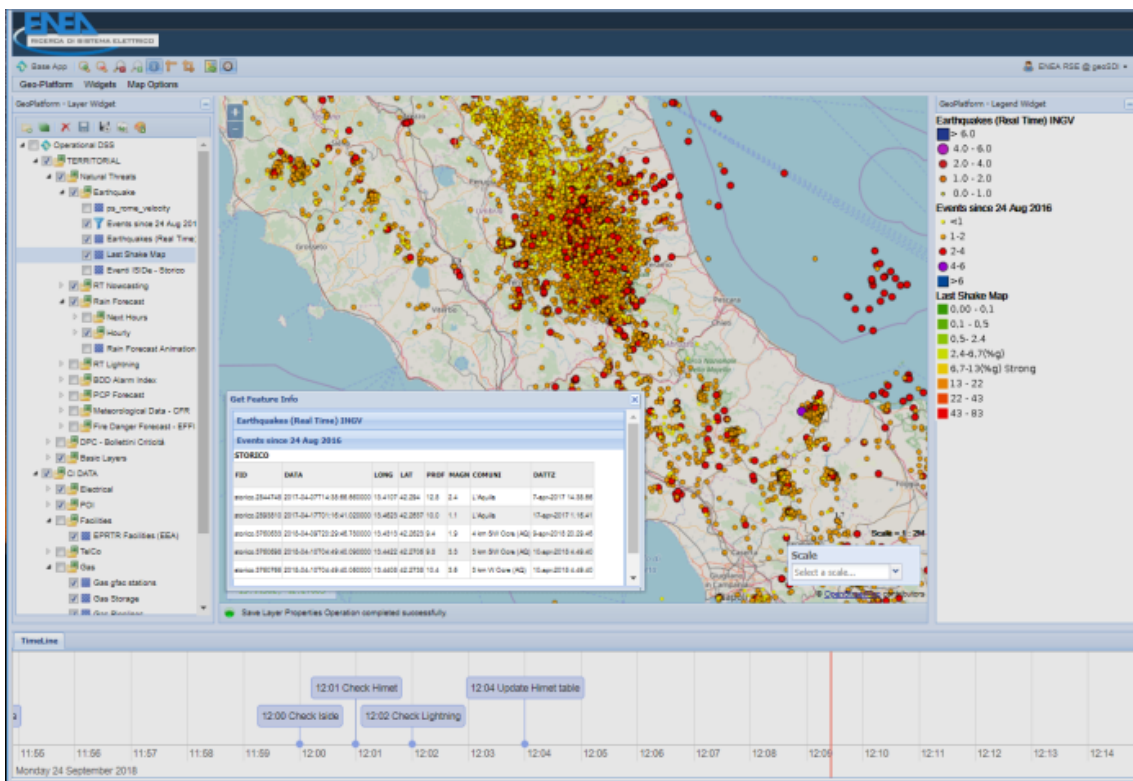


Figura 40. Visualizzazione nell'interfaccia WebGIS di CIPCast del monitoraggio sismico del territorio (24/7)

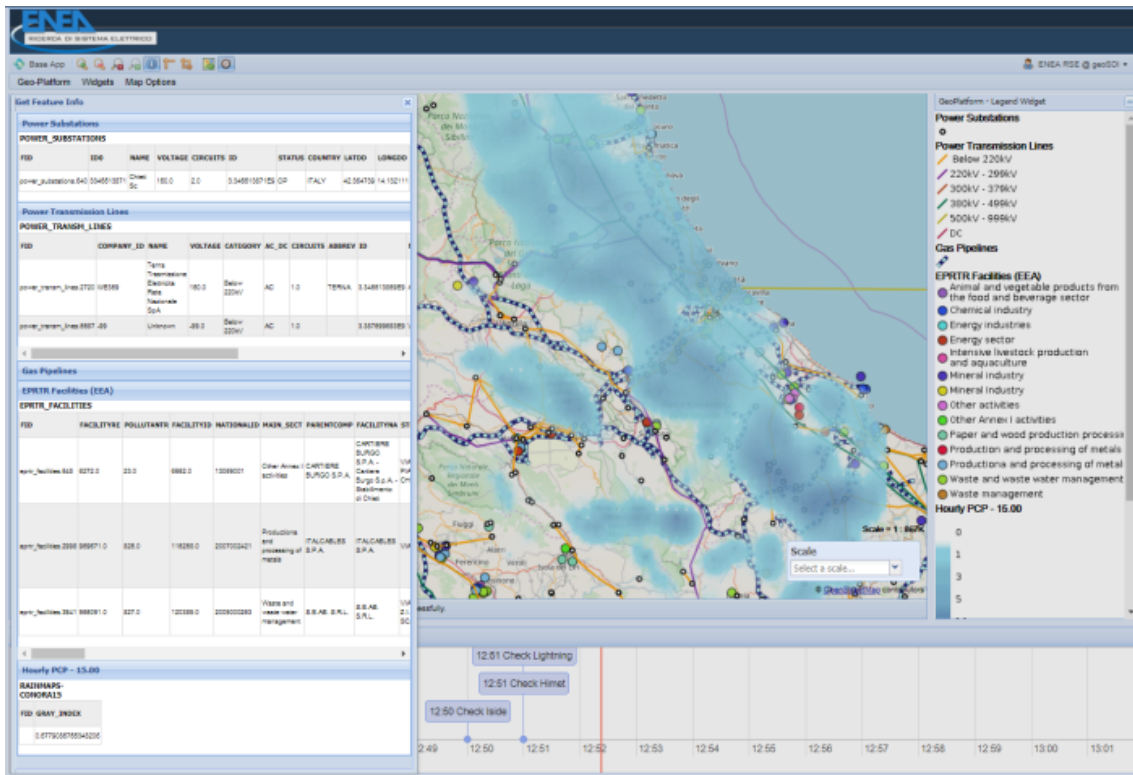


Figura 41. Visualizzazione integrata nell'interfaccia WebGIS di CIPCast dello Scenario previsionale d'impatto sulle CI di interesse in caso di evento meteo estremo

Come descritto nel Paragrafo 3.1.1 del presente Report e, più in dettaglio nel Report RdS/PAR2016/020, il modulo CIPCast-ES consente di eseguire delle simulazioni di eventi sismici (a partire da dati di input di eventi storici o definiti arbitrariamente dall'utente) e di produrre degli scenari di danno atteso per gli elementi delle CI di interesse. Tenendo in tutto ciò, l'interfaccia WebGIS (Figura 42) offre una serie di strumenti di dialogo (i cosiddetti "Widget") integrati nel layout per l'inserimento dei parametri di input ed il lancio dei processi (e.g., simulazioni di eventi sismici): questi ultimi vengono eseguiti lato server ed i loro risultati vengono automaticamente caricati/aggiornati nella TOC e visualizzati nel Map Viewer (Figura 44 e Figura 45).

In questo caso, l'applicazione WebGIS opera come interfaccia geografica del simulatore CIPCast-ES per:

- la visualizzazione geografica (Figura 42);
- l'inserimento dei parametri di input e la definizione dell'approccio simulativo (Figura 43);
- l'esecuzione della simulazione di un terremoto e la visualizzazione dello scenario di danno sui componenti della rete di distribuzione elettrica e su quelli della rete idrica (adduzione e distribuzione); consultazione interattiva dei risultati (Figura 44).
- l'esecuzione della simulazione di un terremoto e la visualizzazione dello scenario di danneggiamento atteso sull'edificato (Figura 45) e delle conseguenze sulla popolazione;

Pertanto, oltre all'accesso alle mappe tematiche e ai dati geospaziali di base, l'applicazione WebGIS consente l'esecuzione di simulazioni, la fruizione dei risultati delle elaborazioni effettuate e la consultazione degli scenari di rischio per le infrastrutture di interesse.

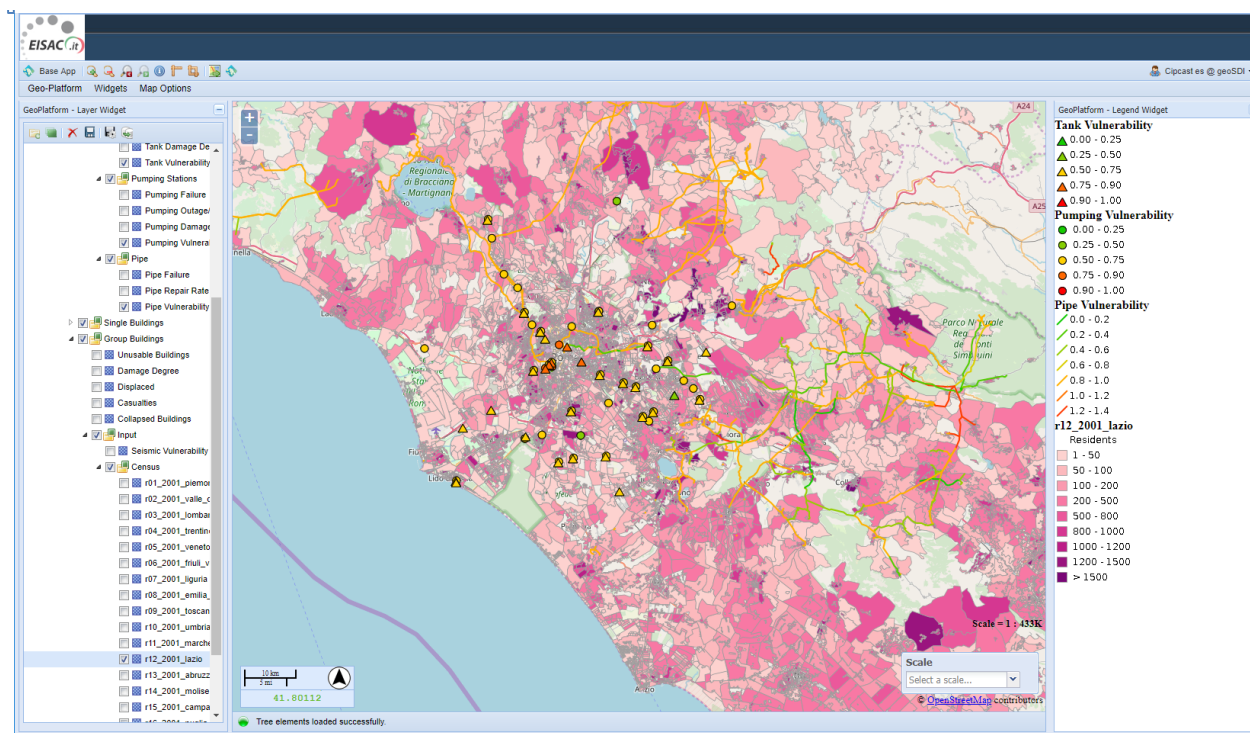


Figura 42. Interfaccia WebGIS dell'applicazione di simulazione sismica CIPCast-ES (Earthquake Simulator)

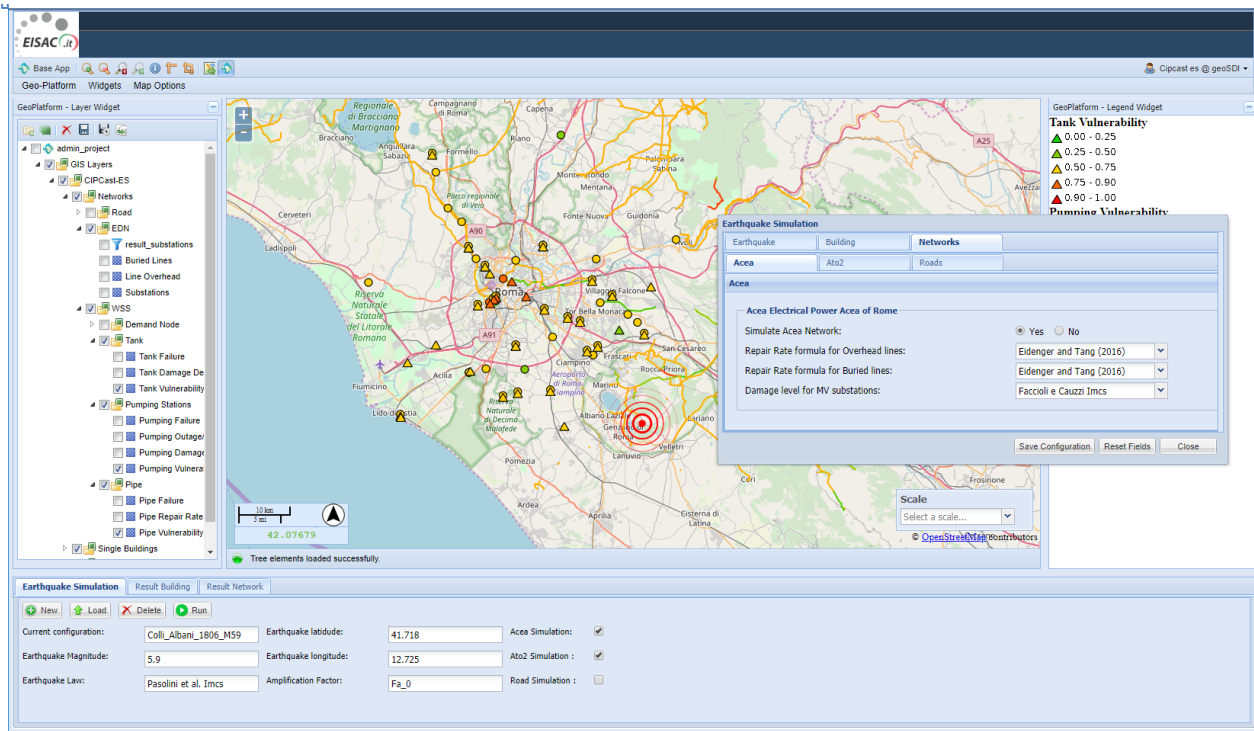


Figura 43. CIPCast-ES: Finestre di dialogo per l’inserimento dei parametri di input e la definizione dell’approccio simulativo

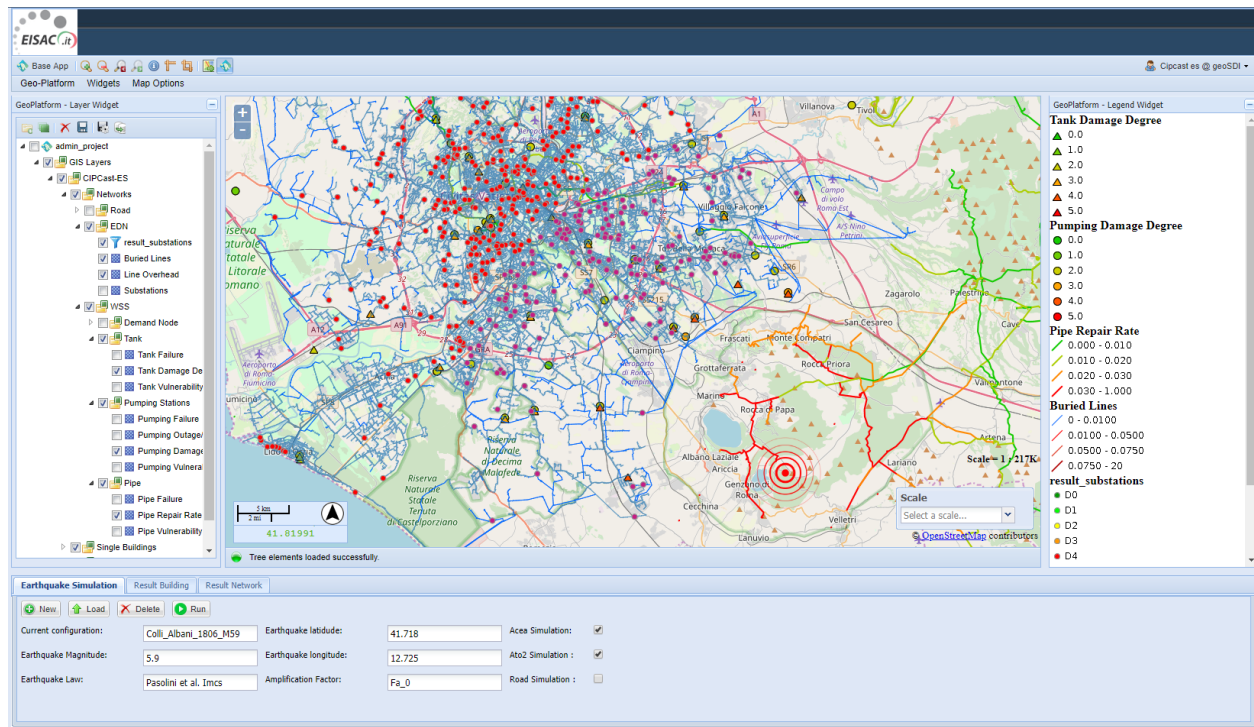


Figura 44. CIPCast-ES: visualizzazione dei risultati della simulazione (Terremoto dei Colli Albani, Roma, M=5,9) e consultazione interattiva dei risultati dello scenario di danno sui componenti della rete elettrica e della rete idrica

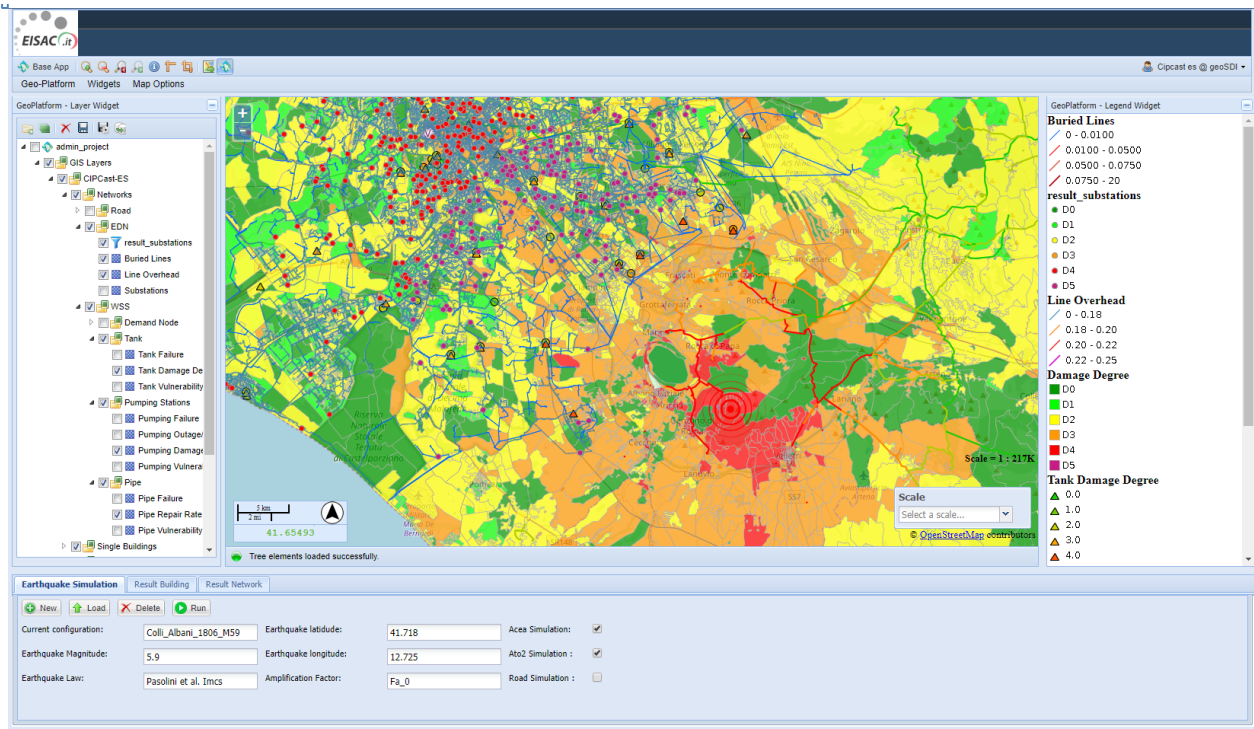


Figura 45. CIPCast-ES: visualizzazione degli scenari di danno per la rete elettrica ed idrica, integrati con lo scenario di danno per l'edificato (simulazione Terremoto dei Colli Albani, Roma, M=6,5)

8 Conclusioni e sviluppi futuri

Le attività descritte nel presente Report hanno riguardato l'implementazione e lo sviluppo del Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS), denominato CIPCast, specificatamente concepito come piattaforma per la sicurezza delle Infrastrutture Critiche (CI) di un'area metropolitana complessa.

Nel complesso, grazie alle funzionalità implementate nella Piattaforma DSS di CIPCast, 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 (il DSS contiene un avanzato modello, CIPCast-ES per la simulazione dei terremoti per il calcolo del danneggiamento dell'edificato e delle CI).

Per raggiungere tali obiettivi, nel corso della presente annualità, CIPCast è stato arricchito con ulteriori 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.

E', altresì, da evidenziare come la previsione e la valutazione del danno fisico atteso a seguito di un fenomeno naturale sia un passo assolutamente necessario, anche se non sufficiente, al fine della valutazione dello status quo della resilienza del sistema elettrico, nonché per la pianificazione di strategie migliorative, come previsto dall'ARERA in Italia e da altri enti a livello internazionale.

È opportuno sottolineare, a questo punto, come il miglioramento della resilienza di un sistema urbano passi necessariamente per la condivisione dei dati all'interno di un sistema molto frammentato e caratterizzato da operatori pubblici e privati. La totale inter-dipendenza di tutti i settori - energia, acqua e gas, trasporti, telecomunicazione - rende inevitabile un'analisi e un controllo globali: è evidente come un sistema di protezione "a singola infrastruttura" non abbia alcuna possibilità di successo in quanto i servizi di ciascuna CI sono legati all'erogazione del servizio delle altre. È dunque necessario sostenere, nell'ottica di città resilienti e distretti urbani *smart*, l'apertura a operazioni di *governance* complessiva del sistema delle CI, che passi attraverso un intervento pubblico, in grado di garantire la necessaria terzietà in un sistema caratterizzato dalla presenza di molti operatori industriali, spesso in concorrenza sullo stesso mercato. La caratteristica di dipendenza locale tra le CI si unisce, inoltre, alla dipendenza non-locale tra di queste: un guasto su una linea di alta tensione in una certa area del Paese, ad esempio, può avere forti ripercussioni in altre aree del Paese anche molto distanti da quella perturbata. In questo senso, vi sarà la necessità di legare gradualmente tutti i vari territori del paese, a partire dalle città, in un sistema di analisi e di controllo in grado di abbracciare tutto il territorio nazionale. Pertanto, il DSS CIPCast, in tale prospettiva, potrà dare una risposta al suddetto problema della gestione di CI governate da operatori diversi attraverso lo sviluppo di una piattaforma che consentirà di avere a disposizione una "Cabina di Regia" in grado di fornire informazioni trans-infrastruttura e un utile supporto agli operatori per la prevenzione e il management delle crisi.

Per quanto riguarda, infine, i possibili **sviluppi futuri**, in una prospettiva a breve termine sono vari i fronti su cui andranno orientate le attività. Innanzitutto, è auspicabile una ulteriore fase dedicata alla validazione dei risultati ottenuti mediante il sistema per la geolocalizzazione di modelli semantici di rischio, descritto nel Paragrafo 3.2. Inoltre, le attività potranno essere indirizzate verso la verifica dell'affidabilità degli approcci e dei modelli proposti per la valutazione del rischio indotto da eventi sismici e da ondate di calore al sistema di distribuzione elettrico (proseguendo quanto descritto nel Paragrafo 4.2). A tal fine, potrà essere utile organizzare interviste strutturate con il personale di e-distribuzione SpA e di Areti SpA, per discutere le osservazioni di danni a cavi e giunti interrati a seguito delle ondate di calore negli anni recenti. Quindi, sempre considerando i rischi indotti da fenomeni di tipo meteo-climatico, sarà opportuno ampliare in modo congruo i casi di studio e le simulazioni descritte al Paragrafo 4.1, in maniera da ottenere un significativo numero di test su cui valutare l'utilità dell'approccio implementato e suggerire ulteriori studi e raffinamenti del sistema proposto (ad esempio, ai responsabili e tecnici di Areti SpA).

Tutti i summenzionati sviluppi consentiranno di ampliare la disponibilità di algoritmi all'interno di CIPCast per analizzare e stimare la vulnerabilità ed il rischio delle CI, di loro elementi specifici e valutare le interdipendenze tra sistemi (proseguendo in primo luogo il lavoro relativo alle connessioni tra il sistema idrico e quello elettrico, descritto nel Paragrafo 4.3).

In una prospettiva a medio-lungo termine, infine, la Piattaforma CIPCast potrà essere arricchita con ulteriori funzionalità: in primo luogo, l'integrazione di informazioni aggiuntive per il monitoraggio ambientale e l'utilizzo di dati di *remote sensing* per migliorare la valutazione delle caratteristiche del territorio (in particolare, per tenere conto del rischio di frane, della subsidenza, etc.). Il DSS potrà anche fare da collettore di dati di *crowdsourcing* (ad esempio per il monitoraggio del traffico sulle strade), consentendo di offrire la possibilità ai cittadini di migliorare la *situational awareness* sulle aree metropolitane da parte della Autorità Pubblica. Di converso, la disponibilità di un'imponente mole di dati del sistema CIPCast, potrà consentire a fruitori come la Pubblica Amministrazione di fornire ai cittadini una gran quantità di dati in tempo reale, allo scopo di migliorare anche le scelte e le decisioni dei cittadini nella gestione delle proprie attività.

9 Riferimenti

Bibliografia

- Di Pietro, A., Lavallo, 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, Lavallo 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., Burticá 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 uropéen 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., Alessandrini, 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

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

10 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