RdS
RICERCA DI SISTEMA

ENEA
AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Ricerca di Sistema elettrico

CI-RES: Realizzazione della Piattaforma di servizi e miglioramento della fruibilità della piattaforma ed apertura ad utenti esterni istituzionali e operatori (LA2.15)

A. Tofani, M. Pollino, A. Di Pietro, G. D'Agostino

RdS_PTR 22-24_PR1.7_LA2.15_367

CI-RES: Realizzazione della Piattaforma di servizi e miglioramento della fruibilità della piattaforma ed apertura ad utenti esterni istituzionali e operatori

CI-RES: Realizzazione della Piattaforma di servizi e miglioramento della fruibilità della piattaforma ed apertura ad utenti esterni istituzionali e operatori (LA2.15)

A. Tofani, M. Pollino, A. Di Pietro, G. D'Agostino (ENEA)

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Tema di ricerca 1.7 – Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Linea di attività: 2.15

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work Package: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Gregorio D'Agostino, ENEA

Mese inizio previsto: 19

Mese inizio effettivo: 19

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Indice

1 Risultati attesi 4
2 Risultati ottenuti 5
2.1 Gestione dati 7
2.2 Gestione codici 8
2.3 Stima della resilienza 8
3 Prodotti attesi 11
4 Prodotti sviluppati 12
4.1 Sviluppi del codice RecSim 14
4.2 La meta-simulazione 14
5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati 16
6 Sintesi delle attività svolte 17
7 Dettaglio delle attività svolte 18
7.1 Gestione dati 18
7.1.1 Verifica del funzionamento della Piattaforma 18
7.1.2 Migrazione dei dati pre-esistenti. 18
7.1.3 Ridefinizione delle procedure automatiche di acquisizione 18
7.1.4 Definizione delle procedure per l'acquisizione dati automatica da reti di sensore 18
7.2 Analisi di tipo multi-hazard e integrazione dei dati nella piattaforma CI-RES 18
7.2.1 Porting algoritmi e realizzazione delle pipe di sviluppo 19
7.2.2 Stima del Rischio dinamico 19
7.3 Stima di alcuni parametri della resilienza del servizio di distribuzione elettrica 20
7.4 Attività con i droni per le isole di calore 21
8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte 23
9 Pubblicazioni scientifiche 24
10 Eventi di disseminazione 25

Indice delle figure

Figura 1: Costituenti fisici della piattaforma CI-RES. I due blocchi rappresentano locali fisicamente distinti ed autonomi in termini di alimentazione elettrica e connessione di rete informatica. 6

Figura 2: architettura CI-RES del dicembre 2024. Frontend in verde, Core in rosso e Backend in viola 7

Figura 3. Schema generico della evoluzione temporale di perdita della qualità del servizio durante una contingenza. Tutti i parametri della curva: tempo di recupero, livello di servizio minimale mQoS, livello di servizio post recupero rQoS, tempo di ripristino e livello di servizio post ripristino rappresentano dei validi indicatori quantitativi di resilienza. 9

Figura 4. Piattaforma CI-RES: visualizzazione della home page 12

Figura 5. Piattaforma CI-RES: esempio di visualizzazione di uno strato informativo (layer) e dei relativi metadati 13

Figura 6. Piattaforma CI-RES: esempio di visualizzazione di uno strato informativo (layer) e dei relativi attributi descrittivi 13

Figura 7. Piattaforma CI-RES: esempio di visualizzazione di più strati informativi in un'unica mappa (valutazione della multi-pericolosità per frane, alluvioni e terremoto) 14

Figura 8. Piattaforma CI-RES: visualizzazione di uno strato informativo prodotto a valle dell'analisi di tipo multi-hazard sulle sottostazioni della rete di trasmissione elettrica ai fini della valutazione della pericolosità 20

Figura 9: esempio di output del codice RecSim in cui si comparano le prestazioni della fase di recupero del servizio, prestazione ottimale (best case in cui il problema è localizzato immediatamente) e ordinaria (worst case). Il numero di utenze che ricevono regolarmente il servizio è presentato in funzione del tempo trascorso dall'evento (misurato in secondi). 21

Figura 10. Mappatura della temperatura superficiale ottenuta tramite acquisizione con camera termica montata su drone 22

1 Risultati attesi

Il principale risultato atteso è costituito dal rilascio di una piattaforma CI-RES funzionante e fruibile dagli sviluppatori e da un pubblico non esperto in maniera semplice ed in modalità remota.
Saranno aggiornati e resi disponibili gli indicatori di qualità di servizio e di resilienza delle infrastrutture di riferimento e del sistema di sistema, l'insieme agli indicatori di rischio dinamico delle singole infrastrutture e dei servizi nel loro complesso.
Utilizzando gli strumenti a disposizione si perverrà ad una prima analisi quantitativa della resilienza delle infrastrutture e del "sistema di sistemi". Inoltre, verranno resi disponibili i rilievi tramite drone dell'edificio di interesse e acquisite le immagini termografiche utili alla successiva fase di analisi.

2 Risultati ottenuti

I risultati sono stati conseguiti regolarmente. Qui di seguito vengono discussi singolarmente.

La piattaforma CI-RES è stata realizzata regolarmente secondo le previsioni. In particolare, l'architettura si compone di due piattaforme: una di sviluppo denominata "Kanesh" ed una di produzione denominata "Eridu".

Le due piattaforme sono collocate fisicamente in locali distinti e separati spazialmente per massimizzare la resilienza rispetto ad incendi, allagamenti o compromissioni di altro genere. I due locali corrispondono rispettivamente al CED (Centro Elaborazioni dati) del laboratorio "Analisi e Modelli per le Infrastrutture Critiche ed i Servizi Essenziali" (TERIN-ICER-ICS) e la sala "Obserbot" sempre gestita dallo stesso laboratorio. Entrambe le sale si trovano nell'edificio C59 del centro Casaccia, ma sono collocate in piani differenti e dotate di alimentazione e connessione internet distinte.

La piattaforma in produzione Eridu, collocata nella sala Obserbot, è realizzata su un server Dell Rack 650 dotato di due processori Intel Xeon silver, un disco a stato solido (SSD) da 960 GB, due dischi da 1TB in modalità raid 1 (per garantire la tolleranza rispetto alla perdita di uno dei due) e il processore di controllo IDRAC (Integrated Dell Remote Access Controller) che consente la gestione remota del sistema anche in caso di recupero post disastro (*disaster recovery*).

La piattaforma Kanesh, collocata nel CED, è realizzata su un server Dell Rack 650 dotato di un processore Intel Xeon silver un disco a stato solido (SSD) da 960 GB, due dischi da 1TB in modalità raid 1 (per garantire la tolleranza rispetto alla perdita di uno dei due) e il processore di controllo IDRAC (Integrated Dell Remote Access Controller) che consente la gestione remota del sistema anche in caso di recupero post disastro (*disaster recovery*).

Per entrambe le piattaforme è previsto un meccanismo di backup su dischi esterni rimovibili (in configurazione raid 1 o 4) che vengono collocati in luogo sicuro (cassaforte) e distante. Allo stadio attuale, la cautela ed il dimensionamento dell'infrastruttura possono apparire sovradimensionate, ma in prospettiva la piattaforma garantisce standard di disponibilità, integrità e confidenzialità dati elevatissimi. Tale dimensionamento è giustificato dalla "transizione digitale in atto" che sta producendo e produrrà un intenso proliferare di dati (big data in gergo), sia da sensori che sorgenti esterne (dati antropici).

Entrambe le piattaforme sono replicate sulla piattaforma condivisa del Laboratorio ICS (un cluster Proxmox che gestisce Kubernetes), che gestisce un **backup** incrementale continuo.

Per consentire l'evoluzione dell'architettura CI-RES consentendo l'integrazione futura di dati ed algoritmi, è stata realizzata una catena di verifica software (tecnicamente una "pipe") che preserva le diverse versioni del software (*versioning*) e le diversificazioni (*branching*) utilizzando il **GIT-LAB** del Laboratorio ICS. Tale piattaforma esegue intrinsecamente il backup incrementale su un server dedicato assicurando la sicurezza di dati ed algoritmi di analisi.

Anche la piattaforma Proxmox di ICS si trova nel CED del laboratorio. I rack che ospitano i server dedicati a CI-RES sono dotati di gruppi di continuità UPS che consentono di gestire eventuali perdite temporanee di alimentazione.

In sintesi, lo schema delle macchine fisiche allocate alla piattaforma CI-RES è riportato nella seguente Figura 1.

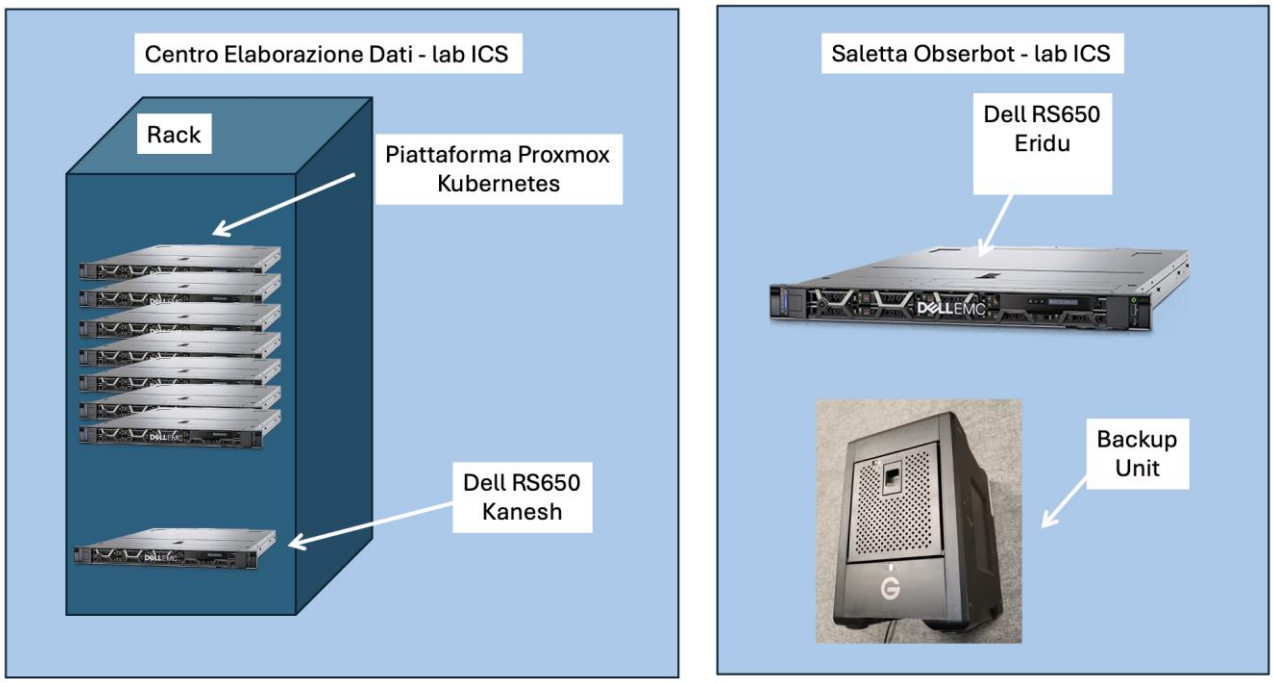

Figura 1: Costituenti fisici della piattaforma CI-RES. I due blocchi rappresentano locali fisicamente distinti ed autonomi in termini di alimentazione elettrica e connessione di rete informatica.

L'architettura **CI-RES** è composta da tre parti fondamentali denominate: front-end, back-end e "core".

- Il **front-end** è costituito da una interfaccia utente remoto basata su **DJAM**: (DJANGO Access Management system). DJANGO è la principale libreria di software aperto basato sul linguaggio Python. DJAM gestisce **utenti esperti**, che hanno accesso a un insieme più ampio di servizi e **utenti generici** i cui servizi sono limitati.
- Il **core** contiene le principali applicazioni per la gestione dei dati georeferenziati: una suite **GeoNode**, un **GeoServer** ed un **PostGIS** (ovvero un Data Base Management System).
- Il **back end** raccoglie le applicazioni per la simulazione di eventi (allo stato attuale tipicamente terremoti), il loro impatto di primo livello e le interfaccia per l'arricchimento costante delle Banche dati.

La Figura 2 mostra lo schema dell'architettura di **CI-RES**.

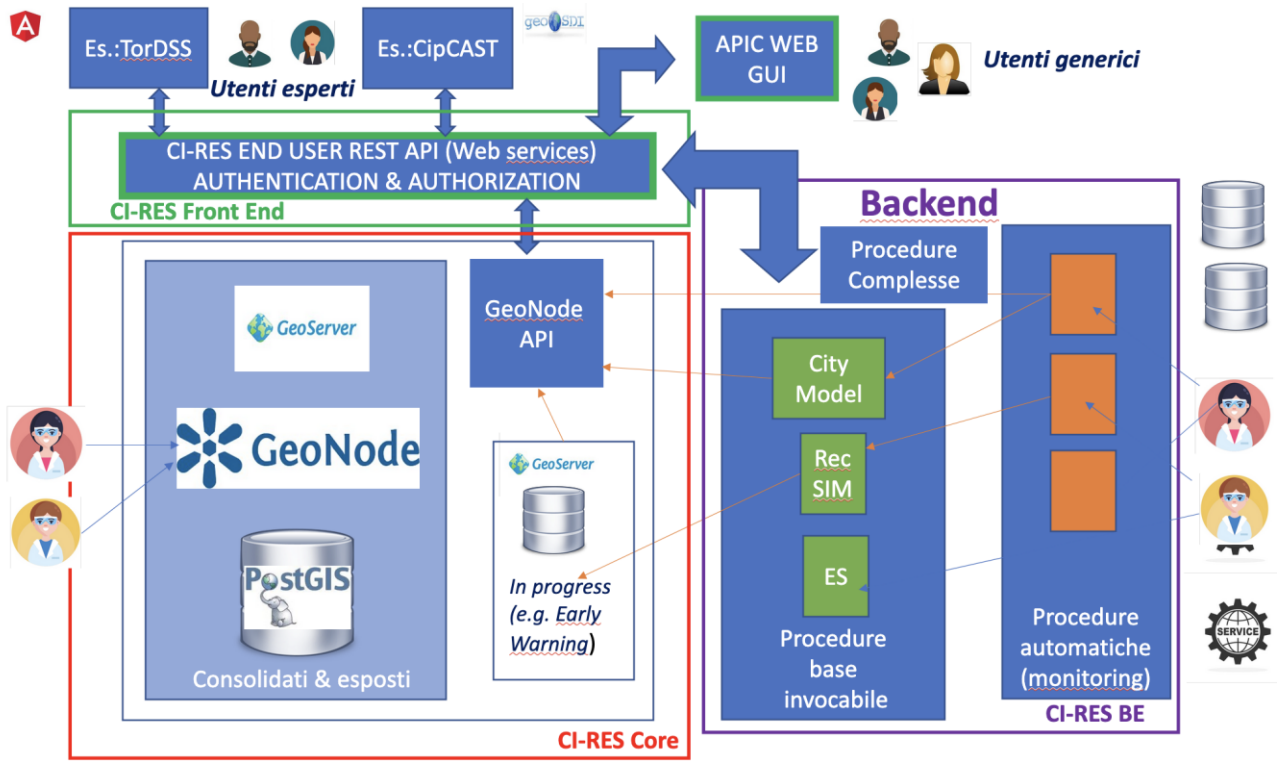

Figura 2: architettura CI-RES del dicembre 2024. Frontend in verde, Core in rosso e Backend in viola

Si sottolinea che, per quanto la piattaforma sia attualmente in produzione, il suo sviluppo è un processo continuo e pertanto i dati, i moduli ed i codici disponibili sono in continua evoluzione incrementale. Allo stesso modo le interfacce che ne garantiscono l'interoperabilità con le altre piattaforme della ricerca sistema elettrico (in particolare la Smart City Platform) e di ENEA in generale, sono in evoluzione; ciò è dovuto anche alle modifiche della LAN (Local Aerea Network) Casaccia che sta aumentando gli standard di sicurezza secondo strategie e protocolli di "segmentazione" e "segregazione" di parti della rete.

Per quanto riguarda l'attività con i droni: è scelto l'asilo nido Maramao a Roma, quale edificio di interesse e su questo è stato eseguito il previsto rilievo termografico.

2.1 Gestione dati

La piattaforma CI-RES è stata popolata con i dati a disposizione sulla precedente piattaforma (già utilizzata nel triennio precedente). Tali dati sono accessibili tramite i database PostGIS (https://postgis.net/, open source, estensione spaziale per il database PostgreSQL) e sulla piattaforma open source GeoNode (https://geonode.org/). Tutti i dati sono condivisibili mediante il *middleware* open source GeoServer (https://GeoServer.org/) e per suo tramite utilizzabili sulle piattaforme esterne con cui esso è collegato. Tra tali dati è opportuno annoverare i dati strutturali statici relativi alle infrastrutture critiche del sistema elettrico, la rete stradale, gli edifici, i dati relativi alla pericolosità per frane e alluvioni, alla pericolosità sismica, etc. L'acquisizione periodica dei dati dinamici meteorologici è stata replicata (portata) sulla nuova piattaforma. Tali attività costituisco una parte significativa della componente della piattaforma denominata "core".

2.2 Gestione codici

Analogamente ai dati, anche i codici relativi alle simulazioni ed analisi sono stati portati sulla nuova piattaforma. In particolare, la capacità di simulare gli eventi sismici e le conseguenti mappe di scuotimento già utilizzata nelle piattaforme precedenti è attualmente disponibile su CI-RES. Per la stessa finalità è stato anche installato il codice OpenQuake (https://www.globalquakemodel.org/product/openquake-engine) dotato di una sua pipeline per gestirne le versioni e di conseguenza i miglioramenti anche sviluppati in altri progetti a cui partecipa il laboratorio ICS.

Anche il codice **RecSim** che consente di valutare la resilienza del sistema elettrico rispetto alla perdita di sottostazioni, stimando i tempi e le strategie di recupero post evento, è stato dotato di una pipeline per il suo successivo sviluppo e gestione delle versioni e ramificazioni. Anche in questo caso, gli sviluppi ottenuti in cooperazione con il Dipartimento DIAG dell'Università Sapienza sono resi disponibili sulla piattaforma CI-RES.

L'uso combinato dei dati relativi al rischio frane, alle vulnerabilità sismiche ai dati dell'edificato e i dati meteorologici, coniugato con la geolocalizzazione dell'infrastrutture critiche, consentono la stima del **rischio dinamico** dell'infrastrutture e dell'erogazione dei servizi essenziali da esse forniti.

2.3 Stima della resilienza

Il Decreto Legislativo 4 settembre 2024 n. 134[1] recepisce la Direttiva (EU) 2022/2557 sulla resilienza delle Entità Critiche[2]. In tale normativa si chiarifica la definizione di Resilienza come *"la capacità di un soggetto critico di prevenire, attenuare, assorbire un incidente, di proteggersi da esso, di risposta, di resistenza, di adattamento e di ripristino delle proprie capacità operative (invero la formulazione linguistica si direbbe suscettibile di qualche approfondimento, per espressioni quali: "rispondervi", "adattarvisi", ecc.)"*.

In generale, valutare ogni aspetto della definizione è un compito improbo e spesso gli operatori si limitano ad aspetti qualitativi o ad elencare le risorse allocate per il conseguimento della resilienza. Al livello di ricerca si è cercato di fornire indicatori quantitativi per la misura della resilienza.

Per quanto riguarda la valutazione quantitativa della resilienza, è innanzi tutto opportuno precisare che gli indici di resilienza sono molteplici e che la conoscenza parziale delle infrastrutture e dei dati funzionali relativi ai servizi da esse erogati non consento di stimare efficacemente tutti gli indici. In generale, nemmeno gli stessi Operatori che hanno accesso a tutti i dati sono in grado di stimare olisticamente (ovvero senza trascurare alcun elemento) tutti i rischi e valutare le capacità di recupero dei sistemi.

Per chiarire la complessità del fenomeno si riporta di seguito (Figura 3) una curva tipica della perdita di servizio durante una contingenza.

[1] https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2024/09/23/24G00150/SG
[2] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32022L2557

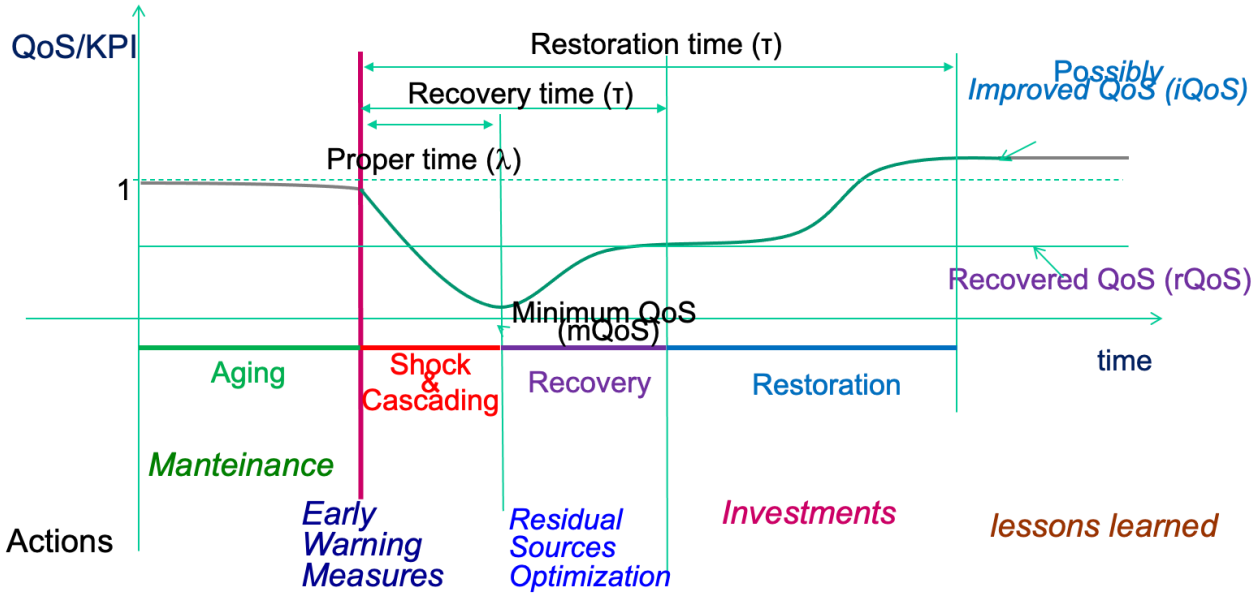

Figura 3. Schema generico della evoluzione temporale di perdita della qualità del servizio durante una contingenza. Tutti i parametri della curva: tempo di recupero, livello di servizio minimale mQoS, livello di servizio post recupero rQoS, tempo di ripristino e livello di servizio post ripristino rappresentano dei validi indicatori quantitativi di resilienza.

Tutte le caratteristiche della curva di fornitura del servizio (Figura 3) possono essere utilizzate quali indicatori quantitativi della resilienza del sistema rispetto alla contingenza. A titolo di esempio, la qualità di servizio in ordinata può essere il rapporto tra la domanda di potenza degli utenti e la potenza erogata con un profilo d'onda e stabilità conformi ai contratti di gestione. Questo numero QoS è ovviamente compreso tra 0 (nessuna potenza utilizzabile) e 1 (domanda pienamente sodisfatta). La contingenza in esame potrebbe essere la perdita di una sottostazione a seguito di un allagamento di una sottostazione lungo una linea di una rete di distribuzione.

Le diverse strategie di recupero post evento dipendono dai piani e protocolli di contingenza, dalla presenza del telecontrollo nelle sottostazioni e dalla capacità tecniche e disponibilità delle squadre di intervento. Inoltre, i protocolli e le strategie di rispristino possono influire notevolmente sul profilo della curva di fornitura di servizio e sulla perdita totale durante l'evento LoS (total Loss of Service).

Il codice **RecSim** (sviluppato dal laboratorio ICS prevalentemente da A. Tofani) consente di comparare le diverse strategie per il recupero del servizio e consente, quindi, di valutare molti parametri: il tempo di recupero, la perdita massima e totale di servizio.

Il codice RecSim è stato sviluppato in stretto contatto con Areti S.p.A. (principale DSO - Distribution System Operator - nell'area romana) e recepisce i criteri generali delle strategie di intervento utilizzati da tale società senza disvelare le reali azioni al livello operativo. Sempre allo scopo preservare la confidenzialità e riservatezza del dato il codice RecSim è stato utilizzato su una rete sintetica (ovvero non esistente) che tuttavia riproduce gli elementi fondamentali di una rete di distribuzione di una grande città come Roma.

Per quanto riguarda i risultati, la piattaforma è in grado di conseguirli e questo è stato dimostrato su dati sintetici. Risultati realistici richiedono la conoscenza dei dati funzionali delle infrastrutture che sono oggetto di confidenzialità da parte degli Operatori. Il laboratorio

TERIN.ICER-ICS di ENEA coopera su progetti specifici con alcuni Operatori come Areti ed ATO 2 del gruppo ACEA, ma i dati utilizzati sono oggetto di accordi di riservatezza.

3 Prodotti attesi

Il principale prodotto atteso è la prima versione della piattaforma CI-RES e la presente relazione tecnica.

Per quanto riguarda la piattaforma CI-RES, di seguito sono riportati alcuni esempi di visualizzazione dell'interfaccia realizzata in ambiente GeoNode.

4 Prodotti sviluppati

Il principale prodotto è la piattaforma CI-RES nelle sue molteplici sfaccettature.

Tra gli strumenti di cui si è arricchito il backend della piattaforma CI-RES è importante citare i seguenti:

- RecSim (Recovery Simulator). In grado di simulare le fasi di recupero dopo un malfunzionamento della rete di distribuzione.
- Il tool OpenQuake dotato di una completa pipeline per sviluppo e versioning. Inoltre, tale strumento è dotato di una interfaccia grafica autonoma. OpenQuake è in grado di simulare gli eventi sismici e le loro conseguenze su edifici ed infrastrutture.
- Il simulatore WNTR (Water Network Tool for Resilience) che simula le reti di distribuzione dell'acqua e le loro reazioni agli eventi sismici.

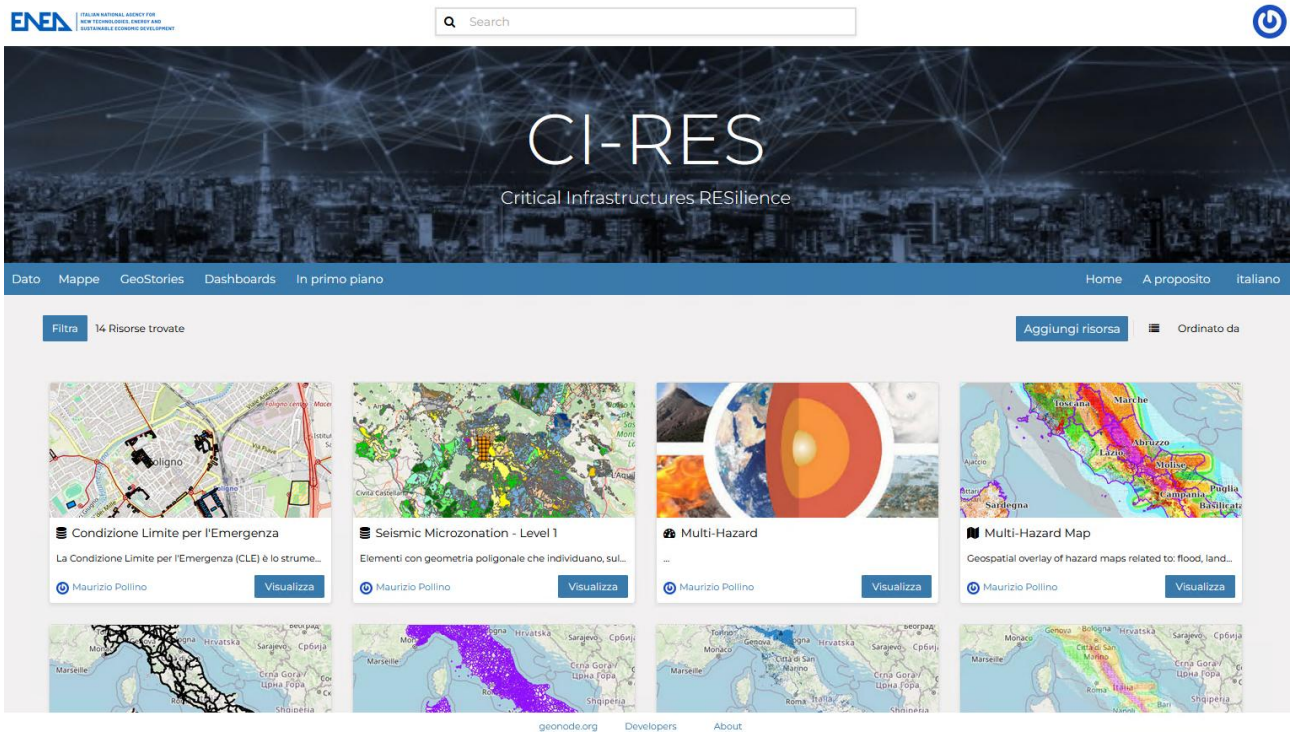

Figura 4. Piattaforma CI-RES: visualizzazione della home page

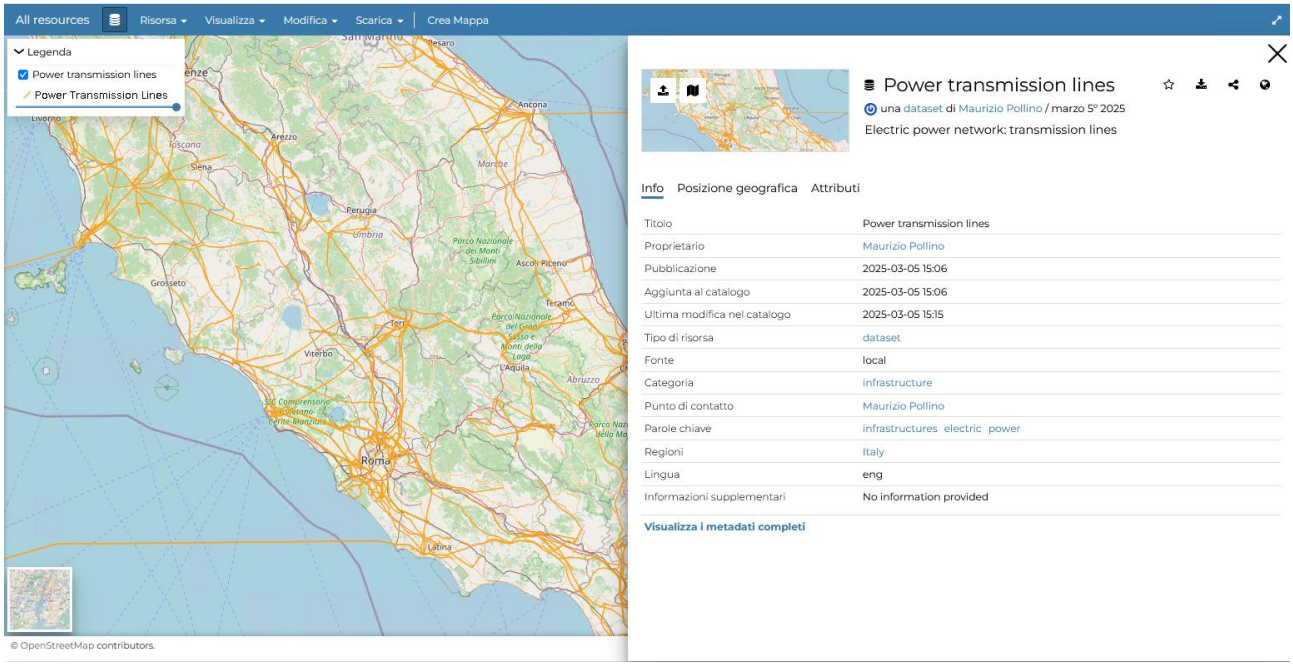

Figura 5. Piattaforma CI-RES: esempio di visualizzazione di uno strato informativo (layer) e dei relativi metadati

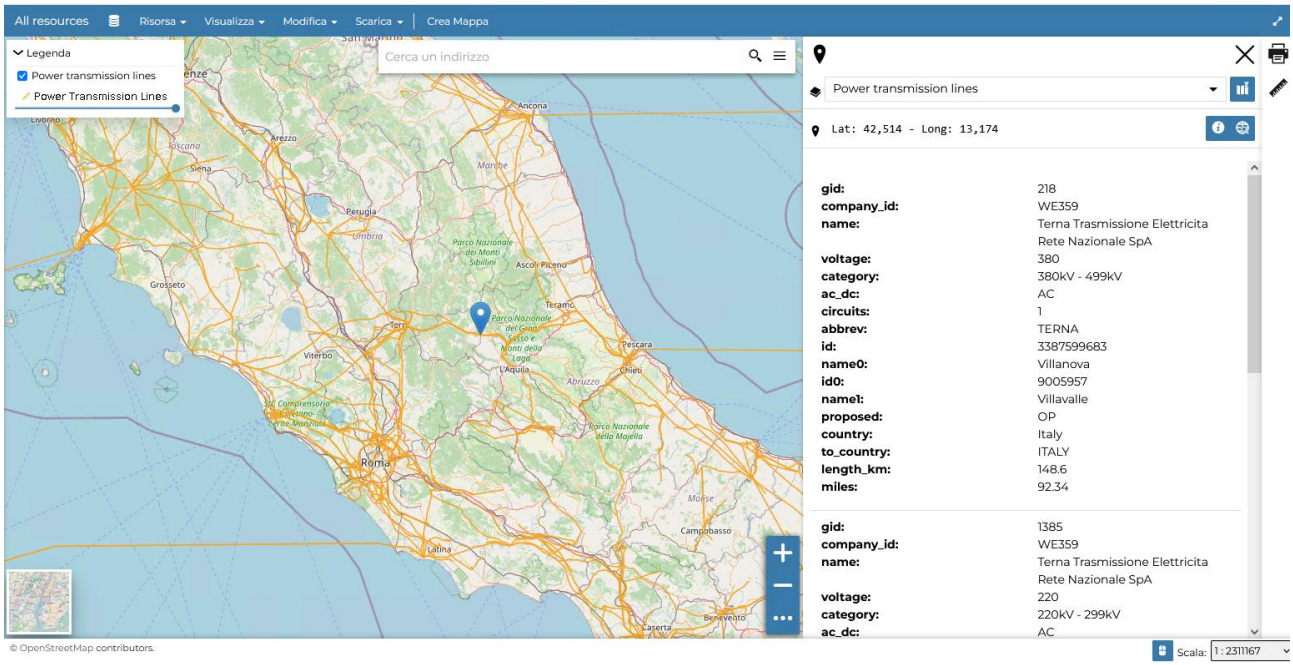

Figura 6. Piattaforma CI-RES: esempio di visualizzazione di uno strato informativo (layer) e dei relativi attributi descrittivi

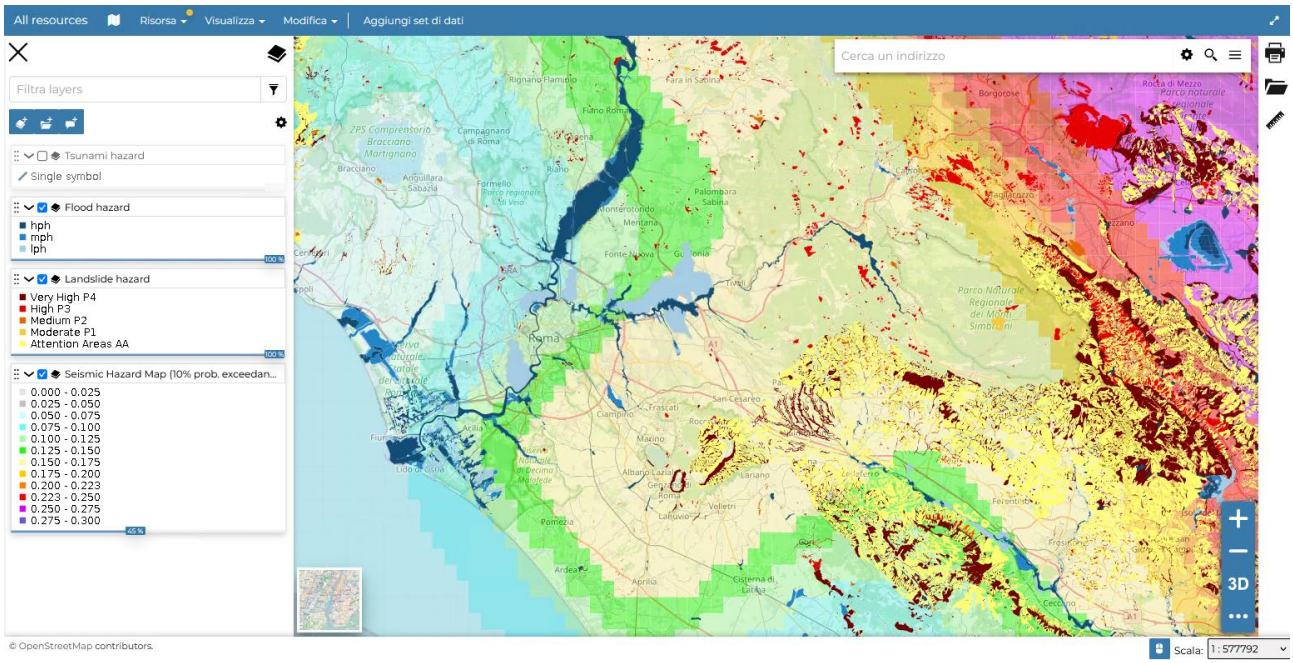

Figura 7. Piattaforma CI-RES: esempio di visualizzazione di più strati informativi in un'unica mappa (valutazione della multi-pericolosità per frane, alluvioni e terremoto)

4.1 Sviluppi del codice RecSim

Il codice RecSim è stato migliorato per consentire di gestire modelli di rete a un maggiore livello di dettaglio. In particolare, gli elementi base per la modellizzazione della rete di distribuzione del nuovo modello sono le "sbarre collettrici" (comunemente chiamate *bus). La nuova topologia descrive dettagliatamente anche le connessioni dei diversi bus tramite i diversi tipi di switch.* Questi avanzamenti consentono di simulare in maniera più realistica le operazioni di ripristino della rete e quindi l'ottimizzazione delle strategie di intervento da parte delle squadre di emergenza.

Partendo dal nuovo modello è stata reso possibile l'uso di diverse librerie per l'implementazione di algoritmi di ottimizzazione della gestione delle squadre,

Infine, il simulatore è stato arricchito di una procedura di base per la "fault location and isolation": l'individuazione e localizzazione del problema e la sua segregazione.

4.2 La meta-simulazione

Uno dei benefici fondamentali legati alla nuova piattaforma CI-RES è la possibilità (per i soli operatori esperti interni al Lab ICS di ENEA) di eseguire le "meta-simulazioni": ovvero la possibilità di creare dei flussi tra i diversi codici che possono essere eseguiti ("girare" in gergo) sulla piattaforma per conseguire macro-risultati più complessi.

Un tipico esempio è l'esecuzione in cascata del codice OpenQuake per simulare un terremoto, produrre le relative mappe di scuotimento, valutare in cascata lo scenario di danno su strutture/infrastrutture e, quindi, la viabilità residua tenendo conto delle potenziali macerie legate al crollo dell'edificato.

Questo tipo di attività è già stato svolto in passato fornendo evidenza di potenziali aree isolate nella città di Firenze[3]. Il processo di integrazione delle varie componenti è adesso semplificato.

Un'ulteriore estensione è stata realizzata stimando, ancora in cascata, i tempi di percorrenza delle squadre di intervento del DSO tenendo conto della viabilità effettiva residua. Tali stime sono date in pasto a RecSim per migliorare la stima dei tempi di recupero del sistema elettrico di distribuzione. In tal modo, si può valutare la resilienza del sistema di sistemi composto dalle strade ed il sistema elettrico.

In generale le meta-simulazioni sulla piattaforma CI-RES si prestano ad ulteriori generalizzazioni potendo includere malfunzionamenti nel sistema di acquisizione e controllo (SCADA), che a sua volta dipende dagli Internet Service Provider (ISP) e modelli di comportamento umano che possono includere la previsione delle congestioni del traffico a seguito dell'evento calamitoso o della contingenza. Tali simulazioni non sono state ancora effettuale sia per mancanza di dati realistici che per incompleta integrazione dei codici relativi sulla piattaforma. Tale integrazione è prevista nel prossimo triennio che consentirà di realizzare dei veri e propri "gemelli digitali".

[3] D'Agostino G., Di Pietro A., Giovinazzi S., La Porta L., Pollino M., Rosato V., Tofani A.: "Earthquake Simulation on Urban Areas: Improving Contingency Plans by Damage Assessment". In: Luiijf E., Žutautaitė I., Hämmerli B. (eds) Critical Information Infrastructures Security. CRITIS 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 11260. Springer, Cham, 2019

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non ci sono stati scostamenti relativamente alle attività che sono tutte regolarmente compiute.

6 Sintesi delle attività svolte

Le attività svolte sono state le seguenti:

- Gestione dati:
  - Verifica del funzionamento della Piattaforma CI-RES.
  - Migrazione dei dati pre-esistenti
  - Ridefinizione delle procedure automatiche di acquisizione
  - Definizione di procedure per l'acquisizione automatica di dati da reti di sensore
- Analisi di tipo "Multi Hazard":
  - Porting di algoritmi e realizzazione delle pipe di sviluppo
  - Stima del Rischio dinamico
- Stima di alcuni parametri della resilienza del servizio di distribuzione elettrica a seguito di contingenze, tramite tecniche di ottimizzazione.
- Realizzazione delle attività con i droni per le isole di calore.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Gestione dati

La gestione dati ha richiesto un'azione preliminare di migrazione dei dati esistenti nelle diverse banche date del laboratorio ICS, in particolare la grande mole di dati utilizzata nella piattaforma CIPCAST del triennio precedente, ma anche i dati da sensore acquisiti in altri progetti come quelli relativi al "ponte-tubo della Magliana": una infrastruttura di ACEA ATO2

7.1.1 Verifica del funzionamento della Piattaforma

Sono stati verificati i seguenti elementi:

- Le procedure di input-output, gestione dati
- La gestione degli utenti e la loro possibile creazione
- Il funzionamento dei socket ai programmi

7.1.2 Migrazione dei dati pre-esistenti.

La gestione dati ha richiesto un'azione preliminare di migrazione dei dati esistenti nelle diverse banche date del laboratorio TERIN-ICER-ICS, in particolare la grande mole di dati utilizzata nella piattaforma CIPCast (Critical Infrastructure Protection risk analysis and foreCAST) realizzata del triennio precedente.

7.1.3 Ridefinizione delle procedure automatiche di acquisizione

Molti dati richiedono un continuo aggiornamento, a tal fine sono state svolte le seguenti attività:

- Sono state replicate le procedure per l'acquisizione dei dati meteorologici
- Sono state ridefinite le procedure per l'aggiornamento dei dati relativi alle frane, alla vulnerabilità sismica, alle reti stradali ed agli edifici.

7.1.4 Definizione delle procedure per l'acquisizione dati automatica da reti di sensore

Alcuni dati provengono da altri progetti o da reti di sensori, in questi casi è stato necessario definire delle procedure di acquisizione i "tempo reale".

Un esempio sono i dati del progetto RAFAEL (System for Risk Analysis and Forecast for Critical Infrastructures in the AppenninEs dorsaL Regions) e i dati da sensori in fibra ottica acquisiti sul "ponte-canale" sito in località Magliana (Roma). Quest'ultima è una infrastruttura di ACEA ATO2 monitorata nell'ambito del progetto SCIRES "Supporting Critical Infrastructure REsilience from Space" (attività finanziata dall'ESA, European Space Agency). In questo caso l'acquisizione è totalmente automatizzata. I dati acquisiti consentono di valutare lo stato di salute dell'infrastruttura. Lo stesso paradigma può essere utilizzato nella rete elettrica di ACEA distribuzione.

In generale tutti i dati a disposizione del laboratorio ICS sono stati accentrati sulla piattaforma, per scopo di ricerca, ma l'usabilità alcuni di essi sono soggetti a restrizioni di confidenzialità.

7.2 Analisi di tipo multi-hazard e integrazione dei dati nella piattaforma CI-RES

Terremoti, frane e alluvioni sono tra i fenomeni naturali calamitosi che maggiormente interessano l'Italia e colpiscono le infrastrutture localizzate sul territorio. In questo contesto, le procedure GIS svolgono un ruolo fondamentale insieme alle tecniche di valutazione multicriteriale (MCE) al di effettuare una valutazione del rischio multiplo (*multi-hazard*) delle

infrastrutture critiche. GIS e MCE sono stati integrati per valutare e mappare i rischi multipli sull'intero territorio italiano per le principali componenti della rete elettrica.

Per la mappatura della pericolosità sono stati utilizzati:

- mappa della pericolosità sismica italiana;
- mappa della pericolosità da frana (mosaico nazionale 2020-2021 dei Piani di Assetto Idrogeologico, PAI);
- mappa della pericolosità da alluvione (mosaico nazionale 2020 degli scenari secondo il D.Lgs. 49/2010).

Per realizzare questi obiettivi è stato necessario il porting degli algoritmi definiti nel triennio precedente.

7.2.1 Porting algoritmi e realizzazione delle pipe di sviluppo

- Dockerizzazione dei codici: ovvero realizzazione di ambienti completi per lo sviluppo dei codici virtualizzati. Consente l'interoperabilità dei codici indipendentemente all'ambiente di produzione.
- Pipe di sviluppo: Pubblicazione dei codici su GIT-LAB che consente il branching ed il versioning ovvero conservare le diverse varianti dei codici sviluppate.

7.2.2 Stima del Rischio dinamico

Per quanto riguarda le infrastrutture oggetto di analisi, sono stati selezionati e acquisiti i dati relativi alla rete di trasmissione elettrica (linee, impianti e sottostazioni primarie). Tutti i sopracitati strati informativi in formato GIS sono stati strutturati ed integrati nella piattaforma CI-RES.

Dal punto di vista operativo[4], i dati di input sono stati pre-elaborati a livello nazionale: è stata effettuata l'intersezione GIS tra gli elementi infrastrutturali e le mappe di pericolosità (sismicità, frane, alluvioni). È stato attribuito un valore di pericolosità specifico (basso=1, medio=2, alto=3) a ciascun elemento dell'infrastruttura sulla base dell'esposizione alle pericolosità. Alle singole pericolosità sono stati assegnati dei pesi in base al giudizio esperto e considerando la vulnerabilità di ciascun tipo di infrastruttura. Utilizzando la metodologia WLC (*Weighted Linear Combination*), è stato assegnato un valore multi-hazard a ciascun elemento infrastrutturale. Infine, sono stati creati dei nuovi strati informativi tematici che rappresentano la valutazione del multi-hazard per ciascun elemento analizzato. I risultati sono stati integrati nella piattaforma CI-RES

Un esempio dei risultati ottenuti è mostrato nella mappa tematica riportata in Figura 8.

[4] Arduin, M., Tofani, A., D'Agostino, G., Pollino, M. (2025). Multicriteria GIS Spatial Analysis for Multi-hazard Assessment of Infrastructures in Case of Natural Events. In: Oliva, G., Panzieri, S., Hämmerli, B., Pascucci, F., Faramondi, L. (eds) Critical Information Infrastructures Security. CRITIS 2024. Lecture Notes in Computer Science, vol 15549. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84260-3_19

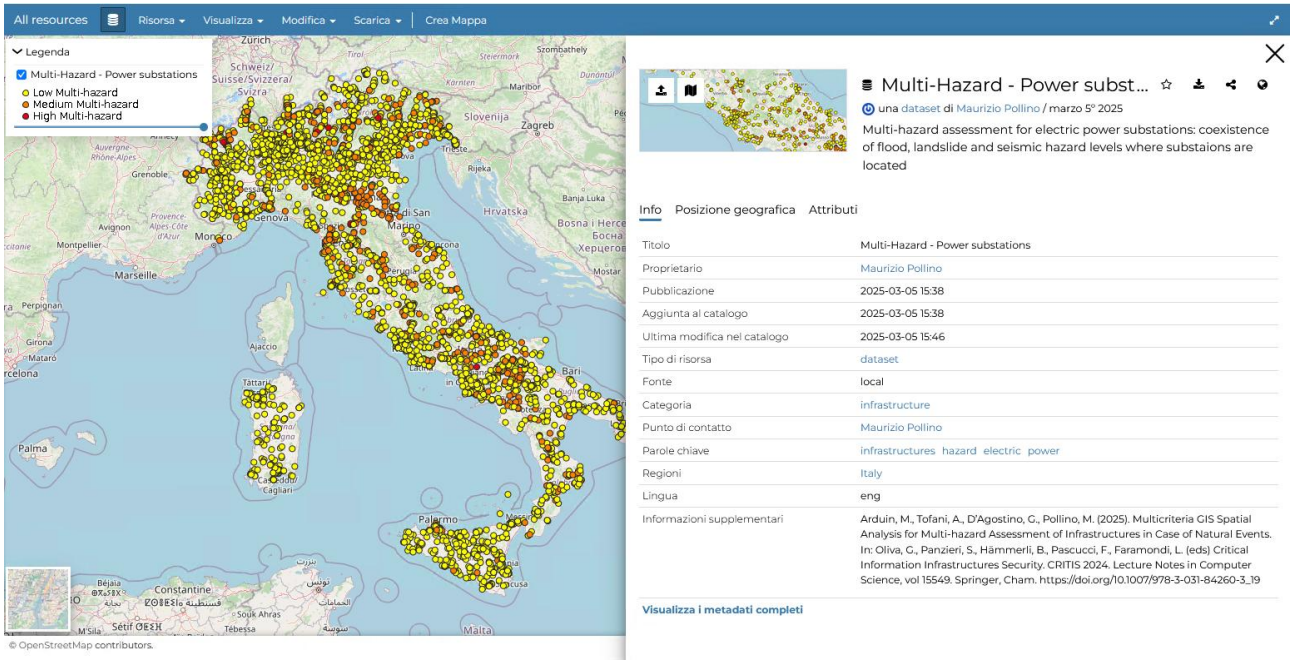

Figura 8. Piattaforma CI-RES: visualizzazione di uno strato informativo prodotto a valle dell'analisi di tipo multi-hazard sulle sottostazioni della rete di trasmissione elettrica ai fini della valutazione della pericolosità

7.3 Stima di alcuni parametri della resilienza del servizio di distribuzione elettrica

L'attività in questione rappresenta una prima applicazione del meta-computing: ovvero l'uso di codici interoperabili per realizzare algoritmi di più alto livello.

A seguito di contingenze, il sistema di distribuzione elettrico può perdere alcune componenti (una sottostazione, un trasformatore o una linea); in questi casi intervengono i diversi meccanismi di recupero (recovery) e ripristino. Tali meccanismi sono di tre tipi: meccanismi di tre tipi: automatizzati, antropici telematici e fisici. Tipicamente corrispondono ai casi in cui per mitigare la contingenza sono richiesti meccanismi a diverso grado di invasività:

- Processi di **auto-riparazione** automatizzati (**smart grid**)
- **Azioni umane gestite da remoto**, dalla unità centrale del ESM (Electric System Management), sulle unità remote tramite il sistema SCADA (Sistema di acquisizione e controllo) e quindi operabili solo sulle sottostazioni telecontrollate;
- interventi delle squadre di soccorso

L'insieme dei meccanismi di recupero e ripristino disponibili conferisce la **resilienza** al sistema elettrici di distribuzione (DSO).

REC-SIM è il progetto di lunga durata che affranta queste problematiche ed è stato portato anche sulla piattaforma CI-RES.

REC-SIM calcola la perdita di servizio dovuta alle contingenze anche in presenza delle azioni di mitigazione descritte in precedenza ed in base ai protocolli di gestione delle stesse. La stima corretta richiede il calcolo dei tempi di percorrenza per le squadre e quindi la conoscenza delle reti stradali e dei tempi medi di percorrenza, i tempi di intervento, il numero di squadre, le disponibilità delle stazioni suppletive, etc. Tutti gli elementi elencati concorrono a definire la perdita di servizio **LoS** (Loss of Service).

RecSim non si limita alla valutazione della resilienza del servizio (in base alle procedure previste, ma è in grado di ottimizzare le scelte degli operatori definendo l'ordine ottimale degli

interventi da apportare considerando tutti i parametri incluse la posizione delle squadre, la viabilità, i tempi tipici di intervento, la presenza di telecontrollo etc.

Quest'ultima attività è stata portata avanti in collaborazione con l'università "Sapienza" dip DIAG. In tale ambito è stata stimata la resilienza e suggeriti meccanismi per aumentare la sua componente organizzativa. In generale la resilienza può essere aumentata incrementando le risorse a disposizione e migliorando la gestione post evento.

Nella seguente Figura 9 è riportato un esempio di output del programma RecSim. Come si vede, Il codice tiene conto delle capacità di localizzare ed isolare il segmento non funzionante grazie agli algoritmi di ottimizzazione riducendo notevolmente il numero di utenti non serviti.

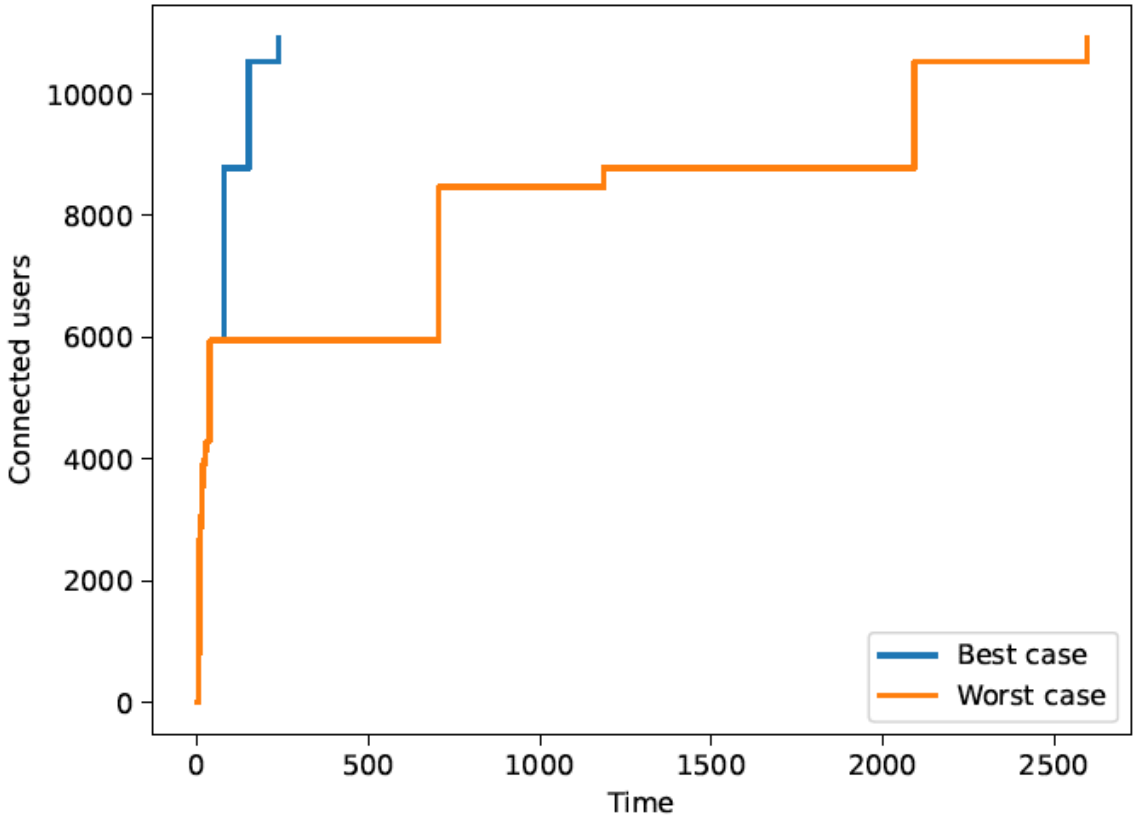

Figura 9: esempio di output del codice RecSim in cui si comparano le prestazioni della fase di recupero del servizio, prestazione ottimale (best case in cui il problema è localizzato immediatamente) e ordinaria (worst case). Il numero di utenze che ricevono regolarmente il servizio è presentato in funzione del tempo trascorso dall'evento (misurato in secondi).

7.4 Attività con i droni per le isole di calore

ENEA ha condotto uno studio per valutare e mitigare l'isola di calore urbana, con particolare attenzione alla riduzione dei consumi energetici e al miglioramento del benessere dei cittadini. Le attività hanno supportato anche il Piano di Mitigazione e Adattamento Climatico di Roma Capitale, nell'ambito di un Accordo di Collaborazione.

Tra le azioni svolte, è stata analizzata l'efficacia di sistemi evaporativi per la mitigazione termica negli spazi aperti, con monitoraggi strumentali e valutazione della risposta dei cittadini. Un

caso di studio ha riguardato l'impianto installato nel giardino dell'asilo nido Maramao, nel quadrante est della città, un'area particolarmente esposta al surriscaldamento.

Per completare l'analisi, nel mese di luglio è stato eseguito un rilievo termografico aereo mediante drone equipaggiato con una termocamera ad alta risoluzione. L'analisi termografica, realizzata in collaborazione con la Linea di Attività 1.24 del WP1 del Progetto 1.7 PTR 2022-24, ha permesso di acquisire immagini nell'infrarosso termico, evidenziando le variazioni di temperatura delle superfici. Questo ha reso possibile l'individuazione delle zone di accumulo di calore, il confronto tra aree ombreggiate e non, e la valutazione dell'efficacia del sistema evaporativo installato.

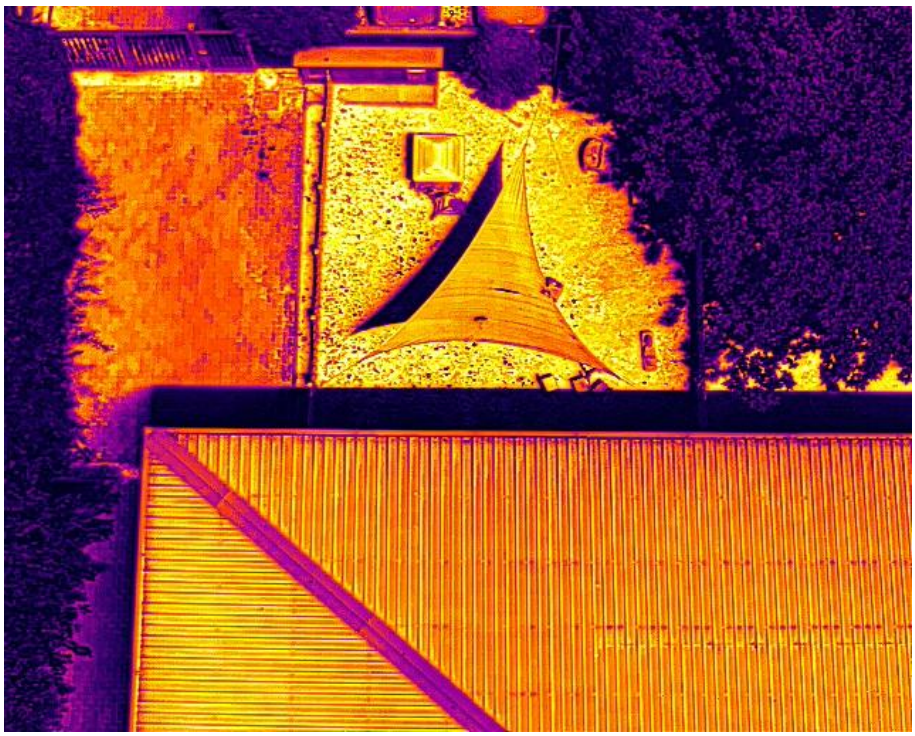

Figura 10. Mappatura della temperatura superficiale ottenuta tramite acquisizione con camera termica montata su drone

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

La progettazione della piattaforma informatica CI-RES è il frutto del lavoro del laboratorio TERIN-ICER-ICS nel primo SAL, ma la sua realizzazione è stata conseguita tramite la società di software Geosolutions srl che ha fisicamente realizzato la piattaforma secondo le specifiche richieste. I dettagli della attività sono contenuti nel report RdS_PTR 22-24_PR1.7_LA2.15_368.

Inoltre, la società SparkFabrik srl ha effettuato il porting di CI-RES sulla piattaforma Proxmox del laboratorio TERIN-ICER-ICS di ENEA e attivato le pipeline di sviluppo dei componenti. I dettagli di questa attività sono contenuti nel report RdS_PTR 22-24_PR1.7_LA2.15_369.

L'effetto coordinato dei due interventi di ingegnerizzazione della piattaforma ha consentito di disporre di uno strumento resiliente in grado di funzionare e recuperare anche a seguito della perdita di una o più macchine fisiche e alla mancanza prolungata di alimentazione elettrica.

9 Pubblicazioni scientifiche

- Arduin, M., Tofani, A., D'Agostino, G., Pollino, M. (2025). Multicriteria GIS Spatial Analysis for Multi-hazard Assessment of Infrastructures in Case of Natural Events. In: Oliva, G., Panzieri, S., Hämmerli, B., Pascucci, F., Faramondi, L. (eds) Critical Information Infrastructures Security. CRITIS 2024. Lecture Notes in Computer Science, vol 15549. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84260-3_19

10 Eventi di disseminazione

- 19th International Conference on Critical Information Infrastructures Security - CRITIS2024. Roma, 18-20 Settembre 2024.