

CIPCAST, UNO STRUMENTO DI SUPPORTO ALLE DECISIONI DI TIPO GIS-BASED PER L'ANALISI DEL RISCHIO SISMICO: IL CASO STUDIO DELL'AQUILA

Maurizio Pollino¹, Sonia Giovinazzi¹, Luigi La Porta¹, Antonio Di Pietro¹, Alberto Tofani¹,
Gregorio D'Agostino¹, Vittorio Rosato¹, Lorenzo Giua²

ENEA - Laboratorio "Analisi e Protezione Infrastrutture Critiche", C.R. Casaccia - Roma, Italy

SOMMARIO

La valutazione del rischio sismico, in termini di stima dei danni fisici e degli impatti attesi su strutture e infrastrutture critiche, è un potente strumento per supportare non solo la pianificazione e la gestione delle emergenze ma anche lo sviluppo di efficaci strategie di mitigazione e di pianificazione della risposta.

A tal fine, negli ultimi anni, presso il Laboratorio "Analisi e Protezione delle Infrastrutture Critiche" dell'ENEA è stato progettato e sviluppato un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) di tipo GIS-based, denominato CIPCast. Esso, grazie alla disponibilità di un apposito modulo simulativo (CIPCast-ES, "EarthquakeSimulator"), consente di analizzare e valutare la vulnerabilità ed il rischio sismico di strutture ed infrastrutture in un'area di interesse, simulando scenari di impatto per eventi sismici, in termini di possibili danni indotti e stimando le eventuali conseguenze attese per la popolazione.

Tale piattaforma DSS è stata utilizzata nell'ambito di un caso di studio per l'area dell'Aquila. Attraverso CIPCast-ES sono state effettuate delle simulazioni, producendo scenari e, quindi, analizzando i risultati ottenuti.

¹ ENEA - Laboratorio "Analisi e Protezione Infrastrutture Critiche" (DTE-SEN-APIC), Centro Ricerche Casaccia - Via Anguillarese 301, Roma, e-mail: maurizio.pollino@enea.it (corresponding author)

² Tesista Corso di Laurea in Scienze geografiche per l'ambiente e la salute, Dipartimento di Lettere e Culture Moderne dell'Università degli Studi di Roma "Sapienza"

1 Introduzione

In un'area metropolitana (anche complessa), dove la tutela dei cittadini e dei beni è fondamentale, i processi decisionali in situazioni critiche dipendono anche 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 (come i sistemi elettrici e di comunicazione) e di quelli di emergenza (disponibilità e efficienza degli ospedali etc.).

In simili contesti, strategie di valutazione dei rischi e approcci alla mitigazione di impatti di situazioni di crisi non possono essere affrontate sulla base di un approccio “linearizzato” (vale a dire dove ogni singolo settore venga considerato e analizzato indipendentemente dagli altri): molte e diverse sono, infatti, le dipendenze e le interdipendenze tra i vari settori (un guasto su un settore potrebbe riverberarsi su molti altri, fornendo così feedback negativi e quindi un'ulteriore amplificazione degli effetti). Nell'attuale quadro di riferimento tecnico-scientifico, aspetti cruciali come il monitoraggio e la gestione delle Infrastrutture Critiche (IC), con particolare riguardo alla valutazione del rischio, richiedono l'individuazione di soluzioni in grado di affrontare organicamente le molteplici esigenze e problematiche, di tipo tecnologico, ambientale, sociale, ecc.. A tal fine, i processi decisionali (facenti capo a vari soggetti, quali operatori/gestori di IC, organi di Protezione Civile, etc.) devono poter gestire ed esaminare le situazioni di vulnerabilità e di rischio e, conseguentemente, definire operazioni/strategie da attuare per rispondere a determinate esigenze.

In particolare, in una città che mira ad essere “smart”, è importante anche porre in essere azioni che siano in grado di rafforzare la resilienza (ossia la capacità di un sistema complesso di ripristinare in modo rapido ed efficiente la propria situazione di equilibrio dopo una perturbazione). Ciò, ad esempio, è fattibile migliorando la previsione di eventi perturbativi (ad esempio, quelli meteorologici) o lavorando all'adeguamento sismico di strutture e infrastrutture, facendo leva su un ampio insieme di informazioni provenienti dai diversi settori (società, infrastrutture, servizi primari, ambiente, ecc.).

In questo quadro generale, le Infrastrutture Critiche (CI), rivestono un ruolo importante, specie se viste quali elementi essenziali dell'erogazione dei servizi primari ai cittadini, così come la loro gestione “resiliente”. 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.. 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 IC, 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.

1.1 La protezione delle infrastrutture critiche

La protezione delle Infrastrutture Critiche (CIP, *Critical Infrastructure Protection*) è al centro dell'Agenda Europea e Internazionale da ormai molti anni. Dati recenti mostrano una tendenza all'aumento del numero degli eventi calamitosi che colpiscono le Infrastrutture Critiche (IC) e che, inoltre, hanno costi elevati in termini di vittime e danni materiali. I costi e il numero delle vittime sono anch'essi in numero crescente. L'Europa, malgrado gli sforzi e la tecnologica avanzata delle strutture dislocate, continua a mostrare dati negativi e fortemente impattanti con il PIL. Tali eventi, quindi sono in grado di produrre danni molto ingenti e drenare importanti risorse finanziarie. L'utilizzo di migliori strumenti per favorire la cosiddetta “*preparedness*” e, quindi, la conseguente riduzione dei danni (soprattutto in termini di vittime umane oltre che di costi risparmiati) è una strategia che non può né deve essere tralasciata. Secondo i dati del CrED (*Centre for the Epidemiology of Disaster*) nel 2016 si sono verificati 301 disastri naturali che hanno interessato 102 Paesi e provocato 97 miliardi di dollari di danni economici. L'Italia è al settimo posto nella classifica della mortalità.

Per quanto riguarda la CIP, l'EU ha da tempo individuato una propria linea di intervento. Essa ha inizialmente (Direttiva 2008/114/CE) individuato la rilevanza della protezione a livello trans-nazionale di una serie di asset infrastrutturali (denominate ECI, *European Critical Infrastructures*), Direttiva recepita successivamente in Italia attraverso il D.Lgs 65/2011. L'Italia si è dotata di una serie di “premesse”

legislative e di identificazioni di entità responsabili alla CIP attraverso la creazione del NISP (Nucleo Interministeriale Situazione e Pianificazione) con il DPCM 25 maggio 2010.

Ancorché identificata sul piano giuridico-istituzionale, il problema della CIP è ancora lungi dall'essere funzionalmente risolto. Non esiste ancora in Italia (e analogamente negli altri Paesi della EU) una struttura operativa funzionale in grado di assolvere al problema di supportare la Pubblica Amministrazione e gli Operatori ad effettuare una efficace opera di prevenzione e di protezione delle Infrastrutture dagli impatti derivanti da calamità naturali e da altri eventi in grado di danneggiarli e di ridurre la continuità dei Servizi che, singolarmente e complessivamente, esse erogano ai cittadini.

1.2 L'approccio sviluppato in ENEA

ENEA ha partecipato e partecipa a vari progetti EU e Nazionali, attuati anche in linea con le suddette indicazioni comunitarie, in cui sono state concepite e definite una serie di tecnologie innovative e di strumenti per la CIP. In questi ambiti, sono state poste le basi conoscitive e messe a fattor comune le competenze integrate da cui proviene il know-how che il Laboratorio "Analisi e Protezione Infrastrutture Critiche" (DTE-SEN-APIC) dell'ENEA ha utilizzato ed utilizza nell'ambito delle proprie attività di ricerca per lo sviluppo avanzato di uno strumento operativo e funzionale di CIP (co particolare riguardo, appunto, al rischio sismico), che si concretizza nella Piattaforma di Supporto alle Decisioni (DSS) denominata CIPCast (Di Pietro et al., 2016) e descritta nel prosieguo del presente articolo.

Il DSS CIPCast è stato progettato per valutare la probabilità di attesa di danni a partire dagli effetti previsti di eventi naturali estremi (quali, ad esempio, i terremoti) e, quindi, fornire una stima di quali potrebbero essere i danni all'edificato ed alle IC (tendendo presenti le specifiche vulnerabilità degli elementi). Tali "scenari di crisi" possono essere rappresentati sia sotto forma di mappe di danno fruibili attraverso l'interfaccia geografica di CIPCast.

In questo quadro, CIPCast rappresenta uno strumento di analisi e previsione del rischio rivolto alla protezione delle strutture e delle infrastrutture, rivolto al supporto degli Operatori delle IC (o di quelli da esse dipendenti) e delle Istituzioni Pubbliche preposte alla salvaguardia dei cittadini e degli asset (ad esempio, la Protezione Civile ai vari livelli, da quello Comunale fino a quello Nazionale).

2 La Piattaforma CIPCast come strumento di supporto decisionale

2.1 Lo sviluppo di un sistema di tipo GIS-based

Gli approcci basati su tecnologie e metodologie GIS (*Geographical Information System*) svolgono un ruolo fondamentale, sia nella valutazione della vulnerabilità, sia nel supportare i processi decisionali nel loro complesso, nell'ambito delle analisi relative a rischio, impatto e conseguenze. Negli ultimi anni, infatti, la comunità geo-scientifica si è focalizzata sempre più approfonditamente sui risvolti applicativi legati all'uso di tecnologie *GIS-based* per gli scopi suddetti (Pollino & Modica, 2013; Pollino et al., 2015; Modica et al., 2016): la necessità di standard e interfacce spaziali efficaci, strumenti di analisi spaziale, piattaforme hardware/software integrate (*Spatial Data Infrastructure*, SDI, o Infrastruttura di Dati Territoriali) ha rivestito pertanto un ruolo fondamentale nello sviluppo di siffatte attività. Il DSS CIPCast è stato concepito come una combinazione di ambienti software *free/open source* (Steiniger & Hunter, 2011), incluse le funzionalità GIS, per l'analisi e la previsione del rischio per le strutture e le infrastrutture in relazione a diversi tipi di eventi naturali estremi (terremoti, precipitazioni, intense, alluvioni, etc.).

La Piattaforma così sviluppata costituisce un innovativo esempio di un DSS finalizzato alla costante analisi del rischio in un'area urbana e/ al fine di coadiuvare l'Autorità Pubblica, come la Protezione Civile, e gli Operatori delle IC (Tofani et al., 2015), a fronteggiare situazioni di crisi o a elaborare scenari preventivi (utili, ad esempio, nella redazione di piani di contingenza).

L'architettura complessiva, le principali componenti e le funzionalità che il DSS CIPCast fornisce, nonché una serie di risultati conseguiti nella applicazione del sistema all'area dell'Aquila, saranno descritti nei successivi Paragrafi.

2.2 Il modello dei dati

Partendo dall'individuazione dei dati e delle informazioni necessarie allo sviluppo applicativo del DSS, si è innanzitutto provveduto alla progettazione di un modello dei dati (*Data Model*, implementato mediante una Banca Dati Geospaziale, GeoDatabase), strutturato mediante una serie di strati informativi di base e di informazioni derivate, con particolare attenzione agli aspetti riferibili all'area di studio. Tutte le mappe e gli strati informativi utilizzati, compresi quelli prodotti nell'ambito delle elaborazioni (e.g., gli scenari di rischio), sono stati organizzati per essere visualizzati ed interrogati mediante applicativi geo-cartografici (nel caso specifico, l'interfaccia WebGIS del DSS).

Per lo sviluppo della SDI su cui si basa il DSS CIPCast, è stata effettuata una analisi dei dati necessari: la loro tipologia, la verifica della disponibilità e la modalità d'utilizzo degli stessi (acquisizione, realizzazione ad hoc, integrazione, ecc.), di seguito raggruppati per categoria:

- dati geografici di base ed informazioni territoriali di dettaglio (mappe di rischio, litologia, idrologia e geomorfologia, sismicità etc.);
- dati sull'edificato, sulla dislocazione (posizionamento) degli elementi delle IC considerate e loro caratteristiche specifiche (vulnerabilità alle varie sorgenti perturbative);
- dati da sensori specifici (ad esempio, eventi sismici, stazioni meteorologiche, etc.) per avere un quadro costantemente aggiornato delle condizioni esterne;
- Open Data relativi ad esempio ad informazioni statistiche sulla popolazione residente, sulla distribuzione dei punti di interesse (POI) etc.

Il DSS CIPCast può sfruttare diverse tipologie di dati (sia attingendoli dal GeoDatabase di sistema, sia da banche dati esterne). Per rispondere alle esigenze progettuali, il flusso dati è articolato nelle seguenti fasi:

1. I dati ottenuti mediante elaborazioni GIS o provenienti da altre fonti (Open Data, sensori sul campo, dati da drone, *repository* terzi o distribuiti, etc.) vengono caricati e memorizzati nel database geospaziale;
2. Essi, quindi, vengono gestiti mediante lo strato server del DSS (ad esempio, nei processi di simulazione);
3. Vengono condivisi e forniti mediante gli standard definiti dall'Open Geospatial Consortium³ (OGC) al client ed integrati nell'applicazione WebGIS implementata come front-end geografico del DSS.

I dati possono risiedere in locale o in differenti server remoti (accessibili tramite i servizi OGC-compliant di cui sopra). L'uso di tali standard consente di fornire dati geospaziali eterogenei come quelli utilizzati. Così, l'interfaccia WebGIS della piattaforma DSS consente di usufruire, in modo efficiente, dei dati geospaziali e di visualizzarli come mappe GIS.

2.3 Architettura e Workflow

Per implementare la Piattaforma DSS CIPCast ed avere la possibilità di utilizzarla in maniera efficace e accessibile *on-line*, è stata definita un'architettura specifica, i cui componenti logici e fisici, nonché il flusso di dati, sono raffigurati nello schema generale riportato in Figura 1, in cui è possibile osservare come il sistema sia stato implementato con un'architettura *multi-tier*, composta da 4 strati con differenti funzioni:

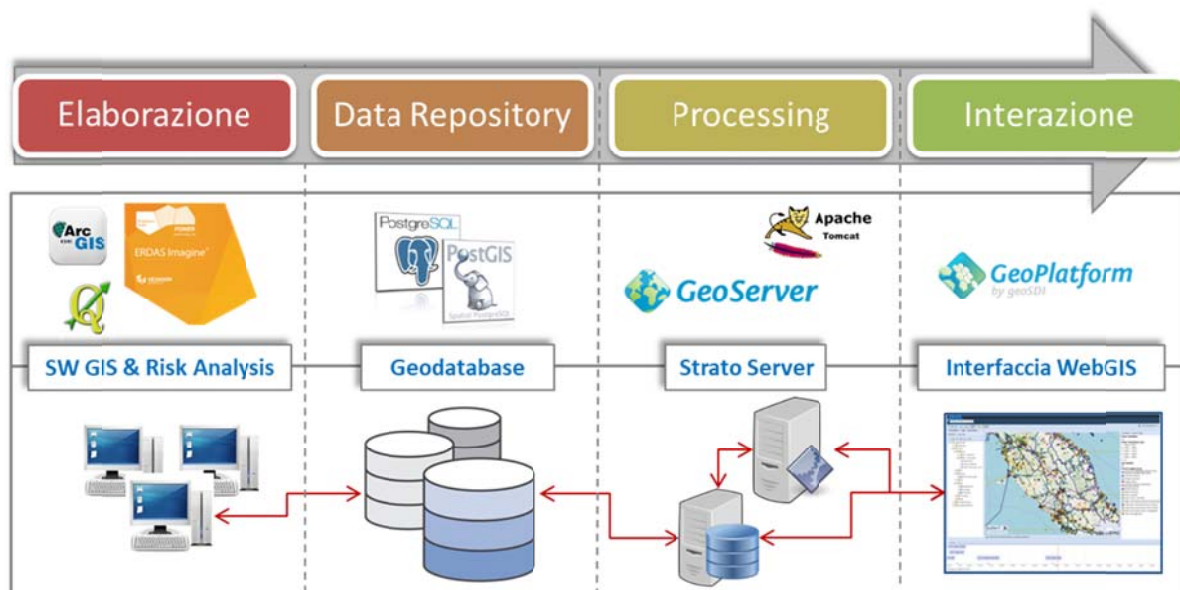
1. *Elaborazione*: strato dedicato alla preparazione dei dati, alla definizione ed esecuzione delle analisi spaziali, etc.;
2. *Data Repository*: strato di memorizzare dati e metadati in un database geospaziale (GeoDatabase);
3. *Processing*: strato composto da applicativi server, per gestire/acquisire i dati, archivarli, elaborarli e pubblicarli via Web;

³ Open Geospatial Consortium: www.opengeospatial.org

4. *Interazione (Front-end)*: strato dell'interfaccia di visualizzazione (applicazione WebGIS).

Tenendo in considerazione gli obiettivi ed i risultati attesi, il modello di architettura che si è ritenuto più adatto è quello di tipo *server-side* a tal fine, la strategia implementativa si è focalizzata nel fornire dati geospaziali GIS su domanda del *client* da parte di un server primario, che ha accesso sia ai dati, sia al software predisposto all'elaborazione dei dati stessi. Il client, in questo caso, non ha bisogno di una grossa potenza di calcolo, poiché è più che sufficiente la sola capacità di utilizzare un comune web browser.). In particolare, per le varie componenti si è scelto di avvalersi sia di soluzioni software commerciali, sia di pacchetti software Free/Open Source (FOSS: QGIS⁴, PostgreSQL⁵ con estensione PostGIS⁶, GeoServer⁷, ecc.), conferendo al tutto caratteristiche di originalità e versatilità applicativa.

Figura 1. Architettura della Piattaforma DSS per la sicurezza e la protezione delle infrastrutture critiche



Tutte le mappe e gli strati informativi, sia disponibili come data di base, sia prodotti nell'ambito delle elaborazioni, sono organizzati per essere utilizzati dalla Piattaforma CIPCast e per essere visualizzati ed interrogati mediante l'interfaccia WebGIS. A tal fine, dal punto di vista logico, tra il Geodatabase e l'interfaccia WebGIS si colloca il WebServer GIS. Con questo termine ci si riferisce all'insieme degli apparati e dei relativi software che consentono al sistema di organizzare le informazioni e renderle fruibili alla rete. La suite software utilizzata, GeoServer, permette di fornire mappe e dati da una varietà di formati a client standard, come i browser web e software GIS di tipo desktop. Ciò rende possibile memorizzare i dati spaziali in quasi qualsiasi formato si preferisce. Dal punto di vista tecnico, GeoServer è l'implementazione di riferimento degli standard OGC: Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS) e Web Map Service (WMS).

Per quanto riguarda le funzionalità implementate in CIPCast, esse supportano essenzialmente la previsione e l'analisi del rischio (*risk assessment*) indotto da eventi naturali, e la conseguente stima degli impatti complessivi che potrebbero essere indotti da guasti causati dall'impatto di tali eventi naturali:

- condivisione delle informazioni territoriali ed ambientali;
- gestione ed elaborazione dati geospaziali di interesse;

⁴ <http://www.qgis.org/it/site/>

⁵ <https://www.postgresql.org/>

⁶ <http://postgis.net>

⁷ <http://geoserver.org/>

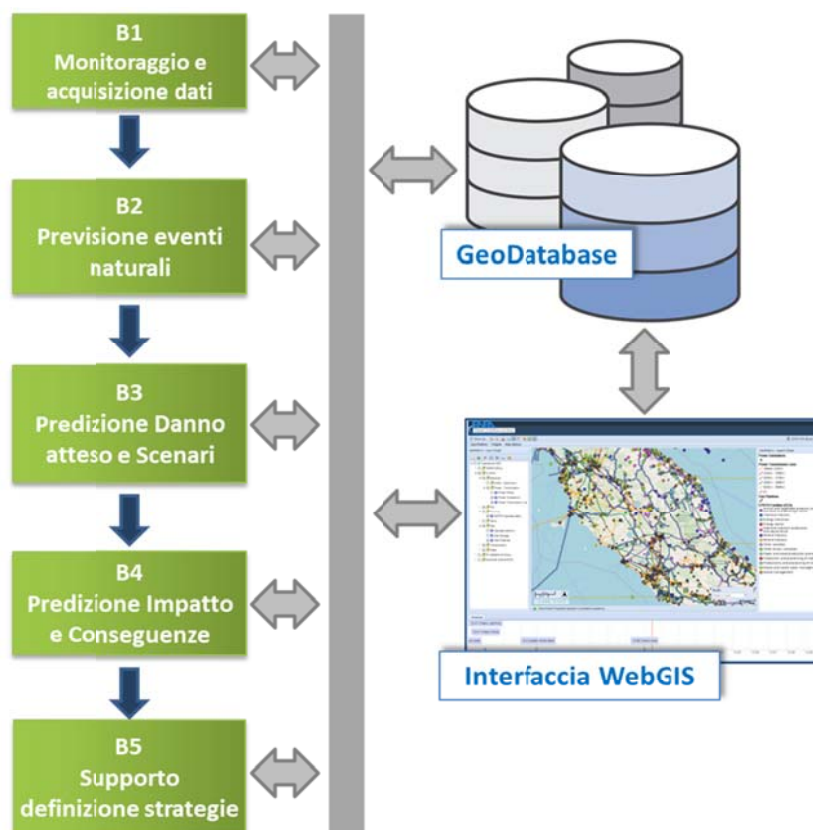
- acquisizione dati dal campo (dati meteo-climatici; dati eventi sismici; etc.);
- localizzazione e monitoraggio di strutture e IC;
- elaborazione di: analisi spaziali, scenari, simulazioni.

Dal punto di vista operativo, la Piattaforma è stata organizzata secondo una sequenza di blocchi funzionali che implementano le suddette funzionalità e ne consentono un utilizzo efficace. Alla base del *Workflow* di CIPCast, vi è la necessità di stimare una serie di fattori di rischio e di potenziale danno, che il verificarsi di un dato evento potrebbe causare nei sistemi tecnologici. Quindi, effettuata una stima accurata del rischio, il sistema è chiamato a supportare gli utenti nella fase di emergenza (o una emergenza simulata), fornendo informazioni specifiche sullo scenario atteso.

Nella successiva Figura 2, sono schematizzati i principali blocchi funzionali (B_i) della Piattaforma CIPCast (Di Pietro et al., 2016), dettagliati di seguito:

- B1. Monitoraggio ed acquisizione dati (GeoDatabase): il DSS acquisisce dati esterni da molte fonti diverse (ad esempio, gli eventi sismici, etc.) per stabilire le attuali condizioni esterne.
- B2. Previsione di eventi naturali (ad es., precipitazione intensa): stima l'intensità della manifestazione attesa, nel caso di eventi prevedibili (come quelli meteorologici).
- B3. Predizione del Danno atteso – Scenari: correla l'intensità degli eventi (*hazard*) attesi alla vulnerabilità dell'edificato e dei diversi componenti delle IC situati nell'area interessata. Lo scenario di danno viene valutato e prodotto per tutti gli elementi (e.g. edifici) che presentano un'elevata probabilità di danneggiamento a causa dell'evento avverso.
- B4. Predizione dell'impatto sui servizi erogati dalle CI (elettricità, telecomunicazioni, etc.) e stima delle conseguenze.
- B5. Supporto alla definizione di strategie di gestione delle emergenze o di mitigazione del danno.

Figura 2. Schema a blocchi funzionali della Piattaforma DSS



Quindi, secondo il flusso di lavoro sopra descritto, a partire da dati esterni (Blocco B1, sensori da stazioni di rilevamento pubbliche, previsioni meteo, dati di terremoto, dati da droni, etc.) il DSS elabora una previsione (B2) e costruisce uno “scenario” (B3), contenente gli eventi attesi, la loro intensità, fornendo una stima di impatti e conseguenze (B4).

Nel primo modulo (B1) il sistema raccoglie le informazioni dal campo (attraverso sensori remoti, ad esempio il Database del Centro Nazionale Terremoti dell'INGV⁸) e dalle previsioni meteorologiche (medio-lungo termine e di breve termine da *nowcasting*). Ad esempio, sulla base di questi dati è possibile produrre mappe di precipitazioni oraria stimata, da utilizzare per valutare l'impatto potenziale sulle IC.

Nella seconda azione (B2), partendo dalla previsione dell'evento, il DSS analizza i dati di riferimento per stabilire la probabilità che un dato elemento infrastrutturale possa essere colpito dall'evento atteso e, conseguentemente, danneggiato. A tal fine, valuta le vulnerabilità intrinseche degli elementi correlando la probabilità dell'evento con la sua magnitudo prevista, in modo da fornire una probabilità di danneggiamento. Questa informazione è utilizzata nella terza azione (B3) per produrre uno “Scenario di Danno” ovvero l'insieme di tutti gli elementi eventualmente colpiti dall'evento.

Uno dei principali compiti di CIPCast è quello di mettere i dati geograficamente riferiti, le mappe tematiche e quelle dei probabili “Scenari di Danno” a disposizione degli utenti finali specifici (ad esempio, l'autorità di Protezione Civile). A tal fine, il sistema consente agli utenti di visualizzare dati geospaziali all'interno dell'interfaccia avanzata di *front-end*, mediante l'utilizzo dell'applicazione WebGIS appositamente sviluppata.

Nella quarta azione (B4), lo scenario complessivo viene valutato opportunamente, al fine di stimare le conseguenze che tali interruzioni (complete o parziali) dei servizi potrebbero produrre nei settori sopra citati. Per fare ciò, CIPCast deve tenere in considerazione i dati di dipendenza che collegano le differenti infrastrutture, in modo da riprodurre la propagazione guasti. Nella medesima azione del Workflow, ad esempio, CIPCast potrà raccogliere informazioni da parte degli operatori delle IC e, utilizzando strumenti specifici che rappresentano dipendenze funzionali del sistema (o interdipendenze), potrà valutare l'impatto complessivo del danno previsto su tutto il sistema attraverso la predizione di eventuali effetti a cascata.

Infine, l'ultimo modulo (B5) si occupa di fornire adeguato supporto decisionale. Gli “scenari di crisi” sono costituiti dalle mappe degli elementi per i quali si prevedono danneggiamenti (e.g. edifici), guasti o riduzioni del funzionamento (e.g. elementi di IC) in conseguenza degli eventi naturali. Questo modulo, tenuto conto dello scenario critico previsto, è concepito per supportare i gestori dell'emergenza al fine di definire e validare opportune strategie di intervento, azioni di mitigazione, nonché procedure di ripristino dei servizi.

2.4 Modalità operativa e simulativa

La Piattaforma CIPCast può lavorare sia in modalità operativa (dati effettivi, acquisiti *in real-time*) che simulativa. In entrambe le modalità, sulla base della conoscenza della posizione geografica degli elementi delle CI dell'area di interesse, il DSS produce uno “scenario di danneggiamento”, valutando per ciascun elemento delle CI, il loro possibile livello di danno atteso in funzione del tipo di evento previsto (e della sua intensità).

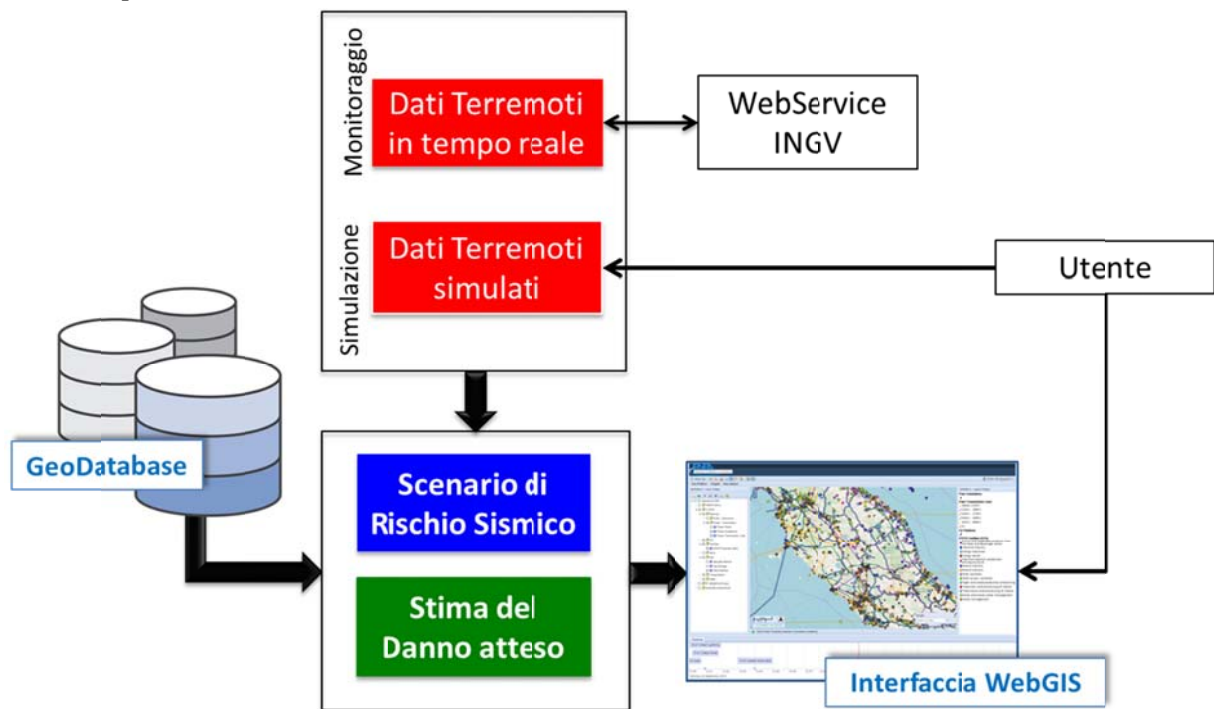
Innanzitutto, il DSS CIPCast, tramite l'acquisizione in real-time di dati di differente natura (quali, ad esempio, le previsioni meteo e quelli relativi all'operatività delle infrastrutture monitorate) può lavorare in modalità operativa per il monitoraggio e la valutazione del rischio connesso ad eventi naturali estremi (ad es., precipitazioni intense previste a breve o medio termine, dati sui terremoti in tempo reale, etc.) e fornire una stima dei potenziali danni strutturali (tenendo presenti le specifiche vulnerabilità degli elementi considerati). Seguendo l'approccio così definito, il DSS – in modalità operativa – è in grado valutare su base

⁸ <http://cnt.rm.ingv.it/>

24/7 lo stato di rischio delle strutture e degli elementi delle IC in una determinata zona, per effetto di minacce legate ad eventi esterni.

Dal punto di vista simulativo, invece, tramite opportuni moduli elaborativi ed interfacce grafiche basate su applicazioni GIS, il DSS è in grado di generare scenari sintetici (come, ad esempio, per i terremoti) e valutare le perturbazioni indotte da tali scenari sull'edificio e sulle IC. In particolare, è stato progettato ed implementato un modulo apposito di simulazione di terremoti denominato CIPCast-ES (*Earthquake Simulator*) (Matassoni et al, 2017), il quale consente di elaborare e produrre scenari di danno e impatto per terremoti, dati in input al sistema (essi possono essere definiti arbitrariamente dagli utenti finali o riferiti ad eventi passati realmente accaduti). Nel caso della simulazione, dal punto di vista del flusso operativo, rispetto alla sequenza di Blocchi descritta in Figura 2, si prende in considerazione direttamente il Blocco B3, inserendo in input i dati e i parametri relativi ad un terremoto simulato (ad esempio, un evento realmente accaduto in un'area di studio). Pertanto, il Workflow specifico della modalità simulativa del DSS è quello riportato in Figura 3.

Figura 3. Workflow del DSS CIPCast-ES (*Earthquake Simulator*) in modalità simulativa (terremoti sintetici) e operativa



Grazie a entrambi gli sviluppi applicativi sopra descritti è possibile, pertanto, eseguire mediante la Piattaforma CIPCast, analisi deterministiche di scenario, per supportare gli utenti nella definizione di piani di contingenza e nell'attività di pianificazione/gestione dell'emergenza sismica. Il valore aggiunto dello strumento sopra descritto riguarda la possibilità di effettuare (in ambiente *user-friendly*) varie e differenti simulazioni, al fine di stimare i danneggiamenti sugli edifici e sui singoli componenti delle IC, nonché l'impatto dei servizi forniti da tali sistemi e supportare studi per l'incremento della resilienza delle infrastrutture di interesse.

2.5 Il simulatore sismico CIPCast-ES

Come asserito nel paragrafo precedente, per l'analisi del rischio sismico e la simulazione di terremoti all'interno della piattaforma DSS CIPCast è stato progettato ed implementato il modulo CIPCast-ES (*Earthquake Simulator*) (Matassoni et al, 2017; Giovinazzi et al., 2017).

2.5.1 Il modello proposto per il DSS per la stima di scenari sismici deterministici di danno

I passi necessari per stimare i danni fisici e gli impatti funzionali indotti da terremoto su strutture ed infrastrutture includono (OOFIMS, 2014):

- a) Valutazione della pericolosità: generazione di mappe di scuotimento del terreno e di deformazione del terreno e selezione dei parametri più appropriati per descriverli in relazione alla elemento (e.g. edificio) che si vuole analizzare;
- b) Classificazione degli elementi strutturali ed infrastrutturali secondo una tassonomia definita, in modo da raggruppare gli elementi che si prevede si possano comportare in modo simile, sostenendo danni simili quando sottoposti a un evento sismico;
- c) Classificazione dei danni fisici e dell'impatto funzionale: selezione di scale appropriate per la classificazione del danno fisico indotto dal terremoto a ciascun componente (ad es. per componenti di una rete elettrica) e l'operabilità residua del componente, che non è necessariamente correlata con il livello e l'entità del danno fisico.
- d) Valutazione del danno: identificazione di un'appropriata relazione pericolosità-danno da utilizzare per assegnare un livello di danno (secondo la metrica definita nel punto c) per ciascun elemento identificato e classificato (secondo la tassonomia definita al punto b) in funzione della pericolosità stimata (valutata secondo il punto a);
- e) Stima della prestazione residua (e.g. per le reti elettriche) tenendo conto dei danni stimati a livello di componenti, attraverso analisi di connettività; eventuale valutazione degli effetti di interdipendenza con altri sistemi;
- f) Valutazione del ripristino del servizio nel caso di IC: stima della tempistica necessaria per la riparazione e il ripristino del servizio sia a livello di singoli componenti che a livello dell'intero sistema.

CIPCast-ES consente la valutazione deterministica di scenari di rischio sismico per il costruito ordinario, sia per eventi reali che per eventi “sintetici” definiti dall'utente (Matassoni et al., 2017). Nel primo caso, e per quanto riguarda il territorio italiano, CIPCast-ES riceve, entro 1 minuto dal verificarsi del terremoto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV, i seguenti dati:

- le coordinate dell'epicentro del terremoto [Latitudine; Longitudine];
- la profondità dell'ipocentro, h [km];
- la magnitudo momento MW, misurata secondo la Scala Richter.

Similmente, CIPCast-ES consente ad oggi di simulare un terremoto definito dall'utente nell'area di interesse, previa definizione degli stessi parametri di input (le cui caratteristiche possono essere attinte dal Catalogo Parametrico dei terremoti italiani⁹, gestito dall'INGV) definiti sopra.

Una volta acquisite tali informazioni CIPCAST-ES consente la definizione delle mappe di scuotimento del terreno, tenendo conto:

- dell'attenuazione del moto del terreno con l'aumentare della distanza dall'epicentro, grazie all'uso di specifiche leggi di attenuazione, indicate come *Ground Motion Prediction Equation*¹⁰ (GMPE);
- l'eventuale amplificazione del moto del terreno dovuta a fenomeni di amplificazione locale possibilmente indotta da particolari condizioni di suolo e/o morfologiche. Ad oggi CIPCast-ES consente solo di valutare eventuali amplificazioni dovute a particolari condizioni di suolo, se disponibile una mappa caratterizzante l'area analizzata in termini classi di suolo (secondo la classificazione della normativa italiana o fattore di amplificazione, AF).

⁹ <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

¹⁰ Una mappa di scuotimento viene generata utilizzando una serie di equazioni (leggi di attenuazione), meglio conosciute nella letteratura scientifica come *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE).

Prendendo, pertanto, in considerazione il Workflow di Figura 3, il sistema, sulla base delle informazioni specifiche degli elementi delle strutture di interesse (localizzazione, caratteristiche, vulnerabilità, etc., archiviate nel GeoDatabase), prende in input i dati del terremoto (epicentro, profondità e magnitudo) reale o simulato, e stima la forza di manifestazione prevista per l'evento. A tal fine, elabora uno "scenario di danno", correlando la forza della manifestazione con la vulnerabilità dei diversi elementi (edifici o IC) nelle aree interessate, al fine di stimare la probabilità che la manifestazione possa effettivamente danneggiare (e, in caso affermativo, fino a che punto) gli elementi stessi. Tale approccio consente di effettuare test (anche ripetuti), creando differenti scenari di danno sulla base dei quali stimare impatti e conseguenze su edificato e infrastrutture (Giovinnazzi et al., 2017).

2.5.2 Valutazione del rischio sismico

Per valutare il possibile stato di danno dopo un terremoto, è necessario stimare, in primo luogo, lo scuotimento del suolo e le deformazioni del terreno, transitorie e permanenti, in corrispondenza di ciascun elemento considerato.

Note le coordinate dell'epicentro [Latitudine e Longitudine], la profondità dell'ipocentro h [km] l'entità della magnitudo M_w dell'evento, è possibile dunque generare con CIPCast-ES una mappa di scuotimento utilizzando una serie di leggi di attenuazione (GMPE), che consentono di tenere conto di come lo scuotimento si attenua al crescere della distanza della sorgente sismica dall'epicentro. Le GMPE Sono di natura empirica e sono basate su analisi statistiche dei parametri di scuotimento registrati in occasione di terremoti in diverse aree del mondo per una varietà di regimi tettonici. Nell'attuale fase di sviluppo sono state prese in considerazione GMPE in termini di intensità macrosismica I e in termini di PGA (accelerazione di picco al suolo, *Peak Ground Acceleration*) (Bindi et al., 2009).

Per quanto riguarda la valutazione del rischio sull'edificato, sono state prese in considerazione GMPE in termini di intensità macrosismica. Dopo una attenta revisione della letteratura, quindi, sono state incluse in CIPCast-ES le Eq. [1], [2] e [3] derivate rispettivamente da (Faccioli & Cauzzi, 2006; Pasolini et al., 2008; Allet et al., 2012). In particolare la Eq. [1], è stata sviluppata su una base di dati in area Mediterranea, con intensità registrate fino al grado $\geq VIII$. Essa utilizza la distanza R [Km] epicentrale per eventi con $M_w < 5.5$, altrimenti considera la distanza minima dalla proiezione in superficie della faglia.

$$I_{MMI} = 1.0157 + 1.2566 M_w - 0.6547 \ln \sqrt{R^2 + 4} \quad [1]$$

$$I_{MCS} = 5.862 + 2.460 M_w - 0.0086 \left(\sqrt{R^2 + 3.91^2} - 3.91 \right) - 1.037 \left(\ln \sqrt{R^2 + 3.91^2} - \ln 3.91 \right) \quad [2]$$

$$I_{MMI} = 2.085 + 1.428 - 1.402 \ln \sqrt{R^2 + h^2 + (2.042 e^{(M_w - 5)} - 0.209)^2} + S \quad [3]$$

dove:

- M_w è la Magnitudo Momento del terremoto¹¹,
- R [km] è la distanza epicentrale, Nell'Eq. [1], R [km] è la distanza epicentrale solo per $M_w < 5.5$, altrimenti deve essere calcolata come la più breve distanza tra il sito e la proiezione in superficie della faglia che ha originato l'evento.
- h [km] è la profondità dell'ipocentro (assunta di default pari a 3.91 km nell'Eq. [2].
- S nell' Eq. [3] è un fattore topografico del sito.

¹¹ Magnitudo momento (M_w) derivata dal parametro sismologico momento sismico che equivale al prodotto tra area di faglia, dislocazione e la resistenza delle rocce. Il momento sismico e la magnitudo momento rappresentano quindi la migliore stima della reale grandezza del terremoto.

L'Eq. [3] è considerata valida per una distanza ipocentrale (calcolata come $R^2 + h^2$) inferiore o uguale a 50 km, altrimenti si consiglia di fare riferimento a (Allen et al., 2012).

È importante notare che le Eq. [1] e [3] fanno riferimento a una intensità macrosismica I_{MMI} , misurata secondo la scala Mercalli Modificata *MMI*, mentre l'Eq. [2] fa riferimento a una intensità macrosismica I_{MCS} misurata secondo la scala macrosismica Mercalli-Cancani-Sieberg, *MCS*.

Unitamente alla stima dello scuotimento del terreno su roccia, è opportuno tenere conto delle eventuali amplificazioni indotte da particolari condizioni del suolo. In particolare, nel caso in cui venga utilizzata una GMPE in termini di intensità macrosismica, CIPCast-ES consente di tenere conto, in modo semplificato, delle eventuali amplificazioni per condizioni particolari del suolo, nel caso in cui venga fornita una mappa del fattore di amplificazione (AF) cioè del rapporto tra l'accelerazione spettrale S_a del movimento del suolo alla superficie del terreno e al substrato roccioso. In tal caso i valori di intensità valutati alla base rocciosa secondo le Eq. [1-3], vengono aumentate localmente di un delta di intensità valutato in funzione della AF misurata:

$$\Delta I = \frac{\ln(AF)}{\ln(1.6)} \quad [4]$$

2.5.3 Valutazione del danno fisico

La valutazione del livello di danneggiamento consente di produrre uno scenario di, tenendo conto dell'indice vulnerabilità sismica dei singoli componenti fisici (edifici o elementi delle IC). Per gli edifici, il danno è stimato tenendo conto della tipologia (ad es., cemento armato o muratura), delle caratteristiche costruttive e geometriche (epoca di costruzione, numero di piani, regolarità in pianta, etc.) ed è articolato secondo 6 differenti livelli di danno, in accordo con la Scala Macrosismica Europea EMS-98 (Grünthal et al., 1998) (da D0 a D5, dove D0 corrisponde a nessun danno, mentre D5 indica il collasso completo della struttura). In assenza di dati a livello di dettaglio del singolo edificio, l'approccio implementato prevede l'utilizzo di dati aggregati a livello di sezione censuaria ISTAT: in questo caso, per gli edifici che ricadono all'interno di ciascuna sezione le caratteristiche costruttive sono fornite in modo aggregato, mediante specifici indicatori statistici (numero di edifici in cemento armato, numero di edifici in muratura, epoca di costruzione, numero di piani, etc.). Questi parametri, quindi, vengono considerati ai fini della valutazione della vulnerabilità sismica, come di seguito descritto.

Per la valutazione della vulnerabilità sismica CIPCast-ES implementa un approccio denominato metodo macrosismico (Lagomarsino & Giovinazzi, 2006) che utilizza un indice di vulnerabilità V e un indice di duttilità Q per caratterizzare la vulnerabilità di un singolo edificio o di un gruppo di edifici (ad esempio, quelli all'interno di ciascuna sezione censuaria), tenendo della tipologia dell'edificio, e delle sue caratteristiche costruttive e geometriche.

La stima della vulnerabilità sismica, in questo caso, è effettuata in funzione delle seguenti informazioni: materiale e tipologia costruttiva dell'edificio. Per ciascun edificio, V , viene computato implementando la procedura descritta in (Lagomarsino & Giovinazzi, 2006). La Tabella 1 mostra l'indice di vulnerabilità di base V^* e i modificatori di vulnerabilità ΔV (cioè incremento o decremento a V^*) assegnati a ciascun edificio/gruppo di edifici (e.g. sezione censuaria) tenendo conto, rispettivamente, di: (i) materiale da costruzione (cemento armato, c.a., o muratura) e periodo di costruzione; (ii) stato di manutenzione, numero di piani, possibile aggregazione con edifici adiacenti, presenza di piano debole (indicato in Tabella come *pilotis*) per gli edifici in c.a..

Nella specifica implementazione fatta nello sviluppo in CIPCast dell'analisi per gruppi di edifici (su base censuaria ISTAT), valori ΔV sono stati calcolati facendo riferimento alle informazioni incluse nelle banche dati ISTAT relative al Censimento generale della popolazione e delle abitazioni.

Per i gruppi di edifici per i quali non è stato possibile ricavare informazioni sul periodo e/o materiale di costruzione e/o stato di conservazione, per ragioni di sicurezza ci si è posti nella condizione peggiore, assumendo il valore più alto di V^* .

Tabella 1. Valori dell'indice V^* attribuiti per periodo e materiale costruttivo e valori dei modificatori ΔV

Muratura	V^*	ΔV_m							
		Manutenzione		Altezza edificio			Edificio Aggregato		Presenza
		buona	cattiva	Bassa	media	alta	no	si	Pilotis
< 1919	0.79	0	0.08	-0.08	0	0.08	-0.04	0.04	-
1919-1945	0.73	0	0.06	-0.08	0	0.08	-0.04	0.04	-
1945-1971	0.69	0	0.04	-0.08	0	0.08	-0.04	0.04	-
>1971	0.65	0	0.04	-0.08	0	0.08	-0.04	0.04	-

Cemento Armato	V^*	ΔV_m							
		Manutenzione		Altezza edificio			Edificio Aggregato		Presenza
		buona	cattiva	Bassa	media	alta	no	si	Pilotis
< 1971	0.59	0	0.04	-0.03	0	0.03	0	0.04	0.12
1971-1981	0.55	0	0.04	-0.03	0	0.03	0	0.04	0.12
>1981	0.42	0	0.04	-0.03	0	0.03	0	0	0.06

Fonte: Lagomarsino & Giovinazzi, 2006

Secondo il metodo macrosismico, la correlazione tra l'input sismico e il danno fisico atteso è espressa in termini di una curva di vulnerabilità, descritta da una funzione analitica chiusa:

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25V - 13.1}{Q} \right) \right] \quad [5]$$

dove:

- V è il valore dell'indice di vulnerabilità calcolato come $V = V^* + \Delta V_m + \Delta V_s$;
- Q è l'indice di duttilità assunto pari a $Q = 2,3$ (Lagomarsino & Giovinazzi, 2006);
- I è il rischio sismico descritto come parametro continuo;
- μ_D è il danno medio atteso per il singolo edificio o gruppo di edifici, descritto secondo la scala di danno definita dalla scala macrosismica europea, EMS-98 (Grünthal et al., 1998).

La stima dei danni fisici agli edifici utilizza anche i dati relativi alla popolazione residente e all'occupazione degli edifici (ricavati dalle summenzionate banche dati ISTAT).

3 Il caso di studio dell'Aquila

3.1 L'evento del 3 Aprile 2009

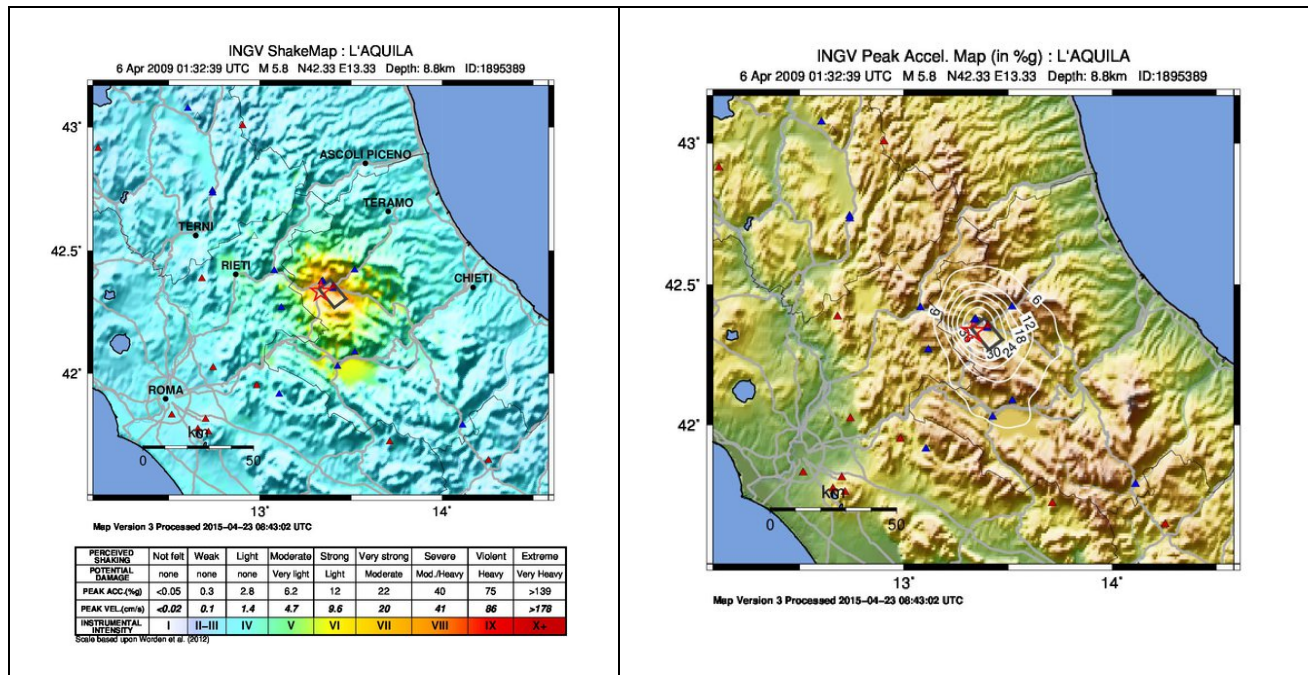
Il 6 aprile 2009, alle 3:32 (ora italiana), “una scossa di magnitudo Mw 6.1 (Bollettino Sismico Italiano, BSI), magnitudo stimata Mw 6.3 nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15) e nel Catalogo European-Mediterranean Regional Centroid-Moment Tensors (RCMT), colpisce una vasta area della provincia dell'Aquila e viene avvertita in tutta l'Italia centrale. La scossa principale si verifica dopo alcuni mesi di scosse di energia moderata, molte delle quali avvertite dalla popolazione. Il terremoto provoca danni gravissimi: 309 vittime, 1.600 feriti e oltre 70.000 sfollati” (INGV Terremoti, 2019).

In Figura 4 sono riportate le mappe elaborate dall'INGV¹² per la stima dei parametri di scuotimento del suolo sulla base dei dati registrati dai sismometri e dagli accelerometri e delle successive interpolazioni basate sulle conoscenze sismologiche (<http://shakemap.rm.ingv.it/>). La stella rossa individua l'epicentro del terremoto avvenuto il 6 Aprile 2009. I triangoli rossi indicano le stazioni accelerometriche e velocimetriche

¹² <http://cnt.rm.ingv.it/event/1895389>

dell'INGV e i triangoli blu le stazioni accelerometriche del Dipartimento della Protezione Civile (DPC). Nella mappa di sinistra è riportata la distribuzione delle intensità strumentali (scala utilizzata: MMI - *Modified Mercalli Intensity*) e si basa sui valori registrati di effettivo scuotimento del suolo in termini di accelerazione e velocità del suolo. La mappa di destra riporta la distribuzione delle accelerazioni di picco (PGA) registrate, espresse in percentuale di g , l'accelerazione di gravità ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

Figura 4. Mappe di scuotimento: a sinistra, la distribuzione delle intensità strumentali (MMI); a destra, la distribuzione delle accelerazioni di picco (PGA) registrate (fonte: INGV, <http://shakemap.rm.ingv.it/>)



“Gli effetti più gravi sono stati osservati nel centro storico dell’Aquila, a Onna e nelle località di Castelnuovo, Sant’Eusanio Forconese, San Gregorio, Tempera e Villa Sant’Angelo. Il danneggiamento nel comune dell’Aquila è molto diversificato, data la sua estensione, le caratteristiche eterogenee del patrimonio edilizio e la risposta sismica locale” (INGV Terremoti, 2019).

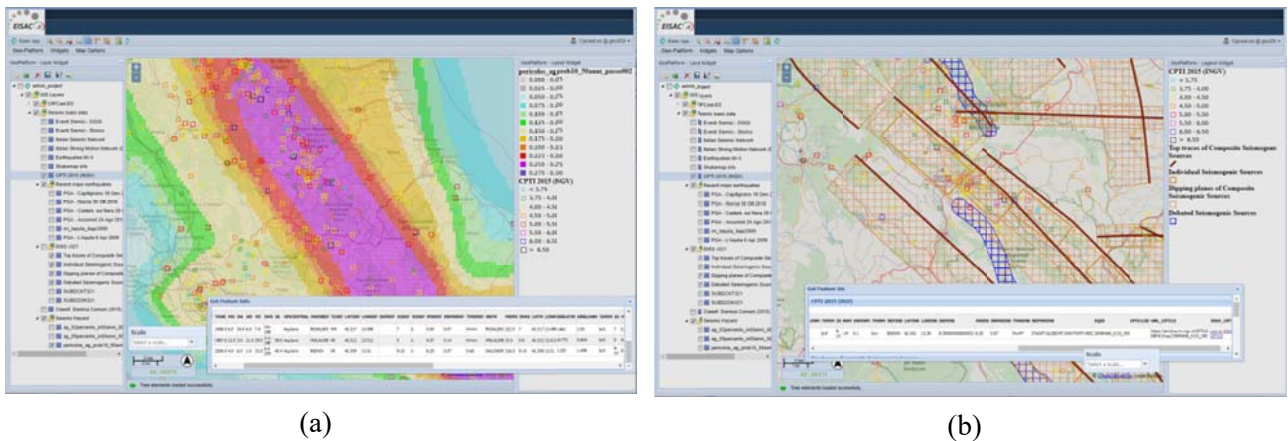
3.2 L’analisi mediante CIPCast-ES

Come descritto nel Paragrafo 2.4, 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. Tenendo in considerazione l’approccio implementativo adottato, l’interfaccia WebGIS offre una serie di strumenti di dialogo (i cosiddetti “Widget”) integrati nel layout per l’inserimento dei parametri di input e l’esecuzione di simulazioni: questi ultimi vengono eseguiti lato server (per cui non vi sono oneri computazionali di tipo informatico sul computer dell’utente) ed i loro risultati vengono automaticamente caricati/aggiornati nel visualizzatore geografico. Riassumendo, mediante l’interfaccia geografica di CIPCast-ES è possibile:

- la visualizzazione geografica di dati di base, mappe edificato, serie storiche eventi sismici, dati e mappe della pericolosità sismica (Figura 5-a) e della zonazione sismogenetica (Figura 5-b), etc.;
- l’inserimento dei parametri di input e la definizione dell’approccio simulativo;
- l’esecuzione della simulazione di un terremoto e la visualizzazione dello scenario di danneggiamento atteso sull’edificato e delle conseguenze sulla popolazione;

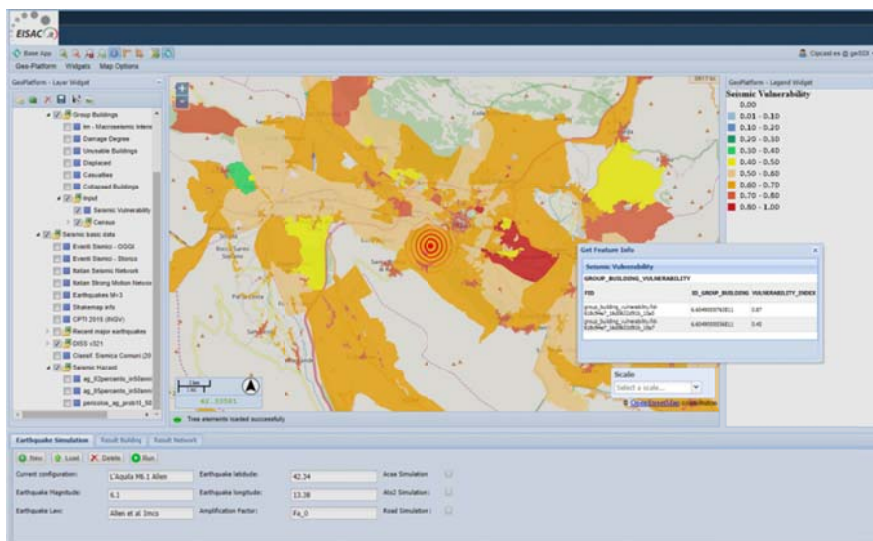
- l'esecuzione della simulazione di un terremoto e la visualizzazione dello scenario di danno sui componenti di una IC e la consultazione interattiva dei risultati (questo tipo di simulazione non è stato applicato in questo caso di studio).

Figura 5. CIPCast-ES: visualizzazione integrata nel simulatore di serie storiche eventi sismici, mappe della pericolosità sismica (a) e zonazione sismogenetica (b)



Pertanto, sulla base dell'approccio descritto nel Paragrafo 2.5, per testare l'utilizzo del simulatore sismico CIPCast-ES è stato definito un caso di studio basato sulla simulazione di un evento realmente accaduto e sulla valutazione dei risultati ottenuti in funzione di una calibrazione ed ottimizzazione del simulatore stesso. Come caso di studio è stato, appunto, individuato quello relativo al sisma dell'Aquila del 6 Aprile 2009, utilizzando come dati di input per l'evento (localizzazione epicentro, ipocentro e magnitudo) quelli descritti nel precedente Paragrafo 3.1, mentre per la stima della vulnerabilità dell'edificio si è fatto riferimento a parametri aggregati per gruppi di edifici sulla base delle sezioni censuarie ISTAT.

Figura 6. Mappa di vulnerabilità sismica dell'edificio per l'area dell'Aquila, valutata per gli edifici raggruppati su base di sezione censuaria secondo l'approccio definito da (Lagomarsino & Giovinazzi, 2006)



Sono state, pertanto, eseguite tre differenti simulazioni utilizzando le tre GMPE (Eq. 1-3) implementate in CIPCast-ES e descritte nel Paragrafo 2.5.2. In tal modo, al termine di ciascuna simulazione, sono stati ottenuti e mappati una serie di indicatori, di seguito riportati:

- Mappa di scuotimento in funzione dell'intensità macrosismica I (Figura 7);

- Mappa del danno medio (secondo l'Eq. [5], Lagomarsino & Giovinazzi, 2006) e dei livelli di danneggiamento (EME98, D0÷D5) per i gruppi di edifici all'interno di ciascuna sezione censuaria, per ciascuna delle GMPE applicate (Figura 8);

Stima del numero di edifici crollati e/o inagibili (

- Figura 9);
- Popolazione: possibili sfollati e potenziali vittime.

Figura 7. Mappa di scuotimenti in funzione dell'intensità macrosismica I ottenuta come risultato della simulazione effettuata applicando la GMPE [2] (Pasolini et al., 2008)



Figura 8. Mappa dei livelli di danneggiamento secondo la EMS98 (D0÷D5) per i gruppi di edifici all'interno di ciascuna sezione censuaria, per ciascuna delle tre GMPE applicate nelle simulazioni

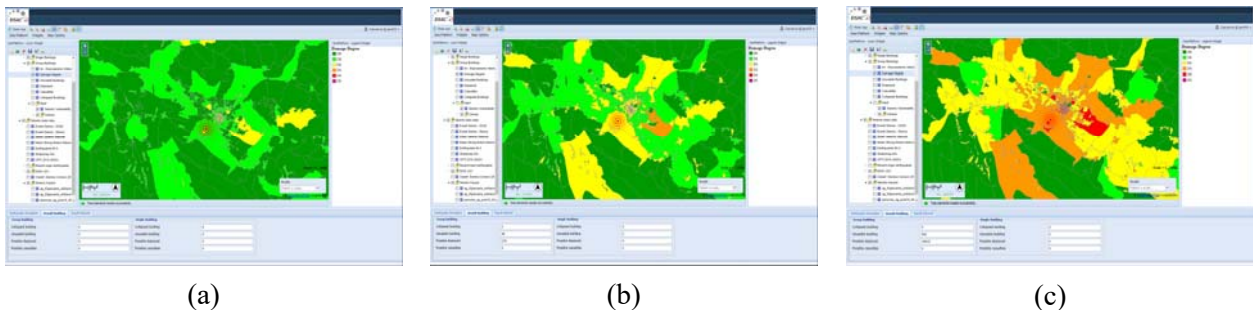


Figura 9. Mappa della localizzazione delle aree censuarie al cui interno verrebbero a trovarsi edifici crollati per effetto del sisma simulato (simulazione secondo la Eq. [2])

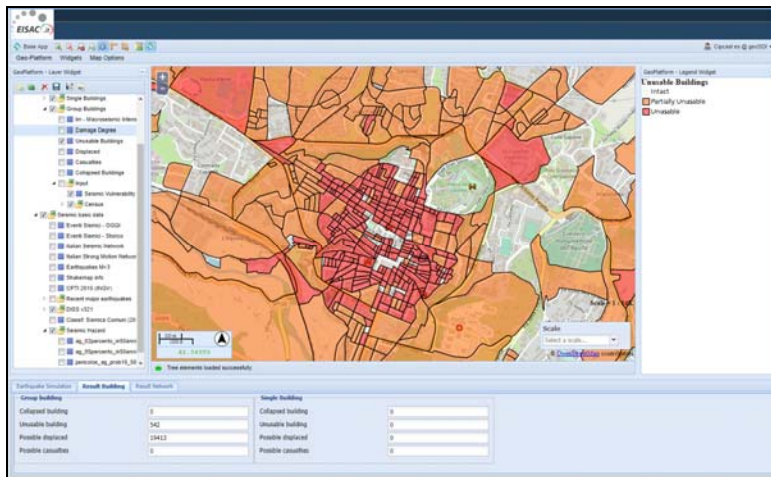
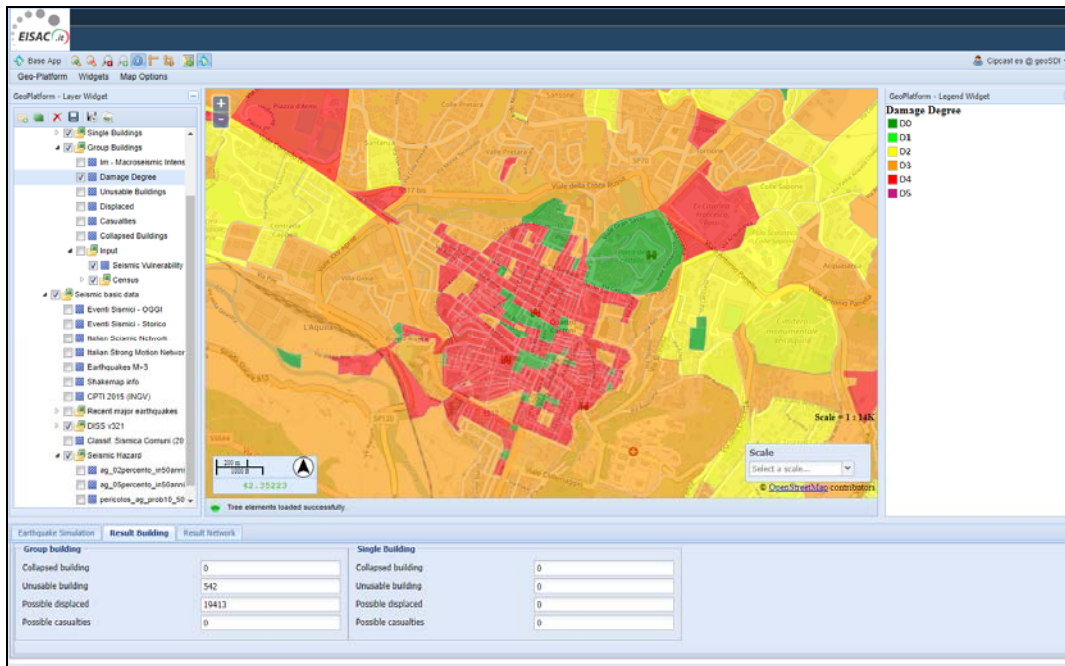


Figura 10. Risultato della simulazione secondo la Eq. [2] (Pasolini et al., 2008): particolare dei livelli di danno atteso nell'area urbana dell'Aquila



Dai risultati ottenuti, allo stato attuale di avanzamento delle attività di ricerca e sulla base delle prime analisi effettuate, emerge una sottostima del danno atteso per gruppo di edifici, dovuta essenzialmente alla difficoltà di valutare correttamente la vulnerabilità sismica sulla base di pochi parametri e alla necessità di doverli ulteriormente mediare e aggregare a livello di sezione censuaria, la cui eterogeneità costruttiva viene a perdersi per effetto di tale raggruppamento. In ogni caso, tra le tre GMPE attualmente implementate in CIPCast-ES, quella di Pasolini et al. (Eq. 2), risulta comunque quella che approssima in modo migliore la stima del danno medio atteso (Figura 10).

Per poter ottenere risultati migliori e più affidabili si sta già lavorando su vari fronti: (i) la caratterizzazione del patrimonio edilizio a livello di singolo edificio; (ii) il raffinamento del metodo per la stima della vulnerabilità, tenendo in considerazione altri parametri caratteristici come le tecniche locali di costruzione; (iii) l'utilizzo di un approccio probabilistico basato sulla PGA; (iv) il tenere conto degli effetti locali e di sito tra i parametri della simulazione.

3.3 Conclusioni e sviluppi futuri

Alla luce di quanto descritto nel presente articolo, la sicurezza del territorio e degli (edificato sistema elettrico, altre reti tecnologiche, sistema industriale, infrastrutture strategiche) in esso contenuti rappresenta un fattore di estrema rilevanza. La forma più avanzata di protezione verso tutti questi sistemi non è più tanto il rendere tali sistemi invulnerabili quanto piuttosto migliorarne la “resilienza” (ossia la loro capacità di rispondere efficacemente a qualunque “perturbazione” ne riduca il funzionamento e di ripristinare rapidamente situazioni che soddisfino le esigenze dei cittadini). Una città resiliente è un sistema urbano che non si limita ad adeguarsi alle “perturbazioni” che la interessano (eventi meteo estremi, terremoti, cambiamenti climatici, etc.), ma che riesce ad esprimere una capacità auto-adattiva, vale a dire in relazione alle molteplici sorgenti di perturbazione.

Nello spirito di tale approccio, è stata concepita e sviluppata la Piattaforma DSS CIPCast, descritta nel presente articolo. CIPCast permette la condivisione delle informazioni territoriali ed ambientali dell'area di

interesse, il monitoraggio e la sicurezza delle strutture e delle infrastrutture, nonché la valutazione di scenari di rischio e la gestione delle emergenze. Esso è basato sulla disponibilità (acquisizione, integrazione ed elaborazione) di una serie di elementi: a) dati dal campo, dati geografici ed informazioni territoriali, dati acquisiti da soggetti terzi, etc.; b) strumenti ed architetture per l'analisi di tali dati (sia in *real-time* che in modalità asincrona) e per l'archiviazione; c) sistemi di analisi per la modellazione e/o simulazione (analisi della vulnerabilità e del rischio, scenari di danno, etc.); d) interfaccia geografica interattiva (WebGIS) per il supporto decisionale.

Nel complesso, grazie alle funzionalità implementate a tutt'oggi nella Piattaforma CIPCast, è possibile effettuare una valutazione degli impatti dovuti ad eventi naturali e stimare le eventuali conseguenze, sia partendo da dati di contesto reali, sia attraverso la predisposizione di scenari simulati: quest'ultimo aspetto è possibile grazie al modulo CIPCast-ES, un avanzato modello per la simulazione dei terremoti per il calcolo del danneggiamento dell'edificato e delle infrastrutture critiche.

Per quanto riguarda gli sviluppi, futuri, CIPCast verrà ulteriormente arricchito da ulteriori funzionalità (analisi effetti a cascata e conseguenze, interdipendenze tra reti tecnologiche, etc.) e la base di dati sarà incrementata mediante l'integrazione di ulteriori dati provenienti dal monitoraggio ambientale e relativi ad altre reti tecnologiche e IC. Inoltre, si punterà all'utilizzo di dati di *remote sensing* (immagini satellitari e da drone) per migliorare la valutazione delle caratteristiche del territorio (in particolare, per tenere conto del rischio di frane, della subsidenza, etc.).

L'obiettivo sarà quello di migliorare la capacità di supporto e di gestione delle situazioni anche emergenziali (*situational awareness*) nelle aree urbane da parte degli utenti finali (ad esempio, la Pubblica Amministrazione). Di converso, la disponibilità di una imponente mole di dati del sistema CIPCast, potrà in prospettiva consentire alla P.A. di fornire ai cittadini una gran quantità di informazioni in tempo reale, allo scopo di migliorare anche le scelte e le decisioni dei cittadini nella gestione delle proprie attività.

Infine, è opportuno segnalare che lo sviluppo ulteriore della piattaforma CIPCast, delle sue applicazioni e dei suoi servizi passerà attraverso l'iniziativa EISAC.it¹³ (*European Infrastructure Simulation and Analysis Centre*), il primo nodo di una costellazione di centri di competenza che stanno sorgendo in Europa per la sicurezza delle infrastrutture strategiche, nato in Italia grazie a un Accordo di Programma tra ENEA e INGV. EISAC.it, pertanto, effettuerà il *deployment* operativo in Italia di CIPCast e dei futuri sviluppi, curandone la persistenza dei servizi e l'erogazione verso gli utenti finali.

Bibliografia

- Allen T.I., Wald D.J., Worden C.B.: Intensity attenuation for active crustal regions. *J Seismol* 16:409–433 (2012)
- Bindi, D., Luzi, L., Pacor, F., Sabetta, F., Massa, M.: Towards a new reference ground motion prediction equation for Italy: update of the Sabetta–Pugliese (1996). *Bull. Earthq. Eng.* 7, 591–608 (2009).
- 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).
- 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*. ICCSA 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10406. pp. 399–414. Springer, Cham (2017).
- Grünthal G, ed: *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*. Luxembourg: Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie. (Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie n. 15) (1998).

¹³ <http://www.eisac.it/>

- INGV Terremoti: Ricordando il terremoto del 6 aprile 2009 a L'Aquila <https://ingvterremoti.wordpress.com/> (ultimo accesso effettuato il 2 settembre 2019)
- Faccioli E, Cauzzi C; Macroseismic intensities for seismic scenarios estimated from instrumentally based correlations. In: Proceedings of the 1st European conference on earthquake engineering and seismology ECEES, pp. 1-10 (2006).
- Lagomarsino S, Giovinazzi S: Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *B Earthq Eng* 4:415-443 (2006)
- 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).
- 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).
- OOFIMS - Object-Oriented Framework for Infrastructure Modelling and Simulation, <https://sites.google.com/a/uniroma1.it/oofims/>
- Pollino, M., Modica, G.: Free web mapping tools to characterise landscape dynamics and to favour e-participation. (2013).
- Pasolini C, Albarello D, Gasperini P, D'Amico V, Lolli B: The attenuation of seismic intensity in Italy, part II: Modeling and validation. *Bull Seismol Soc Am* 98:692-708 (2008).
- 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).
- Steiniger, S., Hunter, A.J.S.: Free and Open Source GIS Software for Building a Spatial Data Infrastructure. In: Bocher, E. and Neteler, M. (eds.) Geospatial Free and Open Source Software in the 21st Century. pp. 247–261. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2011).
- Tofani A, Di Pietro A, Lavalle L, Pollino M, R. V: Supporting decision makers in crisis management involving interdependent critical infrastructures. In: The International Emergency Management Society (TIEMS) 2015. TIEMS, Rome (2015)