

Seminario «Vulnerabilità Sismica degli Edifici: Stato dell'arte e nuove proposte di soluzione»

Velletri, 20 Aprile 2016

SISMICITÀ E VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI

UN NUOVO STRUMENTO PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI TERREMOTI IN AMBIENTI URBANI COMPLESSI

Maurizio Pollino (ENEA – DTE-SEN-APIC)

maurizio.pollino@enea.it



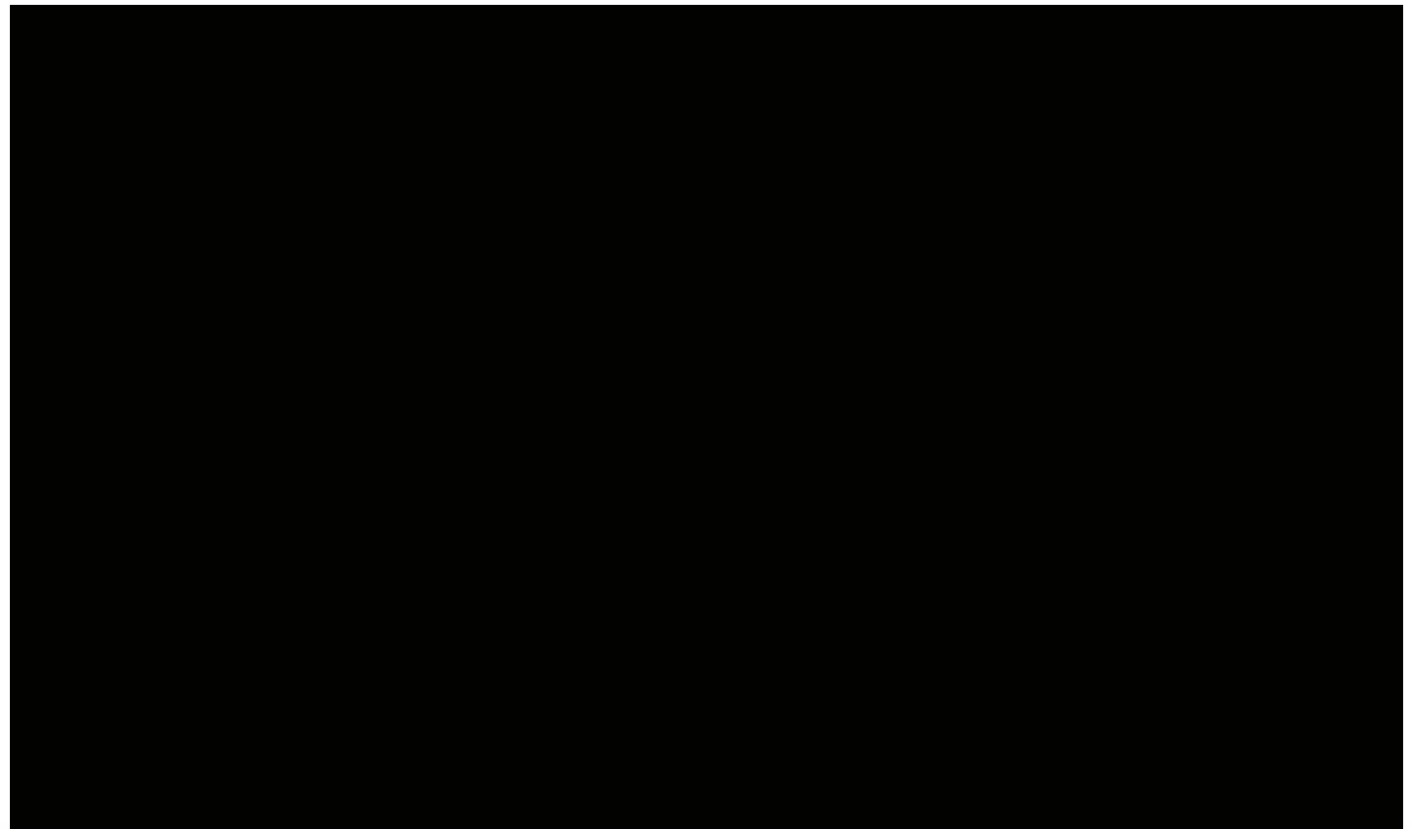
I terremoti

- Fin dall'antichità i terremoti sono stati riconosciuti dall'uomo come una delle peggiori catastrofi naturali, a causa del forte impatto distruttivo sugli ambienti naturali ed antropici, ma anche per la loro quasi totale imprevedibilità.



In Europa l'attività sismica è abbastanza diffusa, soprattutto nei paesi meridionali quali Portogallo, Italia, ex- Jugoslavia, Romania, Grecia e Turchia dove da sempre si registrano i terremoti più devastanti. Le principali zone sismogenetiche (cioè le zone responsabili dell'attività sismica) sono localizzate in corrispondenza delle maggiori catene montuose: i Pirenei, le Alpi, gli Appennini, i Carpazi, i Balcani, il Pindo e il Tauro.

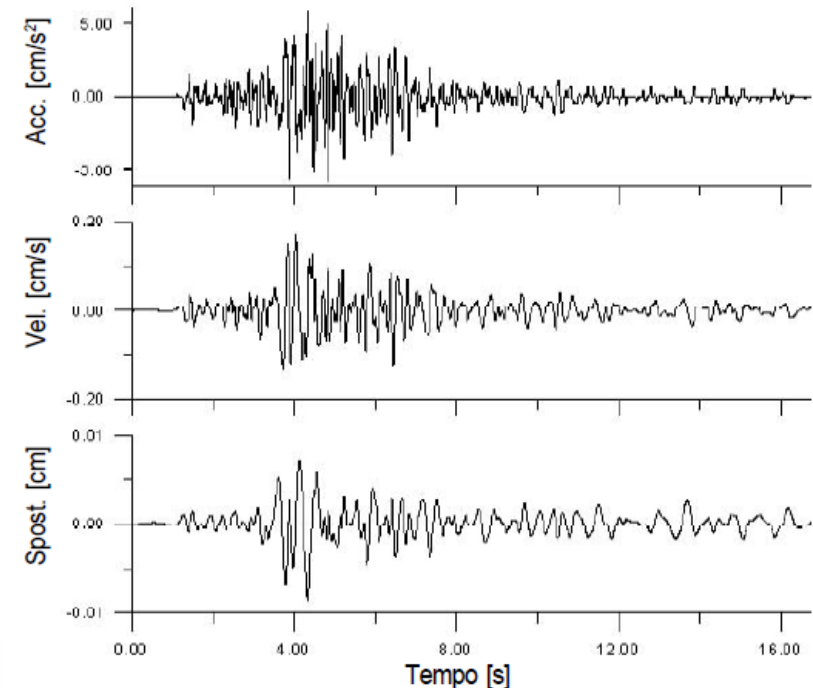
Raramente in Europa si hanno terremoti di magnitudo notevole (> 7), ma gli eventi di media magnitudo (4-6) sono abbastanza frequenti e causano spesso perdite consistenti, poiché il patrimonio edilizio è costituito per lo più da costruzioni storiche o comunque realizzate senza accorgimenti antisismici.



Come si misura un terremoto

- Il terremoto può essere misurato per mezzo di diversi criteri, a seconda del punto di vista sotto cui interessa analizzare il fenomeno.
- Una caratterizzazione distingue tra le cosiddette misure intrinseche del terremoto (**magnitudo**, energia meccanica irradiata) e quelle estrinseche (accelerazione del suolo, **intensità macrosismica**), cioè dipendenti oltre che dall'evento sismico anche dal sito preso di volta in volta in esame.

La **magnitudo** è una misura oggettiva dell'energia meccanica rilasciata durante un terremoto, che si basa sull'ampiezza massima dello scuotimento del suolo in un punto a una certa distanza dall'epicentro del sisma. La magnitudo è un parametro indipendente dagli effetti che il terremoto provoca sull'uomo e sulle costruzioni. La scala Richter (1935) consente di confrontare tra loro eventi sismici avvenuti nelle diverse parti del mondo ed in tempi differenti.



Come si misura un terremoto

Una misura alternativa per la valutazione della severità del terremoto è costituita dall'**intensità macrosismica**, che consiste nella osservazione degli effetti provocati da un terremoto su determinati "sensori" quali le persone, gli edifici e il territorio.

L'utilizzo dell'intensità macrosismica risulta molto vantaggioso in quanto per rilevare gli effetti del terremoto è sufficiente la semplice osservazione.

Inoltre le scale macrosismiche consentono di associare un valore di intensità anche ai terremoti del passato, laddove siano disponibili documenti storici che descrivono l'impatto del sisma.

GRADI DI INTENSITA' DELLA SCALA EMS-98

I	NON SENTITO
II	DEBOLMENTE SENTITO
III	LIEVE
IV	AMPIAMENTE OSSERVATO
V	FORTE
VI	LEGGERMENTE DANNEGGIANTE
VII	DANNEGGIANTE
VIII	FORTEMENTE DANNEGGIANTE
IX	DISTRUTTIVO
X	MOLTO DISTRUTTIVO
XI	DEVASTANTE
XII	COMPLETAMENTE DEVASTANTE

Gradi di Danno per gli edifici in muratura secondo la scala EMS-98.

Grado 1:
Danno da trascurabile a leggero



Grado 2:
Danno moderato



Grado 3:
Danno da sostanziale a pesante



Grado 4:
Danno molto pesante



Grado 5:
Distruzione



- Con il termine Rischio Sismico si intende una stima delle perdite complessive (vittime, feriti, danni economici e sociali) causate da un terremoto di data intensità in una determinata area.
- Il rischio dipende fortemente dai rapporti tra il sistema geofisico e quello umano, ed è correlato alla capacità che quest'ultimo ha di assorbire gli effetti di una calamità naturale, nel caso specifico il terremoto.
- A definire il rischio sismico concorrono tre fattori:
 - la pericolosità
 - la vulnerabilità
 - l'esposizione



La pericolosità sismica di un'area è la probabilità che, in un certo intervallo di tempo, essa sia interessata da forti terremoti che possono produrre danni.

La vulnerabilità di una struttura è la sua tendenza a subire un danno in seguito a un terremoto.

Prima dell'evento:
Quantità e qualità dei beni esposti.
Dopo l'evento:
L'esposizione esprime il valore delle perdite causate dal terremoto: economiche, artistiche, culturali, morti, feriti e senzatetto.

Analisi spaziali (GIS)

Rischio Sismico

$$R = P \cdot V \cdot E$$

Fattori che caratterizzano il rischio sismico in contesti urbani complessi

Il rischio sismico dipende in larga misura dalla densità di popolazione, dalla qualità delle costruzioni e dalla preparazione alle emergenze da parte delle autorità e della stessa popolazione.

I livelli di rischio possono essere diversi a seconda delle situazioni:

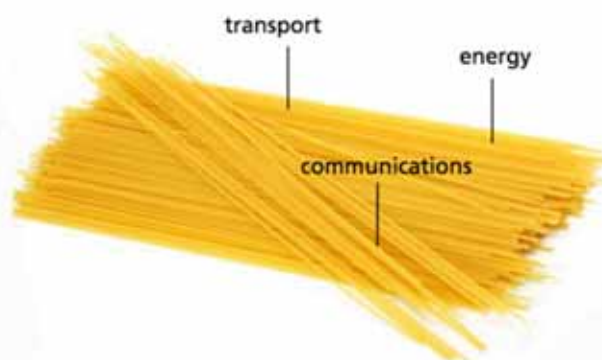
- bassa e modesta pericolosità accoppiata ad elevata vulnerabilità (come accade di frequente in Europa);
- elevata pericolosità associata a bassa vulnerabilità (come si rileva spesso in Giappone o negli Stati Uniti).

Multi-Hazard

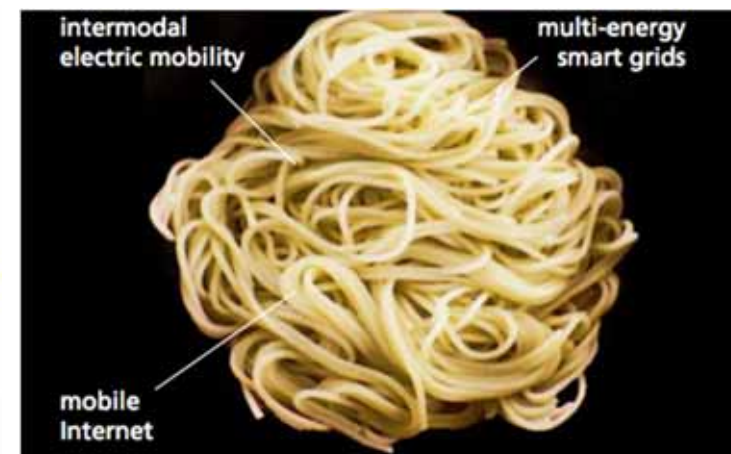
Vulnerabilità

Esposizione

yesterday...



Pictures courtesy of Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart



Today and Tomorrow



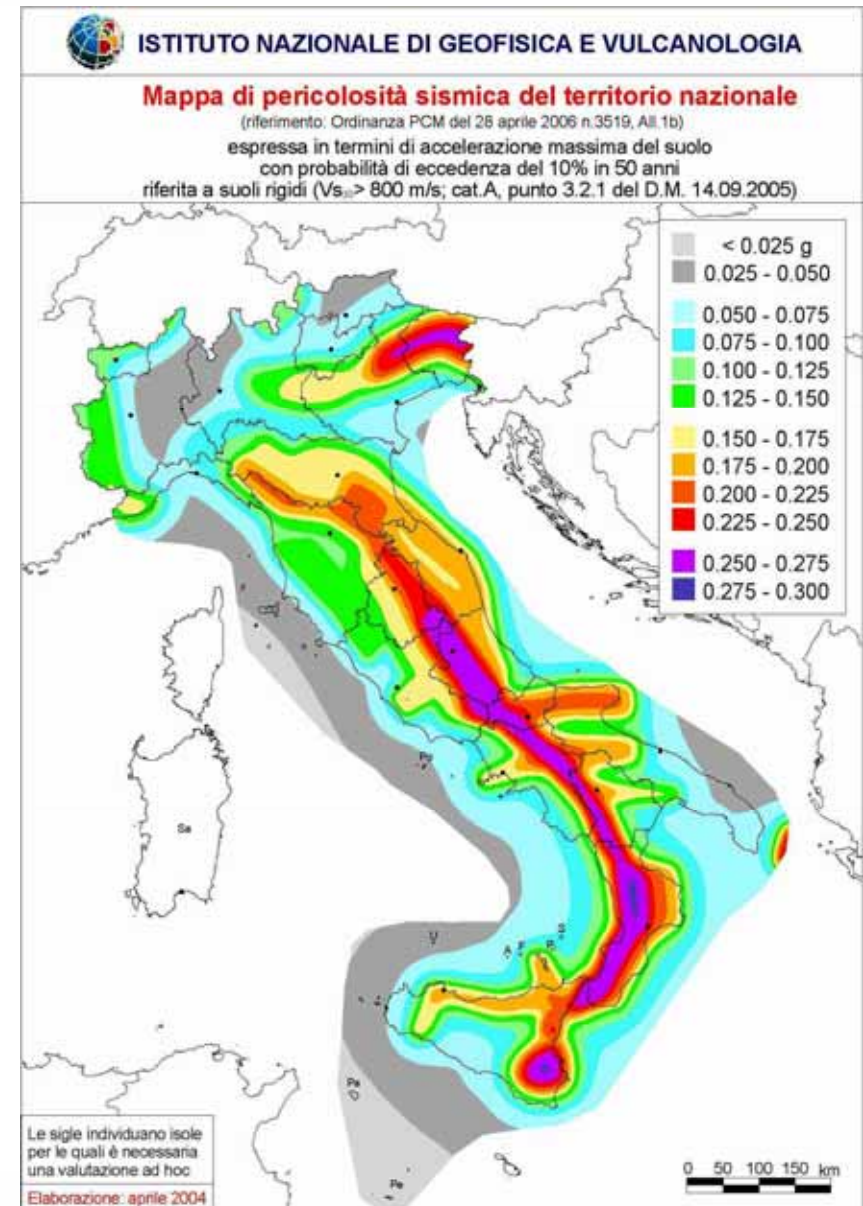
**Analisi spaziali
(GIS)**

Rischio Sismico

- La stima della pericolosità (o hazard) costituisce una valutazione della severità dell'azione sismica che si può attendere in una determinata zona ed entro un dato periodo di tempo.
- Nei confronti della localizzazione degli effetti sismici, la pericolosità può essere espressa alla sorgente (pericolosità regionale: dipende dalle caratteristiche sismogenetiche) oppure in situ (pericolosità locale: legata agli effetti sismici locali).

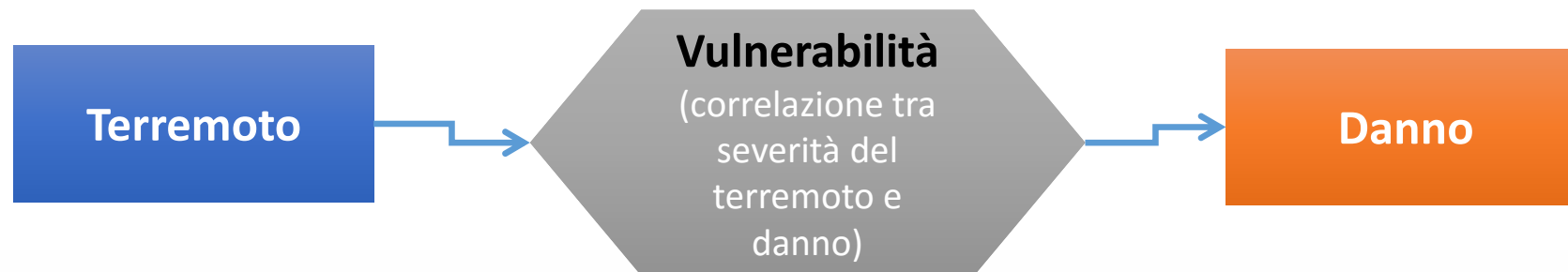
La Pericolosità Sismica

- Per valutare la pericolosità sismica di un luogo serve innanzitutto conoscere la relativa “storia sismica”, o almeno disporre di una lista dei terremoti dell’area la più completa ed estesa nel tempo possibile.
- Quindi, occorre associare i terremoti avvenuti nel passato alle informazioni geologiche disponibili (zonazione sismogenetica: individuare le possibili sorgenti sismiche).
- Infine si simula la propagazione dei terremoti.
- Poiché non si tratta di eventi sicuri ma soltanto possibili, nel caso della pericolosità si parla di stima probabilistica.
- Per questo non si indica solo quanto dovrebbe essere forte il terremoto che ci si può aspettare, ma anche la probabilità che quel livello di scuotimento possa venire superato in un certo periodo di tempo.



- In una regione esposta al rischio sismico gli elementi che concorrono a definire l'esposizione sono molteplici: occorre analizzare la distribuzione, la struttura e le condizioni economiche della popolazione insediata, la quantità e le funzioni del patrimonio edilizio residenziale, pubblico e produttivo, il sistema delle infrastrutture, l'insieme delle attività economiche presenti e le relazioni dell'area esaminata con quelle circostanti.

- La vulnerabilità sismica rappresenta la propensione di persone, beni o attività a subire danni in seguito ad un determinato evento sismico.
- Essa misura da una parte la perdita o la riduzione di efficienza, dall'altra la capacità residua a svolgere e assicurare le funzioni che l'elemento considerato normalmente esplica a regime.
- Per un'analisi completa della vulnerabilità si pone il problema di individuare non solo i singoli elementi che possono collassare sotto l'effetto del sisma, ma anche di individuare e quantificare gli effetti che il loro collasso o danneggiamento determinano sulla funzionalità di altri elementi.



- In generale i danni causati dai sismi hanno mostrato come alcune tipologie di costruzioni tendano a comportarsi peggio di altre, e dunque ad essere più vulnerabili.
- Gli edifici in muratura, ad esempio, generalmente subiscono conseguenze più gravi rispetto alle strutture in calcestruzzo armato, in acciaio o in legno.
- La risposta della struttura al terremoto è inoltre influenzata da svariati fattori, quali ad esempio la regolarità in pianta e in altezza, i particolari strutturali, adeguati collegamenti tra gli elementi strutturali, presenza di catene, cordoli, il tipo di fondazioni, lo stato di manutenzione, l'interazione tra edifici adiacenti, ecc.

Vulnerabilità sismica ↑

TIPOLOGIE EDILIZIE

Red	Muratura di pietre grezze (pietrame, ciottoli, mista)
	Case in terra
	Muratura di pietre sbazzate o a spacco
	Muratura di mattoni / blocchetti di cls con solai flessibili
Orange	Telai in c.a. senza progettazione antisismica
	Muratura di pietra squadrata
	Muratura di mattoni con solai in c.a.
	Pareti di taglio in c.a. senza progettazione antisismica
Yellow	Telai in c.a. con livello medio di progetto antisismico
	Muratura rinforzata
	Strutture in legno
Green	Pareti di taglio in c.a. con livello medio di progetto antisismico
	Telai in c.a. con livello elevato di progetto antisismico
	Strutture in acciaio
Green	Pareti di taglio in c.a. con livello elevato di progetto antisismico

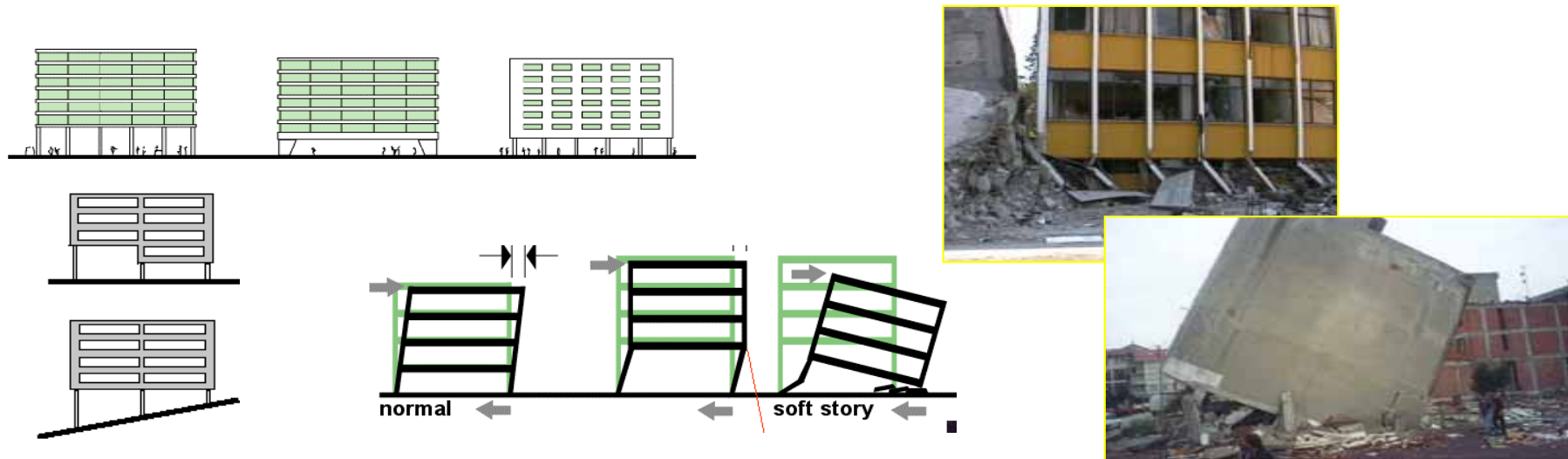
- Possibili azioni rispetto alla **Pericolosità**:
 - Opportuna scelta dei siti dove realizzare un insediamento, costruire un nuovo edificio, installare un impianto produttivo.
 - Utilizzo della classificazione sismica e della microzonazione come strumenti di prevenzione nella pianificazione urbanistica e nella progettazione di strutture conformi alla peculiarità del territorio.

- Possibili azioni rispetto all'**Esposizione**:
 - Eliminare, ridurre, controllare la quantità e la qualità degli elementi esposti.

- Possibili azioni rispetto alla **Vulnerabilità**:
 - Migliorare la capacità dell'elemento esposto a resistere al terremoto.
 - La progettazione antisismica delle nuove opere ingegneristiche e l'adeguamento sismico del patrimonio edilizio esistente sono l'obiettivo cardine della prevenzione sismica.
 - Esse sono guidate da normative a livello europeo, nazionale e regionale e devono confrontarsi con i vincoli urbanistici e lo stato dell'arte.

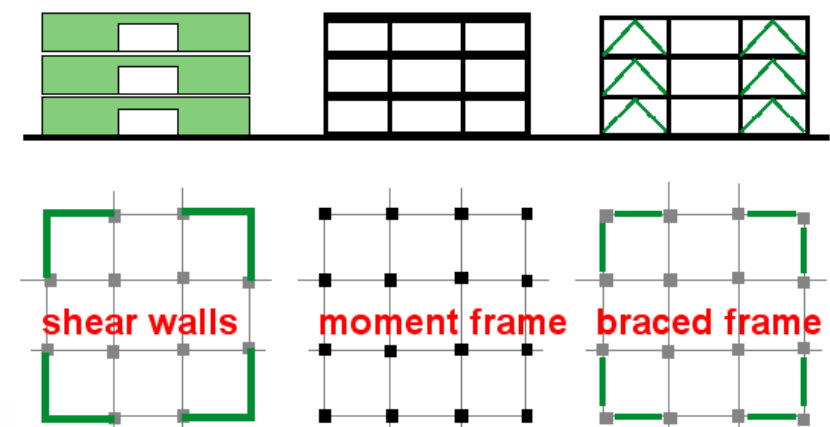
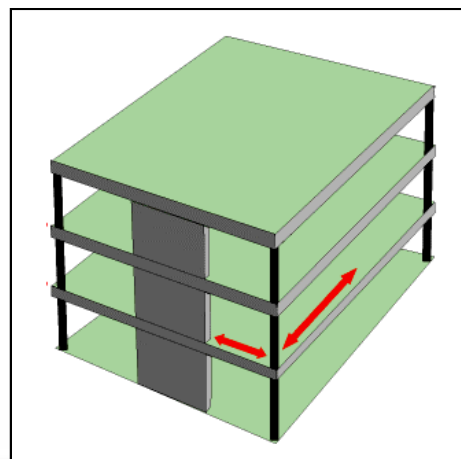
Un modello macrosismico-meccanico per la valutazione degli impatti su edifici

Per la stima del danno atteso a seguito dell'azione sismica prevista dall'analisi di pericolosità si possono definire de cosiddetti **modelli di vulnerabilità**.

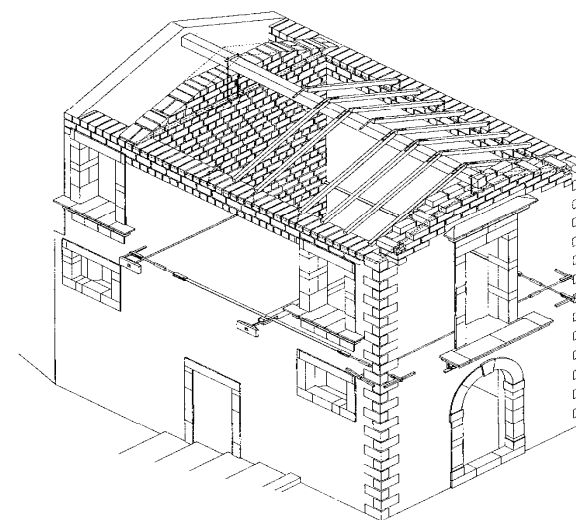
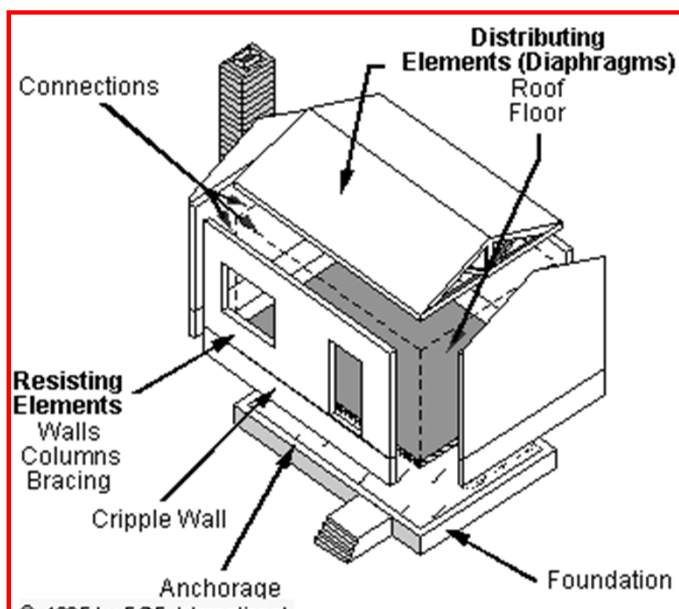
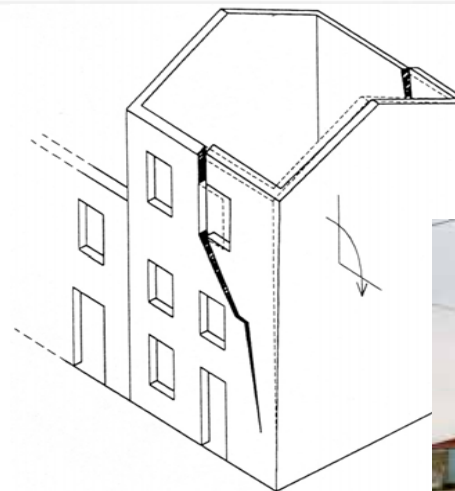
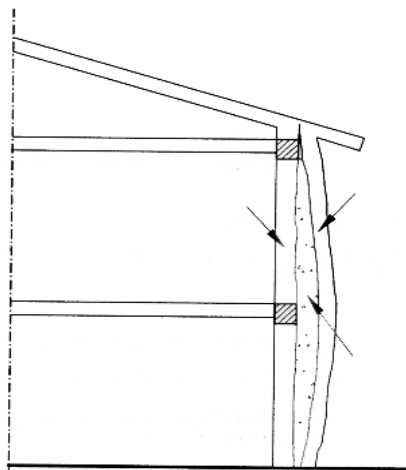


Le tendenze più recenti nel campo dell'analisi di rischio sismico e di scenario si rivolgono a modelli meccanici semplificati.

Pictures courtesy of : Prof. Sonia Giovinazzi (University of Canterbury)



Un modello macrosismico-meccanico per la valutazione degli impatti su edifici



*Pictures courtesy of : Prof. Sonia Giovinazzi
(University of Canterbury)*

Un modello macrosismico-meccanico per la valutazione degli impatti su edifici



Vulnerabilità: è misurata in termini di un indice di vulnerabilità V e di un indice di duttilità Q, entrambi valutati tenendo conto della tipologia e delle caratteristiche costruttive degli edifici

Pericolosità: è descritta facendo riferimento alla scala di intensità macrosismica EMS-98, considerandola come un parametro continuo valutato rispetto ad una condizione di suolo rigido.

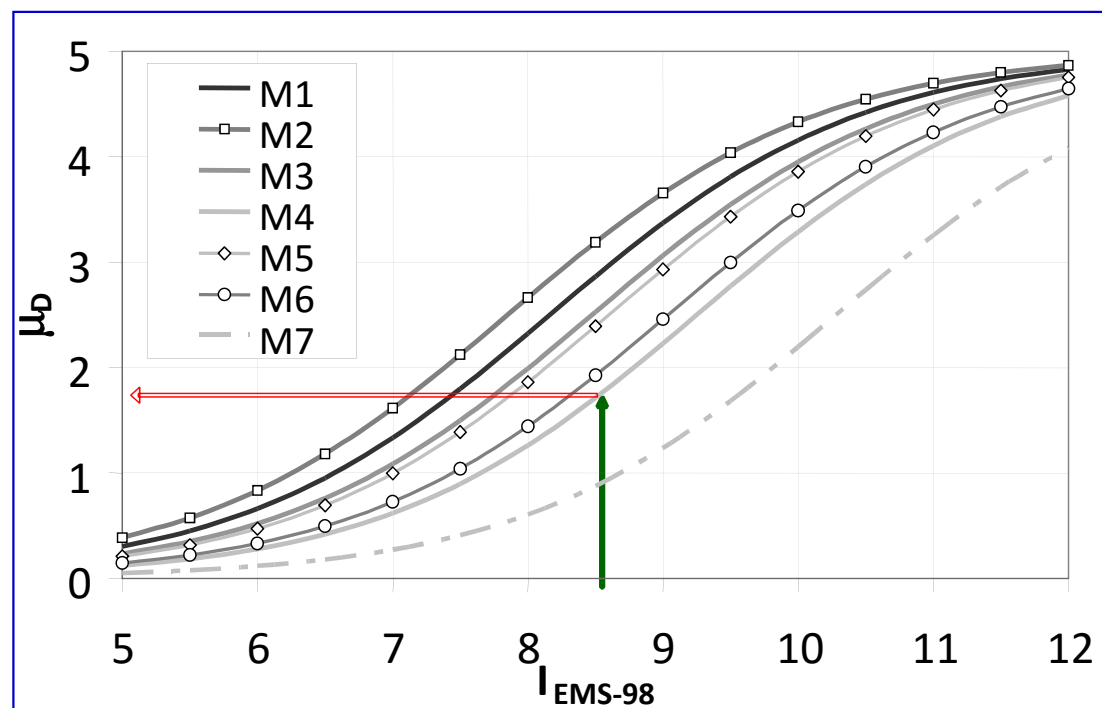
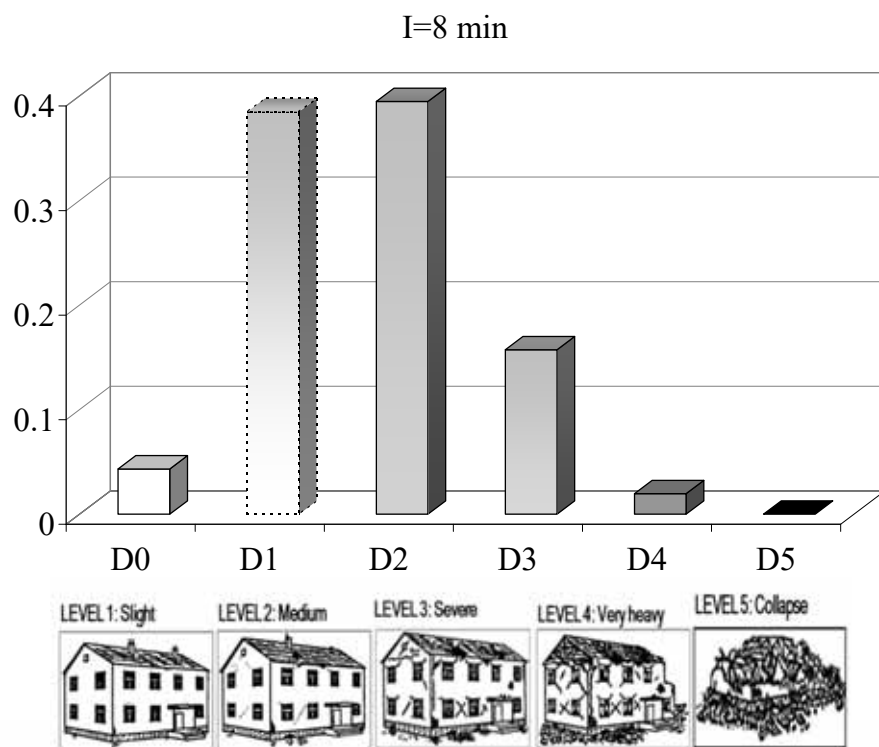
Effetti di Amplificazione: dovuti per effetto delle condizioni geolitologiche del suolo, sono tenuti in considerazione nel calcolo dell'indice di vulnerabilità V.

Tipologie		Descrizione
Muratura	M1	Pietra grezza (ciottoli, pietrame, mista)
	M2	Case in terra o con mattoni crudi
	M3	Pietre sbozzate o a spacco
	M4	Pietre squadrate
	M5	Mattoni
	M6	Muratura non armata (laterizi o blocchi di cemento) con solai in c.a.
	M7	Muratura armata o confinata
	M8	Costruzioni antiche sottoposte ad interventi di rinforzo complessivo
Cemento Armato	RC1	Telaio in c.a. (in assenza di progetto antisismico)
	RC2	Telaio in c.a. (con progetto antisismico a bassa duttilità)
	RC3	Telaio in c.a. (con progetto antisismico elevato)
	RC4	Pareti di taglio (in assenza di progetto antisismico)
	RC5	Pareti di taglio (con progetto antisismico a bassa duttilità)
	RC6	Pareti di taglio (con progetto antisismico elevato).
	RC7	Telaio in cemento armato con <i>pilotis</i>
Prefabbr.	PC1	Telaio prefabbricato e pareti di taglio realizzate in opera
	PC2	Telaio in cemento armato prefabbricato con pareti di taglio in c.a.
Acciaio	S1	Edificio in acciaio con telaio a nodi rigidi
	S2	Edificio in acciaio con telaio rinforzato da controventi
	S3	Edificio con telaio in acciaio e tamponature in muratura non rinforzata
	S4	Telaio in acciaio con pareti di taglio in cemento armato gettate in opera
Legno	W1	Strutture in legno

Un modello macrosismico-meccanico per la valutazione degli impatti su edifici

Danno: La scala EMS-98 prevede cinque livelli di danno più l'assenza di danno (D_k , $k = 0 \div 5$), fornendo una descrizione qualitativa dei danni osservati per i componenti strutturali e non strutturali

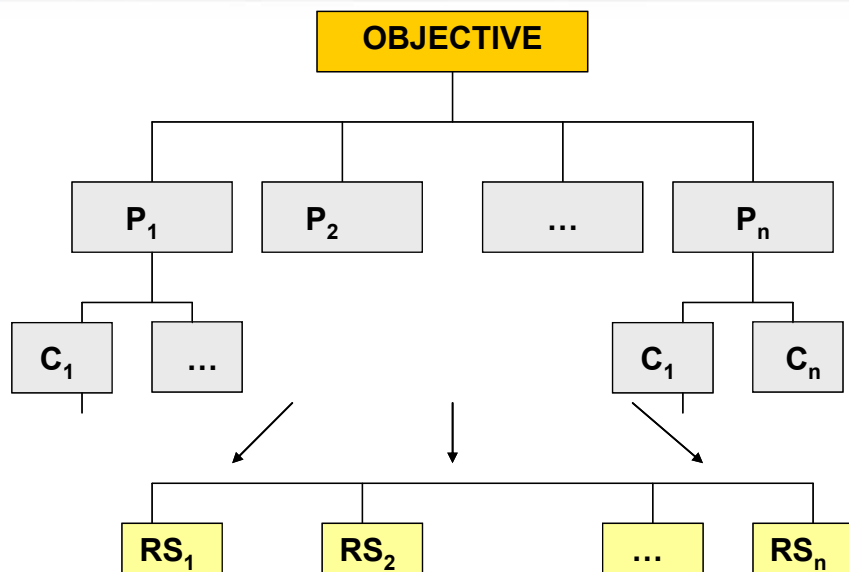
$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25V - 13.1}{Q} \right) \right]$$



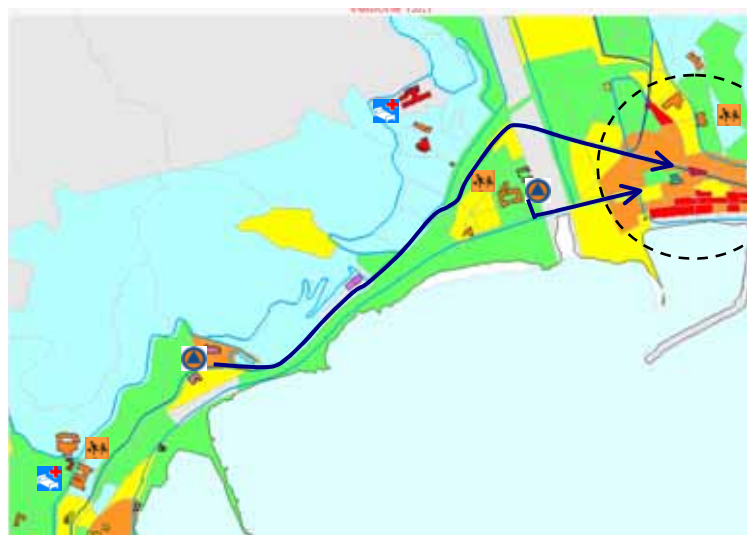
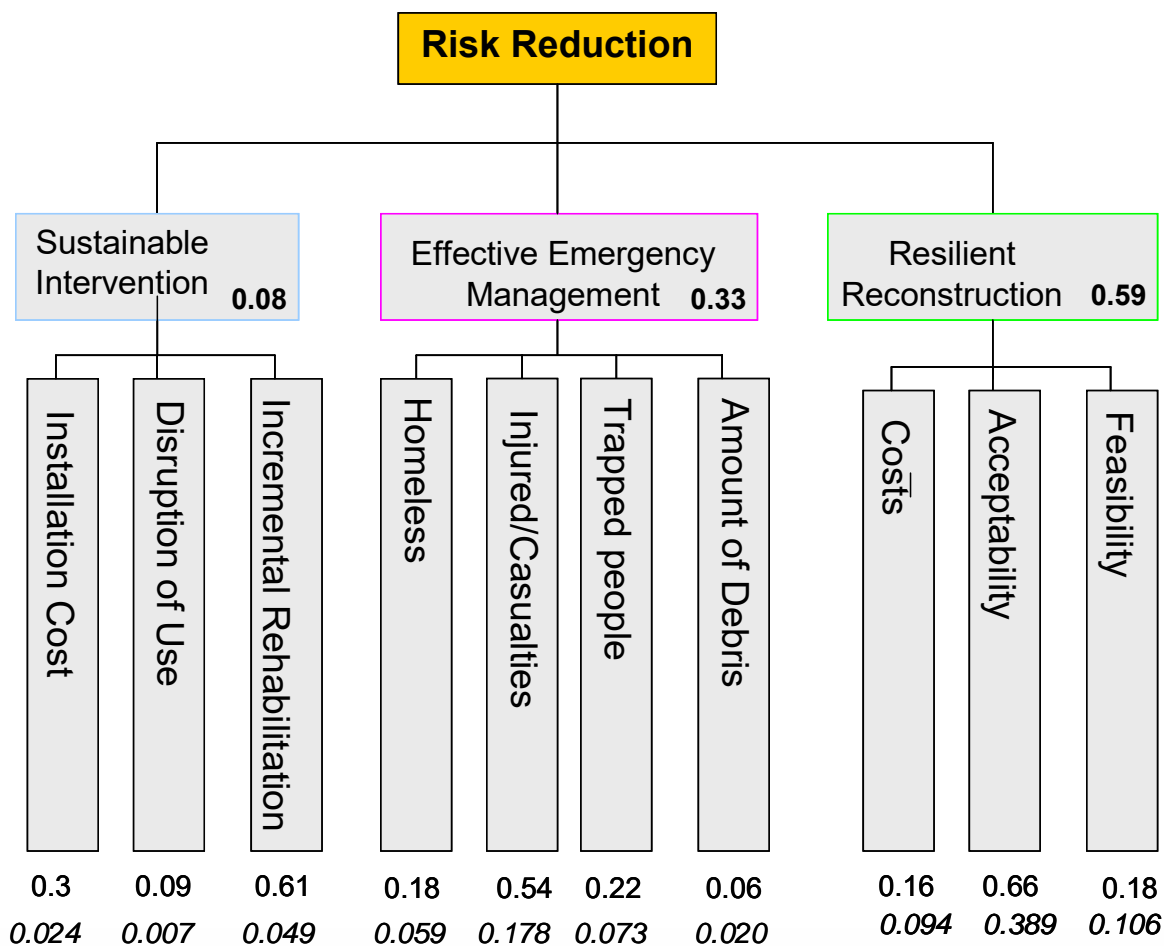
mean damage value μ_D ($0 < \mu_D < 5$) of the expected discrete damage distribution

Pictures courtesy of : Prof. Sonia Giovinazzi (University of Canterbury)

Mitigazione del Rischio: Scenari di Danno prima e dopo le misure adottate



MCDA - Multi Criteria Decision Analysis



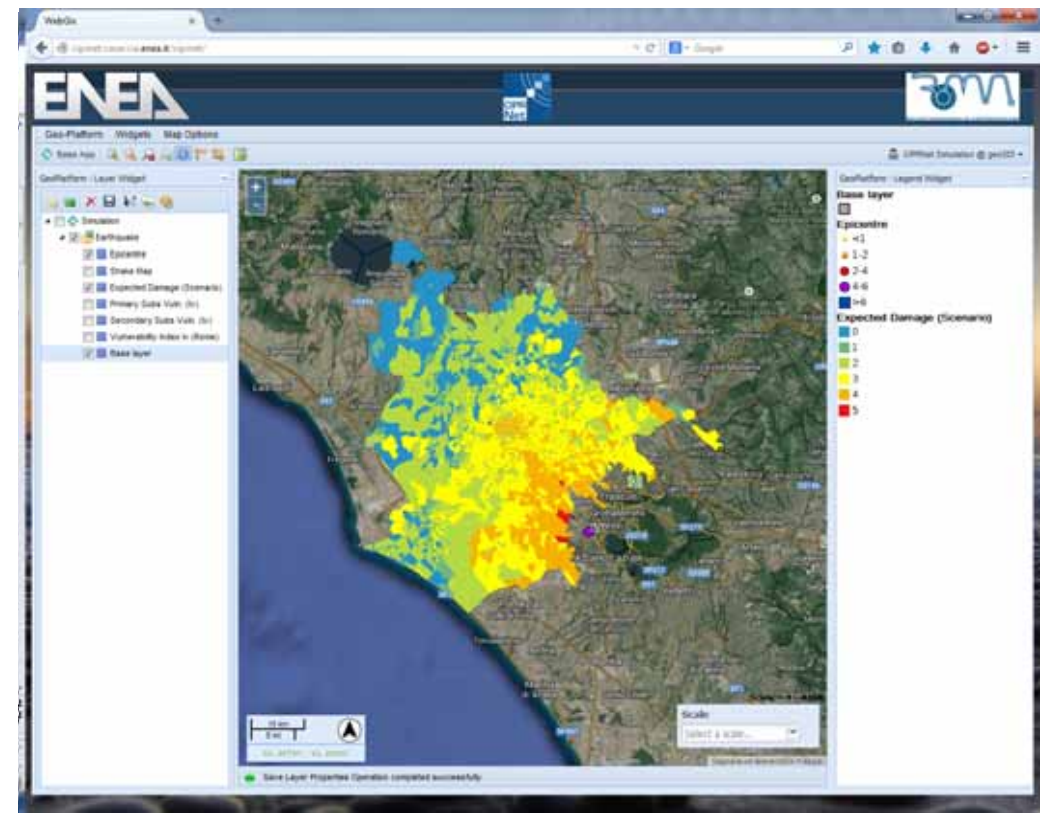
Damage scenario and identification of routes suitable for reaching high affected areas

- Nell'ambito dei Progetti di Ricerca CIPRNet (EU-FP7) e RoMA (MIUR - Smart Cities) ed in collaborazione con la Fondazione Prato Ricerche, ENEA ha sviluppato uno strumento applicativo (basato su interfaccia WebGIS) per la simulazione di eventi sismici e l'elaborazione di scenari di rischio e danno sismico.
- L'obiettivo è quello di valutare elementi di debolezza, di maggiore vulnerabilità ed esposizione al rischio, oltre che a supportare la definizione efficienti piani di contingenza.
- L'applicazione, nella sua modalità operativa di simulazione, può riprodurre analiticamente gli scuotimenti indotti da sismi localizzati in specifiche aree (individuate, ad esempio, sulla base di eventi storici già verificatisi ovvero sinteticamente creati) e mappare gli impatti di tali eventi (danni a edifici e altri manufatti, oltre che i danni sulle infrastrutture, conseguenze sulla popolazione residente), consentendo di avere una valutazione spazializzata post-sisma del potenziale danneggiamento.

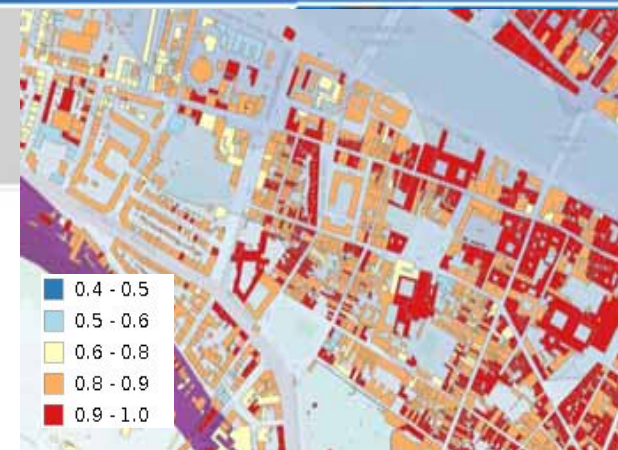
- Descrizione e caratterizzazione area di analisi – Banca dati geospaziale (**Geodatabase**);
- Dati e strati informativi geospaziali (Geomorfologia, Pericolosità Sismica, Dati censuari, Infrastrutture, etc.);
- **Mappe di Scuotimento** (Shake Maps, PGA/I_{MCS});
- Stima della **Vulnerabilità**
- Elaborazione degli **Scenari di Danno**.

Risultati:

- Accesso al Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS - WebGIS);
- **Monitoraggio in Real time monitoring**;
- **Simulazione** di eventi.



Valutazione della vulnerabilità sismica del costruito



L'Indice di Vulnerabilità (**V**) è stato valutato per ciascun edificio applicando l'approccio proposto da Lagomarsino and Giovinazzi (2006)¹: esso varia tra 0 (min) e 1 (max).

Le informazioni utilizzate per valutare la vulnerabilità:

- Tipologia strutturale (Cemento Armato, Muratura, etc.);
- Epoca di costruzione;
- Numero di piano;
- Stato di conservazione/manutenzione;
- Collocazione: edifici aggregata/isolati;
- ERD/Piloty.

(fonte: ISTAT e/o Anagrafe Comunale degli Immobili)

¹: Lagomarsino, S.; Giovinazzi, S. Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. Bull. Earthq. Eng. 2006, 4, 415–443

Indice di Vulnerabilità V^* per categorie di edifici

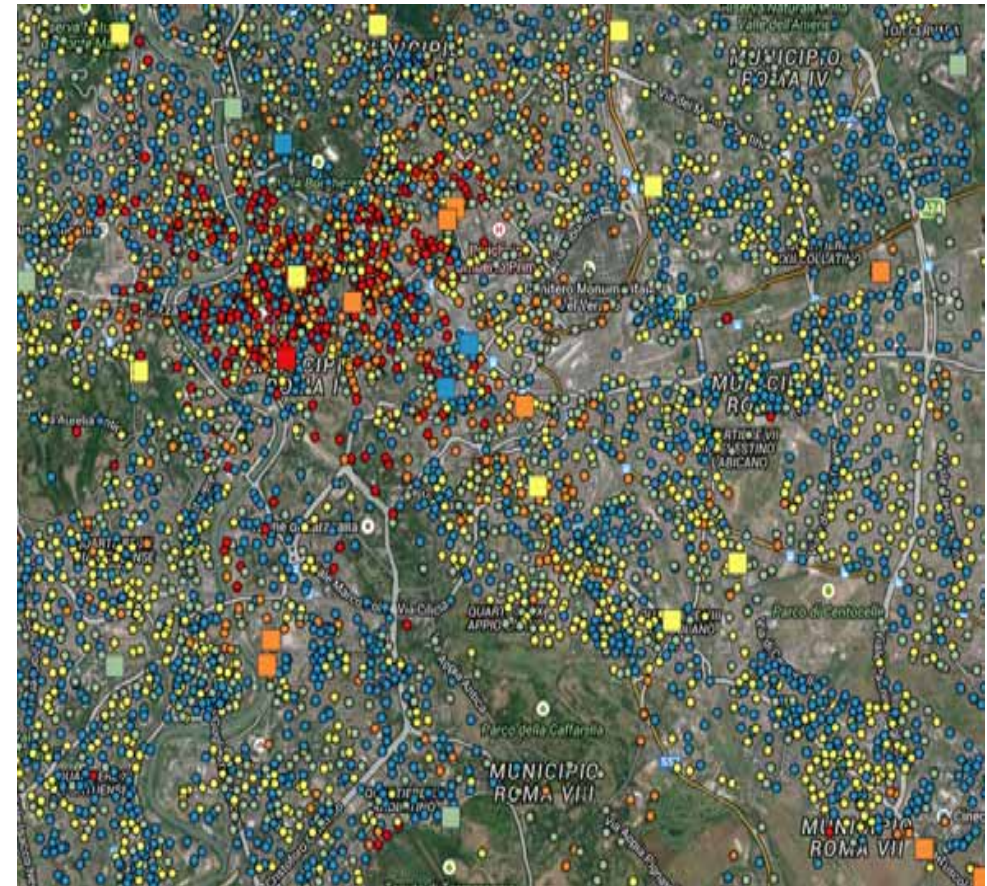
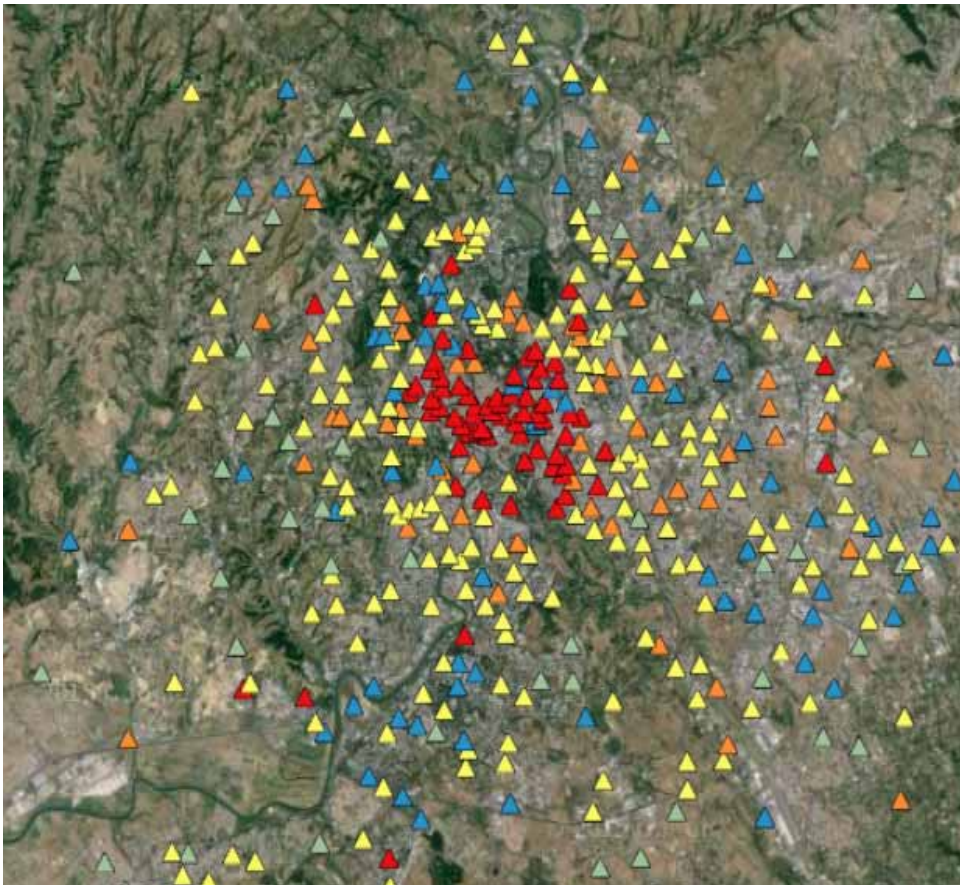
Masonry Categories		V^*	R.C. Categories		V^*
I	M<1919	0.79	V	RC<1971	0.59
II	M=1919 ÷ 1945	0.73	VI	RC=1971 ÷ 1981	0.55
III	M=1945 1971	0.69	VII	RC >1981	0.42
IV	M> 1971	0.65			

Incremento ΔV_m in funzione dei modificatori di comportamento

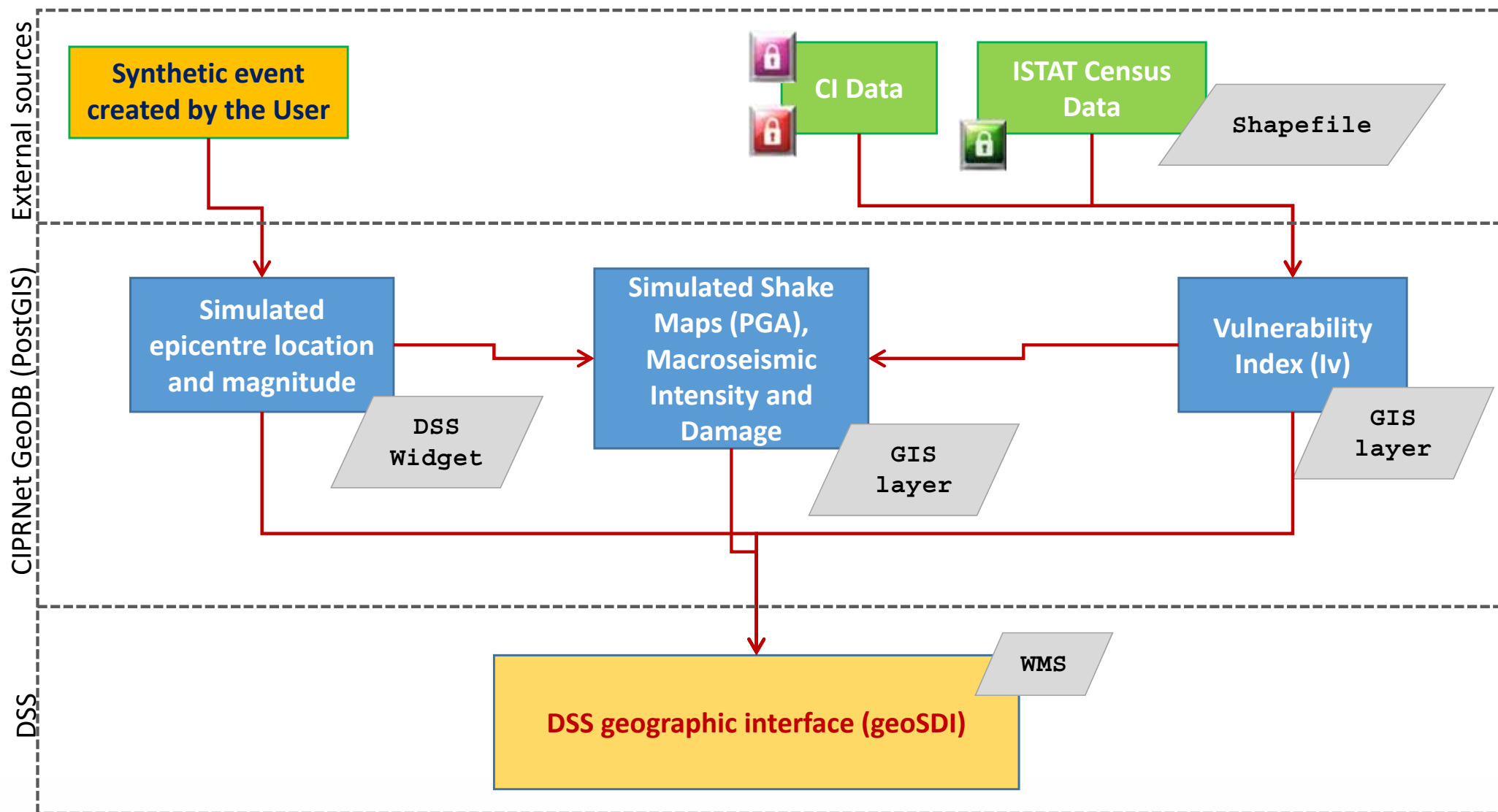
Categories	State of preservation		Number of floors			Aggregate Building		ERD	Piloty
	good	bad	low	medium	high	isolated	aggregate		
I	0	0.08	-0.08	0	0.08	-0.04	0.04	0	0
II	0	0.06	-0.08	0	0.08	-0.04	0.04	0	0
III	0	0.04	-0.08	0	0.08	-0.04	0.04	0	0
IV	0	0.04	-0.08	0	0.08	-0.04	0.04	-0.08	0
V	0	0.04	-0.03	0	0.03	0	0.04	0	0.12
VI	0	0.04	-0.03	0	0.03	0	0.04	0	0.12
VII	0	0.04	-0.03	0	0.03	0	0	0	0.06

Valutazione della vulnerabilità sismica delle infrastrutture critiche

Avendo a disposizione anche un inventario delle infrastrutture critiche (e.g., rete elettrica/telco, etc.), è possibile anche valutare estensivamente la **vulnerabilità sismica** di singoli elementi delle IC.



Data flow: Simulazione di un evento

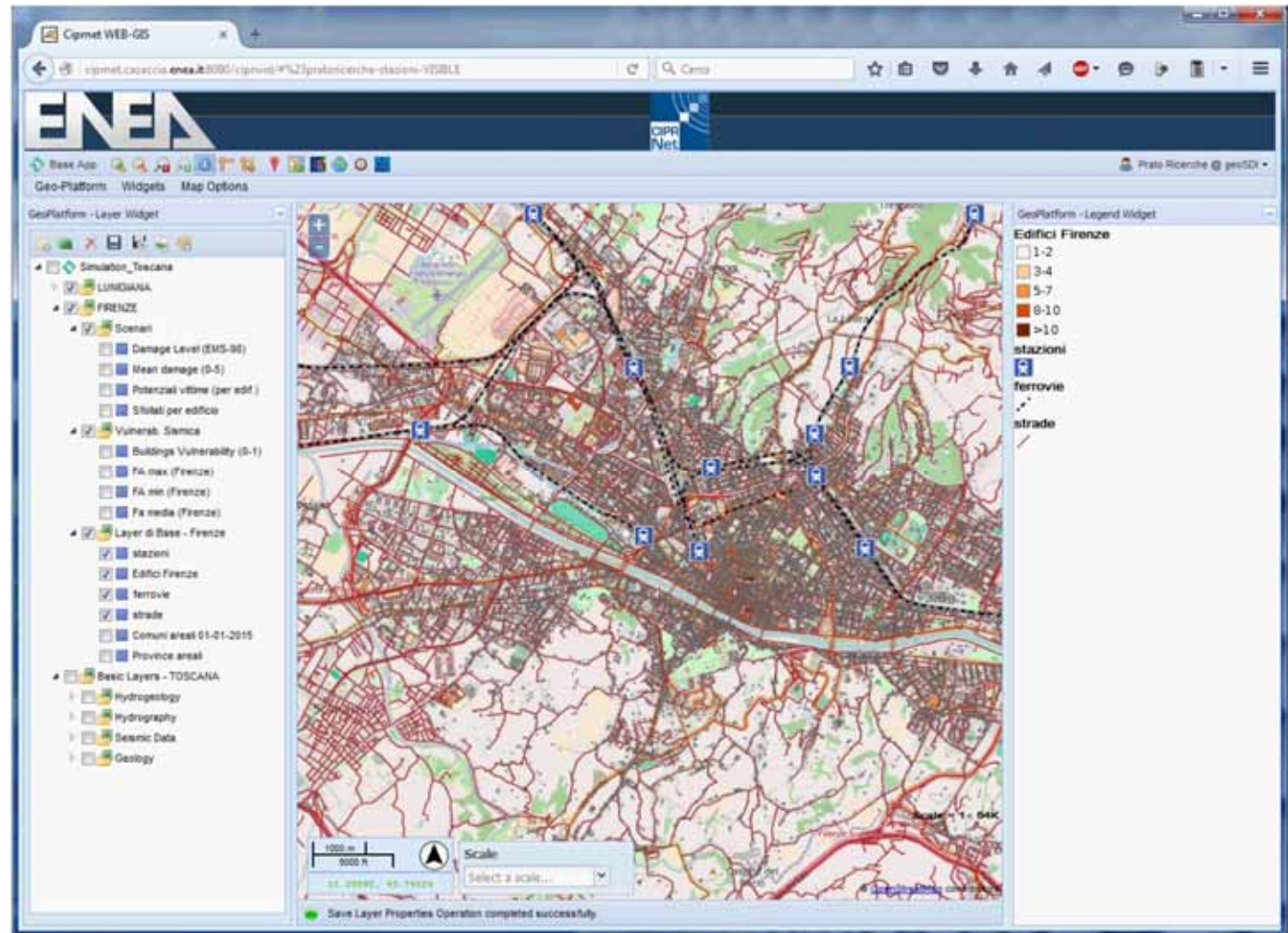


Simulazione Evento: Firenze

Terremoto del Mugello
(29 Giugno 1919):

M = 6.3

Coord. 43.95N – 11.483E



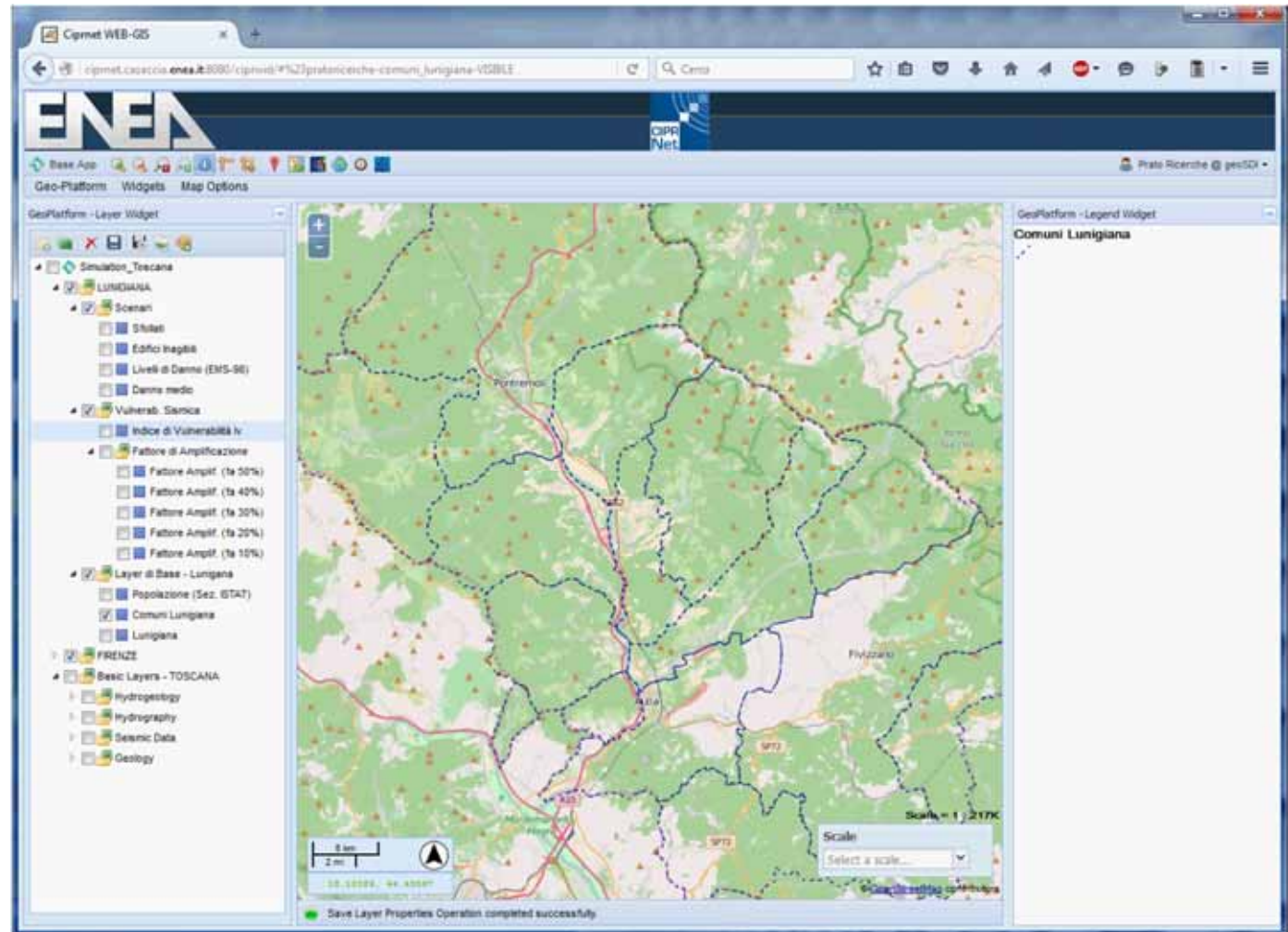
Simulazione Evento: Lunigiana

Terremoto della Garfagnana e Lunigiana

(14 Febbraio 1834):

M = 5.7

Coord. 44.433N – 9.85E



- Implementazione di scenari basati su parametri meccanici, sia per la descrizione della vulnerabilità, sia per la caratterizzazione del rischio;
- Aggiunta di modelli di vulnerabilità specifici per componenti di infrastrutture a rete (viabilità, condutture gas, etc.):
- Utilizzo del DSS come base per il supporto di analisi multi-criterio:
 - definizione di specifici scenari di protezione civile, oltre che per quantificare vittime, numero di sfollati, anche per identificare vie di fuga (tenendo conto dei potenziali crolli parziali e totali);
 - Analisi costi/benefici (BCA) per la valutazione e la definizione di misure di adeguamento/miglioramento sismico degli edifici e delle infrastrutture presenti nel territorio.

- <http://www.ingv.it>
- <http://iside.rm.ingv.it/>
- <https://ingvterremoti.wordpress.com/>
- <http://emidius.mi.ingv.it>
- <http://earthquake.usgs.gov>
- <http://nisee.berkeley.edu/>
- <http://www.eerc.berkeley.edu>
- <http://www.seismo.ethz.ch/index> EN
- <http://www.fema.org>
- <http://www.disastermanagement.it/>
- <http://www.protezionecivile.gov.it>
- <http://geohaz.org/home.htm>
- <http://www.gdacs.org/>
- <http://www.unisdr.org/>