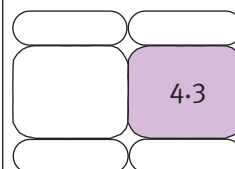


# SIMULAZIONE NUMERICA DELLE CONSEGUENZE DI UN TERREMOTO A MESSINA



La crescita delle conoscenze in campo scientifico e informatico ha permesso di simulare numericamente gli effetti di un terremoto. È stato quindi possibile condurre uno studio per analizzare gli effetti che oggi produrrebbe a Messina uno scenario sismico con caratteristiche simili a quelle del terremoto avvenuto nel messinese il 28 dicembre del 1908. L'analisi effettuata si è avvalsa di differenti strumenti informatici quali sistemi informativi territoriali, simulazione di città virtuali in Google Earth® e simulazione di analisi strutturali attraverso software specifici di calcolo.

**Helen Crowley**  
**Miriam Colombi**  
**Manuel Lopez**  
**Maria Serena Teramo**  
**Rui Pinho**

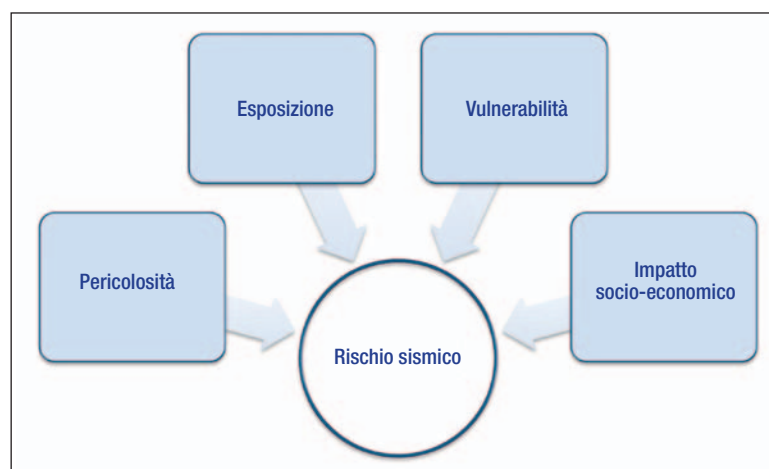


## 1. INTRODUZIONE

Il 28 dicembre del 1908, alle 5:20 del mattino, la città di Messina venne quasi completamente distrutta da un terremoto tra i più catastrofici della storia dell'Europa, che provocò circa 86.000 vittime. Da quella data fino ad oggi, la crescita delle conoscenze in campo scientifico e informatico ha permesso la simulazione numerica degli effetti di un terremoto. Grazie a tali conoscenze, con lo scopo di accrescere la consapevolezza del livello di rischio sismico nell'area messinese, si sono voluti analizzare gli effetti che uno scenario sismico, con caratteristiche simili a quello del 1908, provocherebbe oggi nell'area di Messina.

Lo studio e la valutazione del rischio sismico sono attività multidisciplinari che prevedono la raccolta e il censimento di dati, la stima della vulnerabilità delle strutture, l'analisi della pericolosità sismica e studi delle scienze socio-economiche (Figura 1). Il rischio sismico rappresenta la probabilità di ottenere una determinata perdita in un territorio di riferimento e viene calcolato attraverso la con-

voluzione di tre parametri fondamentali: pericolosità, vulnerabilità ed esposizione. Generalmente la pericolosità viene quantificata con un parametro di scuotimento. Una volta modellata la pericolosità della zona – per esempio lo Stretto di Messina è una delle aree sismicamente più attive in Italia - è pos-



**FIGURA 1**  
*Elementi essenziali per uno studio completo di rischio sismico*

sibile metterla in relazione al danno di edifici tramite una curva di vulnerabilità. La vulnerabilità sismica rappresenta la propensione di una struttura a subire un determinato livello di danno a fronte di un evento sismico di data intensità. Per questo motivo vengono calibrate specifiche curve di vulnerabilità a seconda della tipologia degli edifici (muratura, cemento armato, strutture miste). Infine l'esposizione, che rappresenta l'insieme degli edifici e dei beni che possono subire danno, viene stimata attraverso dati provenienti da censimenti.

Per poter considerare anche le perdite socio-economiche causate da un evento sismico occorre valutare una quarta componente da correlare a questa tipologia di perdita. I danni agli edifici, per esempio, potrebbero essere messi in relazione con le perdite economiche dovute alla ristrutturazione o alla ricostruzione della struttura, oppure, il collasso degli edifici potrebbe essere messo in relazione con il numero di vittime.

Per quanto riguarda il seguente studio, sono state valutate la severità di scuotimento, l'entità del danno al patrimonio edilizio e le relative conseguenze economiche e sociali. Si noti che non si vuole proporre un'esatta ripetizione del terremoto del 1908, ma si vuole piuttosto caratterizzare una delle plausibili ipotesi sul meccanismo di sorgente che ha generato l'evento e sulla propagazione delle onde sismiche. Si potrebbe, per esempio, utilizzare una diversa ipotesi sulla posizione dell'epicentro e sulla dimensione della rottura della faglia o una diversa metodologia per la stima del danno riguardante il patrimonio edilizio. In questo articolo, si mette in maggior rilievo l'importanza che l'informatica oggi ha sulle analisi di rischio sismico e il grande supporto che essa riesce a dare a sostegno di gestioni di emergenze conseguenti al disastro post-terremoto. Va ricordato, infatti, che lo studio di scenari di danno è molto utile a gestire le emergenze emerse subito dopo un evento sismico quali, per esempio, la definizione delle priorità di assegnazione delle risorse per opere di adeguamento e miglioramento sismico, la definizione di politiche assicurative per i danni da terremoti e la pianificazione urbana per lo sviluppo futuro di una città.

## 2. RACCOLTA E IMMAGAZZINAMENTO DEI DATI

La prima fase di sviluppo del calcolo del rischio riguarda la raccolta e l'immagazzinamento dei dati inerenti tre fattori principali quali pericolosità, vulnerabilità ed esposizione in modo ordinato, dinamico e facilmente modificabile. I dati provengono da fonti e da metodologie di raccolta diverse e per questo motivo si presentano spesso in formati differenti gli uni dagli altri. La fase di raggruppamento e omologazione dei dati rappresenta un passaggio fondamentale che permette alle analisi di essere effettuate in modo efficiente. Una buona organizzazione informatica riduce notevolmente i tempi di calcolo, produce risultati ordinati ed estremamente fruibili da ogni tipo di pubblico e ne permette una successiva manipolazione in caso si vogliano produrre ulteriori studi e approfondimenti.

La raccolta di tutti i rilievi macrosismici dopo il terremoto del 1908 ha permesso di determinare il livello di scuotimento del terreno durante l'evento stesso. Attualmente sono disponibili anche procedure basate sulla conoscenza di processi fisici responsabili dell'emissione delle onde sismiche e l'intensità macrosismica non rappresenta più la sola informazione a disposizione per individuare le aree a maggior rischio sismico in Italia. Nonostante lo sviluppo di nuove procedure scientifiche, l'intensità macrosismica viene tuttora impiegata come supporto nella gestione dell'emergenza post-evento. Anche in questo caso, il supporto telematico è di importanza fondamentale per permettere la circolazione repentina delle informazioni disponibili. Le mappe di risentimento macrosismico possono essere realizzate immediatamente dopo un terremoto, utilizzando una combinazione tra le registrazioni del movimento del suolo, le stime dell'intensità percepita inviate tramite internet e le previsioni dello scuotimento del suolo ottenute tramite leggi empiriche e determinate previa conoscenza delle condizioni della geologia locale del terreno<sup>1</sup>. Tali mappe di scuotimento istantanee possono essere sovrapposte a mappe che mostrano la densità della popolazione per ottenere tempestive previ-

1 Per esempio: <http://earthquake.rm.ingv.it/shakemap/shake>

sioni delle conseguenze del terremoto<sup>2</sup>. L'aumento delle conoscenze scientifiche negli ultimi 100 anni ha permesso agli scienziati di simulare numericamente gli effetti di un terremoto. Lo scuotimento del suolo può essere calcolato in modo numerico tramite algoritmi che richiedono la conoscenza delle caratteristiche principali della sorgente del terremoto: la geometria e le dimensioni del piano di faglia dove avviene la rottura; il punto di inizio della rottura e la sua velocità di propagazione; lo spostamento relativo tra i due blocchi di faglia, come anche le proprietà del mezzo attraverso il quale le onde si propagano. L'insieme di questi parametri costituiscono le informazioni necessarie per calcolare numericamente i sismogrammi sintetici per un dato scenario sismico. Nel seguente studio è stato riprodotto un sisma di magnitudo simile a quello di Messina del 1908. È stato quindi considerato un terremoto di magnitudo 7.1 originato da una faglia normale, lunga 40 km e larga 20 km, ubicata nello stretto di Messina. La geometria della faglia, la posizione dell'epicentro e la descrizione del processo di rottura sono ricavate dalla letteratura riguardante il terremoto del 1908 [9, 1]. La faglia viene incorporata in un modello semplificato della crosta terrestre in cui sono assegnate le velocità delle onde sismiche, l'attenuazione anelastica e la densità delle rocce [2].

Per quanto riguarda la vulnerabilità e l'esposizione, è stato compilato un inventario degli edifici residenziali sfruttando diverse fonti di dati: il Censimento ISTAT della Popolazione e delle Abitazioni del 1991, indagini sul campo e immagini satellitari. La fonte principale utilizzata per un primo studio è stata quella del Censimento ISTAT del 1991, mentre le indagini in situ si stanno attualmente effettuando a Messina, edificio per edificio, a cura dell'Osservatorio Sismologico dell'Università, e andranno avanti per i prossimi mesi e anni. Da tale inventario è possibile dedurre le principali caratteristiche degli edifici tipici del patrimonio edilizio messinese che servono ad identificarne la vulnerabilità. Dopo il terremoto del 1908 a Messina, il 18 aprile del 1909, in Italia venne introdotta la prima classificazione

sismica che individuava quelle città in cui gli edifici dovevano essere progettati specificamente per resistere a forze addizionali dovute allo scuotimento del terreno. Da quella data, Messina è sempre stata classificata in zona 1 che rappresenta la zona a massimo rischio e che obbliga i progettisti a progettare gli edifici per una forza laterale pari al 10% dei carichi verticali.

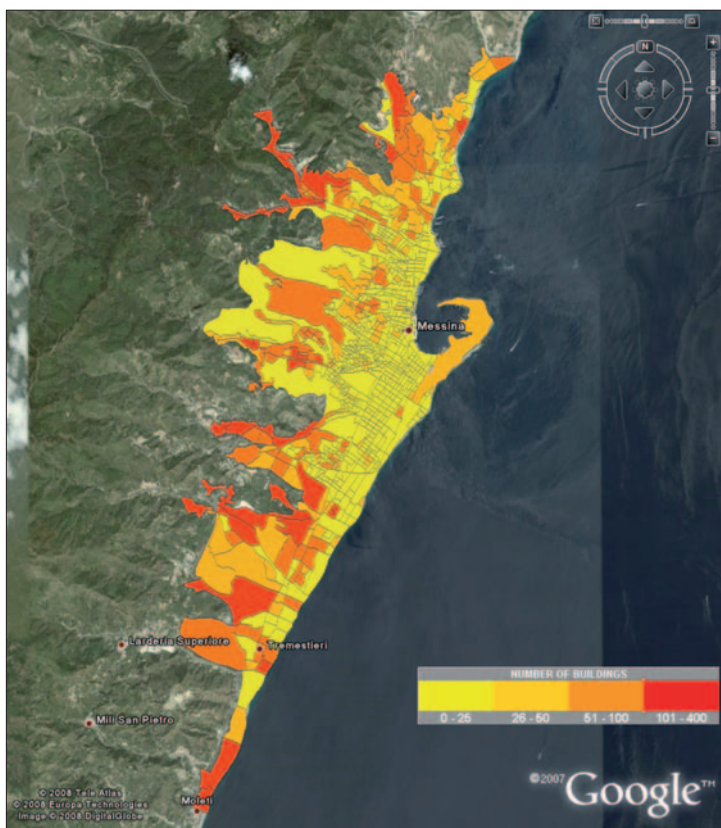
I dati di esposizione, in termine di numero di abitazioni, raccolti dal Censimento ISTAT del 1991, forniscono informazioni a livello comunale (utile per studi di ordine nazionale e regionale) e a livello di sezione censuaria (utile per studi più di dettaglio come il presente lavoro). La sezione di censimento rappresenta l'area all'interno della quale il singolo funzionario raccoglie i dati. La dimensione di una sezione di censimento può variare nelle zone urbane e rurali, in funzione della diversa densità degli edifici. Tale censimento è molto vantaggioso in quanto le abitazioni sono classificate in termine di tipologia costruttiva, anno di costruzione e numero di piani. Sono noti anche il volume, il numero di abitanti e lo stato di conservazione dell'abitazione. Nonostante questo, va sottolineata la possibilità di avere errori nella valutazione del numero di edifici che viene realizzata a partire da dati sulle abitazioni. Tali errori potrebbero essere dovuti a trascrizioni sbagliate e potrebbero essere causati dal fatto che gli addetti alla compilazione delle schede ISTAT non sono persone competenti in campo ingegneristico. Infine, va ricordato che il numero di edifici stimato non considera le strutture edificate dopo il 1991.

Tutte queste informazioni possono essere utilizzate per raggruppare gli edifici, che dovrebbero rispondere in modo analogo allo scuotimento del terreno, in classi omogenee:

□ edifici costruiti in periodi diversi presentano differenti caratteristiche strutturali perché le normative sismiche cambiano col migliorare delle conoscenze sul comportamento delle strutture e sulle azioni sismiche alle quali devono essere soggetti;

□ edifici con altezze diverse rispondono diversamente allo scuotimento del terreno – se il periodo naturale di vibrazione di un edificio, che è funzione dell'altezza, è prossimo alla frequenza predominante del movimento del terreno, si verifica il fenomeno di risonan-

2 Per esempio: <http://earthquake.usgs.gov/eq-center/pager/>



**FIGURA 2**

Numero di edifici all'interno di ogni sezione censuaria per un'area del comune di Messina

za e la risposta dell'edificio viene amplificata; ■ gli edifici realizzati con differenti tipologie costruttive - in Italia tipicamente muratura, cemento armato o una combinazione dei due - reagiranno diversamente allo scuotimento del terreno perché sono in grado di sopportare diversi livelli di forza laterale e di spostamenti indotti dal moto del terreno.

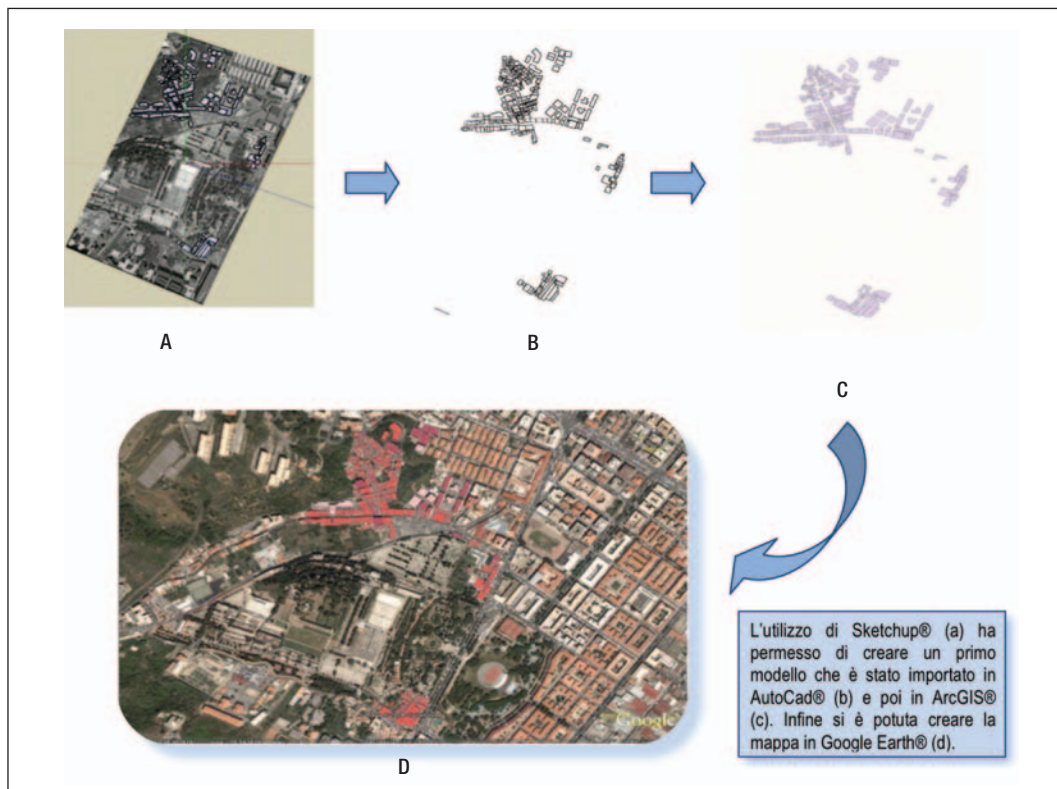
Note tali caratteristiche e suddivisi gli edifici in classi omogenee, è possibile stimare la capacità di ogni classe utilizzando metodologie *ad hoc*. Nel paragrafo successivo si riportano in dettaglio la scelta e lo sviluppo della metodologia utilizzata.

Tutti i dati raccolti vengono archiviati e importati in un GIS (*Geographical Information System*). Il GIS rappresenta il sistema informativo utilizzato per acquisire, memorizzare, estrarre, trasformare e visualizzare dati spaziali associando a ciascun elemento geografico una o più descrizioni alfanumeriche. Tale sistema permette di mettere in relazione tra loro dati diversi sulla base del loro comune riferimento

geografico in modo da creare nuove informazioni a partire dai dati esistenti. Nel caso oggetto di studio, il comune riferimento geografico è rappresentato dalla sezione censuaria. Ogni sezione contiene in sé una serie di informazioni necessarie ad un'analisi del rischio, quali, per esempio, il numero di edifici per quella sezione o il numero di persone che vivono in tali strutture. Tali dati possono essere visualizzati graficamente nel GIS o possono essere manipolati estraendo tabelle, creando join tra differenti tabelle e utilizzando diversi algoritmi di analisi. Un tool apposito è stato utilizzato per esportare dal GIS le informazioni di interesse in un file \*.kml leggibile e importabile in Google Earth®. Google Earth® rappresenta un ottimo ambiente di lavoro e di visualizzazione dati, in grado di generare immagini virtuali della Terra ed è utilizzabile indipendentemente dal sistema operativo di utilizzo (Microsoft Windows, Mac OS X, Linux). Utilizza immagini satellitari, fotografie aeree e dati topografici che sono memorizzati in una piattaforma GIS. Nella figura 2 si riporta, in un'immagine Google Earth®, il numero di edifici per sezione censuaria di una zona del comune di Messina.

In questa fase dello studio è stata realizzata una città virtuale selezionando una parte del territorio urbanizzato dell'area messinese ed utilizzando i dati del censimento ISTAT 1991. Il punto di partenza è rappresentato dalla carta catastale, in formato digitale. La carta catastale viene suddivisa in diversi *layers* da cui si identificano le impronte degli edifici presenti. In Autocad® si assegnano i bordi ad ogni impronta rappresentante una struttura e si identifica l'oggetto come una polilinea. Questa procedura permette, in seguito, di importare i dati in un GIS trasformandoli in *shapefile*. Quando nuovi rilievi o nuove immagini satellitari forniranno dati più aggiornati, dal GIS sarà sempre possibile modificare, cambiare e migliorare i bordi degli edifici e aggiungere tutte le informazioni necessarie. È inoltre possibile georeferenziare i singoli edifici attribuendogli una dislocazione geografica e aggiungere molteplici caratteristiche quali, per esempio altezza e tipologia costruttiva. Una volta che il file è stato georeferenziato e che l'informazione relativa all'esatta posizione degli edifici è stata assegnata, può essere esportato ed importato in Google Earth®.

Può accadere che la carta catastale non sia ag-

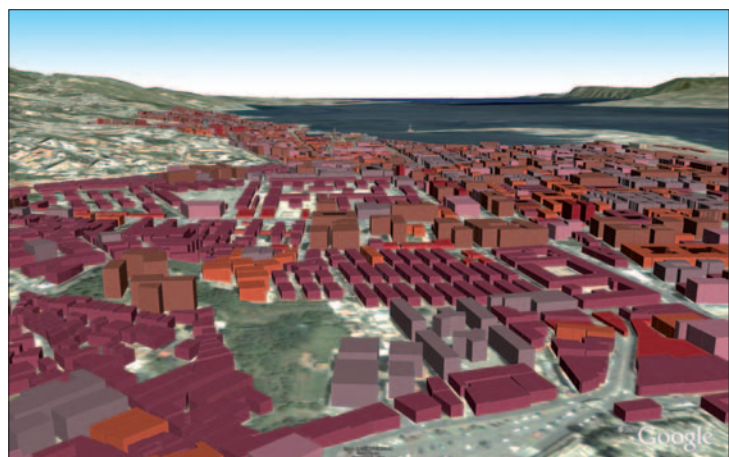


**FIGURA 3**

*Sviluppo di una città virtuale. A - mappa Autocad® in SketchUp® Pro dell'area catastale F123 integrata con le strutture mancanti. B - mappa in Autocad®, C - mappa in ArcGIS®, D - mappa Google Earth®*

giornata e dai rilievi condotti in situ o tramite immagini satellitari risultino differenze evidenti con il costruito attuale. Per fronteggiare questa mancanza, si utilizza un'applicazione di computer grafica (SketchUp® Pro) che permette di disegnare manualmente le strutture mancanti importando l'area selezionata in Google Earth®. SketchUp® Pro permette di creare in modo molto semplice e intuitivo forme bidimensionali e tridimensionali ed è molto utilizzato nel campo della progettazione architettonica, dell'urbanistica e dell'ingegneria civile. In secondo luogo, si importano tutti i dati necessari in Autocad® e si esegue la stessa procedura sopra descritta. Nella figura 3 sono riportati tutti i passaggi eseguiti, dalla visualizzazione in SketchUp® Pro alla visualizzazione in Google Earth® passando per quella in Autocad® e in ArcGIS®. I diversi colori presenti in Figura 3 nel modello in Google Earth® rappresentano le diverse altezze.

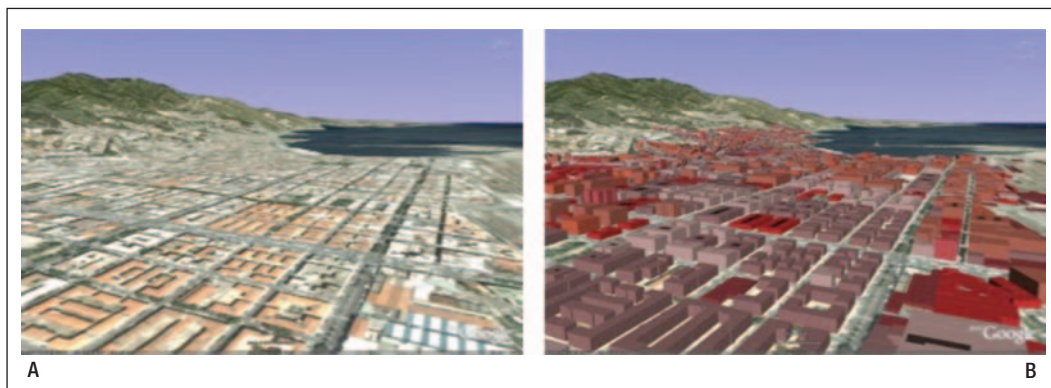
Come è stato accennato precedentemente è possibile, dal GIS, inserire nell'inventario creato e georeferenziato qualsiasi tipo di informa-



**FIGURA 4**

*Modello virtuale degli edifici in Messina*

zione come l'altezza degli edifici, ma anche la loro tipologia costruttiva o qualsiasi altra caratteristica disponibile. L'inserimento dei dati relativi all'altezza degli edifici permette una visualizzazione 3D della città virtuale creata su un'area del comune di Messina (Figura 4). La creazione della città tridimensionale presenta sicuramente dei vantaggi. Come si evidenzia nella figura 5 i modelli 3D forniscono una mi-



**FIGURA 5**

**A** - Rappresentazione 2D di un'area della città di Messina. **B** - Rappresentazione 3D di un'area della città di Messina

gliore rappresentazione delle reali dimensioni degli edifici che compongono la città. I differenti colori possono essere utilizzati per visualizzare il tipo di costruzione, oppure l'anno di costruzione o il livello di vulnerabilità. Le strutture possono così essere facilmente raggruppate in classi omogenee. Un altro vantaggio è che i punti di riferimento di una città (quali per esempio il porto, una chiesa ecc.) sono velocemente identificabili e si potrebbero utilizzare colori differenti per distinguere, per esempio, strutture pubbliche da strutture strategiche da edifici residenziali. Come è possibile dedurre, una città virtuale rappresenta uno strumento estremamente valido utilizzabile da diverse utenze e per differenti necessità.

### **3. ELABORAZIONE DEI DATI PER IL CALCOLO DEL RISCHIO SISMICO**

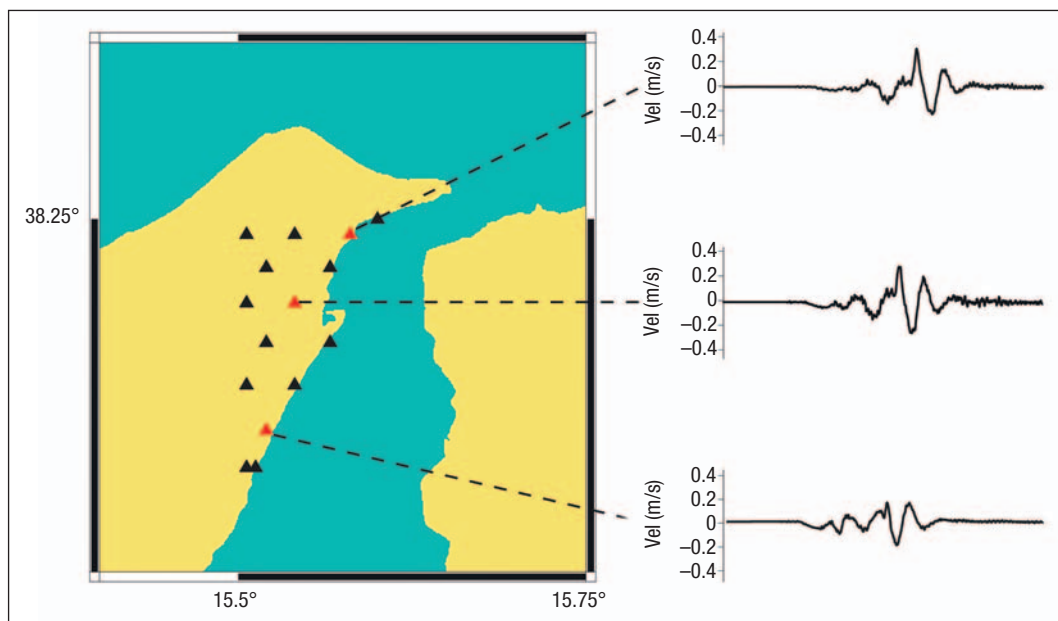
Una volta che tutti i dati necessari sono stati raccolti e archiviati in un ambiente GIS, l'integrazione e la convoluzione degli stessi sono necessarie per la stima del rischio sismico. La flessibilità e la dinamicità dell'ambiente di sviluppo creato rendono agevole ed efficiente l'interazione tra i dati.

Per quanto riguarda la pericolosità, considerati i dati ricavati dalla letteratura, sono stati applicati metodi numerici per simulare il movimento del suolo in diversi punti virtuali intorno allo Stretto di Messina. Gli accelerogrammi utilizzati sono stati definiti in due fasi [10, 7] e tale procedura ha permesso di ottenere serie temporali realistiche che potrebbe-

ro originarsi dalla rottura della faglia precedentemente assunta. La figura 6 mostra un esempio di sismogrammi in velocità ottenuti nei punti in cui è stato simulato lo scuotimento per l'area di Messina.

Dai sismogrammi prodotti si sono calcolati i valori di risposta spettrale sia in accelerazione, che in velocità, che in spostamento. Questi rappresentano la domanda che viene sottoposta ad un edificio e che dovrà essere, in seguito, confrontata con la capacità dell'edificio stesso per stabilire i danni che esso può subire.

Come accennato precedentemente, alcuni edifici hanno più probabilità di altri ad essere danneggiati e la predisposizione di un edificio ad essere danneggiato da un dato livello di scuotimento del terreno è nota come vulnerabilità. Il livello di danno è funzione di come gli edifici rispondono ai movimenti del terreno, che rappresentano la domanda sismica, e della loro capacità di resistere a questa domanda. I parametri principali utilizzati per suddividere gli edifici in gruppi con livelli di vulnerabilità simili sono: anno di costruzione, altezza e materiale di costruzione. Per Messina, le due tipologie più diffuse sono rappresentate da edifici in cemento armato e muratura e di queste sono state definite le caratteristiche e la configurazione. Una progettazione strutturale simulata viene effettuata per ogni tipologia di edificio, basata sulle normative di progettazione in vigore al tempo della sua costruzione. A tal fine è stato condotto anche uno studio sull'evoluzione, in Italia, delle normative di progettazione nel secolo passato [5]. Una simulazione

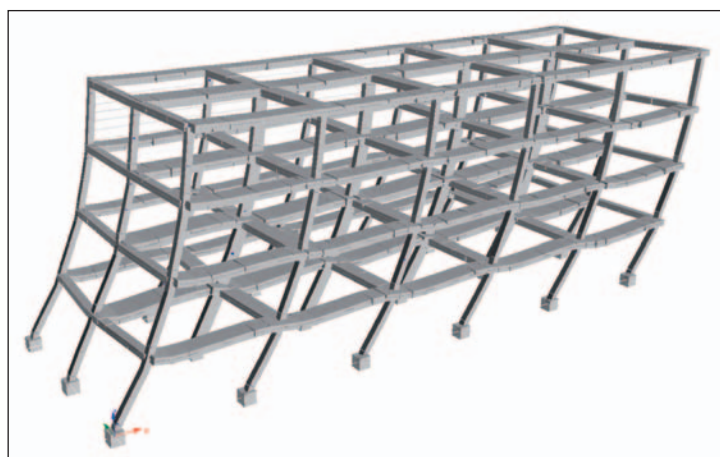


**FIGURA 6**

*I sismogrammi sono stati simulati in corrispondenza di 15 siti differenti (triangoli). La figura mostra i sismogrammi in velocità simulati nell'area di Messina in tre siti (triangoli rossi). La durata delle serie temporali è di 30 secondi*

Monte Carlo è stata effettuata per generare un numero elevato di edifici, ognuno con configurazione e proprietà dei materiali leggermente diversi per poter tenere conto della naturale variazione di queste proprietà riscontrabile all'interno di una popolazione di strutture. Possono essere utilizzate diverse metodologie per modellare gli effetti dei terremoti sugli edifici. In questo studio è stata applicata un'analisi semplificata che valuta la capacità laterale di un edificio in termini di quanta forza e spostamento laterale questo è in grado di sopportare prima di raggiungere diversi livelli di danno che vanno dal leggero, al significativo, al collasso [3]. L'effetto dello scuotimento del terreno su un edificio viene quindi modellato tramite forze laterali che aumentano lo spostamento di ogni piano dell'edificio (Figura 7). Lo spostamento raggiunto ad ogni piano, quando la struttura presenta un danno lieve, esteso o si trova al punto di collasso, viene predetto in base alle proprietà geometriche e dei materiali degli edifici progettati.

Il massimo spostamento laterale con il quale si prevede che gli edifici risponderanno viene ottenuto da spettri di risposta in spostamento che vengono ricavati dai sismogrammi in diversi punti all'interno della città, come accennato precedentemente. La risposta in sposta-



**FIGURA 7**

*Modello di un telaio, tipico della costruzione in cemento armato, che è stato deformato lateralmente a causa dello scuotimento della terra*

mento per ogni struttura all'interno della popolazione di edifici generata viene confrontata con la capacità di spostamento ad ogni livello di danno per identificare il livello di danno finale di tutti gli edifici. Per esempio, se la domanda di spostamento in sommità di un edificio è più alta dello spostamento in sommità quando l'edificio è danneggiato lievemente, ma minore dello spostamento che porterà la struttura a un livello di danno esteso, allora l'edificio risulterà moderatamente danneggiato. Questo

confronto viene effettuato per ogni edificio generato e progettato ed è quindi possibile valutare il numero di edifici che ricadono all'interno delle diverse fasce di danno per una data classe di vulnerabilità.

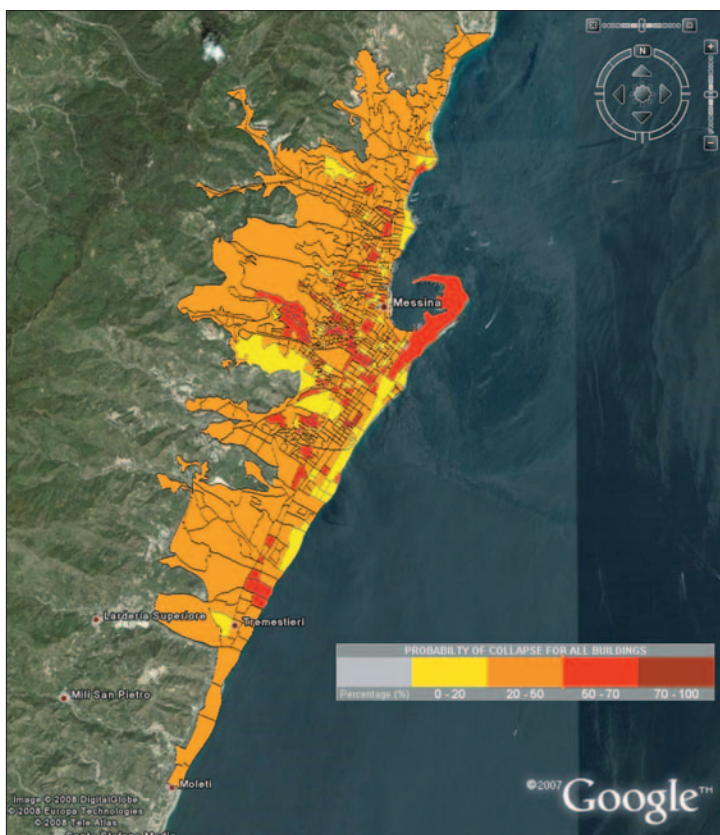
Combinando il modello di esposizione, che contiene il numero di edifici in ogni gruppo di vulnerabilità all'interno di una sezione di censimento, con le previsioni delle percentuali di edifici danneggiati per ognuno di questi gruppi di vulnerabilità, si può ottenere una stima della proporzione totale di edifici danneggiati dentro ogni sezione di censimento. In questo studio si è stimato che il 52% degli edifici in figura 2 potrebbe essere danneggiato dallo scenario sismico considerato.

#### 4. RISULTATI DI UN'ANALISI DI RISCHIO SISMICO

Lo studio del rischio sismico dell'area di Messina ha permesso l'identificazione del livello di danno che subirebbero oggi gli edifici se sottoposti ad un sisma simile a quello avven-

nuto il 28 dicembre del 1908. Combinando pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sono state identificate le percentuali di edifici che ricadono all'interno di tre diverse fasce di danno: danno lieve, danno moderato, danno esteso o collasso. Queste percentuali sono state calcolate per ogni sezione di censimento e sono state archiviate anch'esse all'interno dell'ambiente GIS. In tal modo è possibile ottenere una visualizzazione grafica e molto veloce delle percentuali (Figura 8). Oltre al danno strutturale di un edificio sono stati condotti ulteriori studi per stimare anche il valore delle perdite economiche e sociali che inevitabilmente si generano quando succedono disastri naturali di tale portata.

Le perdite economiche dirette dovute al danno indotto dallo scuotimento possono essere valutate usando rapporti che correlano il costo di riparazione del danno al costo di ricostruzione. Questi rapporti, definiti "costi relativi di riparazione", sono stati determinati in Italia utilizzando dati statistici di danni, causati da terremoti, raccolti per 50.000 edifici negli ultimi 30 anni [6]. Si è riscontrato che questi costi relativi di riparazione variano tra il 3,5% per danno lieve, e l'80%, per un danno prossimo al collasso. Determinata, all'interno di ogni sezione di censimento, la percentuale di edifici danneggiati lievemente, moderatamente, ampiamente e collassati, il "Rapporto di Danno Medio" può essere valutato moltiplicando ogni costo relativo di riparazione per la rispettiva percentuale di danno e quindi sommando i risultati ottenuti. Questo "Rapporto di Danno Medio" viene poi moltiplicato per il costo di ricostruzione di tutti gli edifici in ogni sezione di censimento. Considerando un valore medio per il costo di ricostruzione per metro quadrato, nella simulazione realizzata il costo di riparazione dei danni, dovuti al solo scuotimento del terreno, ammonterebbe a miliardi di euro. Queste perdite economiche dirette non includono l'interruzione delle attività commerciali, la variabilità della domanda (per il maggior costo dei materiali nel post-terremoto, dovuto verosimilmente ad una mancanza di approvvigionamenti) e le conseguenze degli incendi che si aggiungono ai costi economici del terremoto. Stime di questi costi aggiuntivi possono essere effettuate acquisendo informazioni storiche sulle perdite causate da terremoti in aree urbane simili.



**FIGURA 8**  
*Percentuale di edifici collassati nell'area messinese*



Le perdite in termini di vite umane provocate dai terremoti sono direttamente correlate al numero di edifici crollati [4]. Sulla base di statistiche su scala mondiale relative a terremoti del passato, la percentuale di vittime negli edifici crollati può essere valutata come una funzione del numero di piani e del materiale di costruzione [9]. Di conseguenza, effettuata la previsione della percentuale di edifici crollati per un dato scenario sismico, questa può essere combinata con la stima della popolazione che vive e lavora all'interno di questi edifici. Insieme alla percentuale delle vittime previste, è possibile quindi valutare anche l'impatto sociale di un terremoto.

## 5. VISUALIZZAZIONE DEI RISULTATI

Qualsiasi tipologia di dati utilizzati nel presente studio è stato archiviato in un sistema informatico in grado di mettere in relazione tra loro tabelle e risultati. Dati di input e di output possono essere manipolati, visualizzati ed estrapolati per compiere diversi tipi di analisi in tempi minimi. È praticamente immediato avere una fotografia dell'area di interesse e individuare gli edifici più o meno a rischio, le zone più o meno densamente popolate, le zone industriali e quelle residenziali. I dati archiviati nel GIS possono anche essere estratti sotto forma di tabelle \*.dbf e, in seguito, elaborati per produrre visualizzazioni di tipo diverso quali grafici, istogrammi o grafici a torta e rendere così un'idea immediata della situazione globale di rischio sismico dell'area messinese. Nella figura 8 si riporta, come riassunto finale di questa elaborazione numerica, la percentuale stimata di edifici che subiranno collasso o danno molto grave nell'area messinese.

Oltre alle visualizzazioni 2D, come spiegato nel paragrafo 2, anche le immagini 3D sono a disposizione degli utenti. Utilizzando la città virtuale creata, è possibile aggiungere un attributo alle tabelle archiviate che identifichi le percentuali di danno e utilizzare colori differenti per rappresentarle così come è stato fatto, per esempio, per la tipologia costruttiva. L'impatto che si ottiene con una rappresentazione 3D è molto efficace ed è di grande aiuto nell'identificare le zone su cui

concentrare sforzi ed energie economiche e umanitarie.

Di notevole interesse è l'ulteriore possibilità di creare e aggiungere algoritmi che permettono ad esempio l'individuazione delle strade rimaste agibili dopo l'evento oppure calcolare i percorsi più brevi per arrivare da un punto all'altro della città. Il sistema informatico creato è predisposto ad ampliamenti futuri e la facilità di gestione dei dati e di comunicabilità tra gli stessi riduce i tempi di impiego. La reale possibilità di visualizzare tutto lo studio via internet e l'opzione di apporre cambiamenti e interagire con il sistema da più postazioni rende tutto molto flessibile e dinamico. Diverse tipologie di utenti possono essere in grado di interrogare il sistema in tempo reale per prendere decisioni economiche e sociali oppure per gestire le diverse emergenze.

## Ringraziamenti

*Il lavoro descritto in questo articolo è stato sviluppato nell'ambito di una collaborazione tra EUCENTRE, Osservatorio Sismologico dell'Università di Messina, INGV Roma e ETH Zurich, in occasione dell'anniversario del centenario del terremoto di Messina 1908. Ha quindi beneficiato anche dei contributi di A. Teramo, A. Bottari, D. Termini, G. Cultrera, M. Cocco, A. Cirella, A. Herrero, A. Piatanesi, S. Lorito, F. Romano, M. Mai e W. Imperatori.*

## Bibliografia

- [1] Amoruso A., Crescentini L., Scarpa R.: Source parameters of the 1908 Messina Straits, Italy, earthquake from geodetic and seismic data. *J. Geophys. Res.*, 107, B4, 2080, 10.1029/2001JB000434, 2002.
- [2] Barberi G., Cosentino M.T., Gervasi A., Guerra I., Neri G., Orecchio B.: Crustal seismic tomography in the Calabrian Arc region, south Italy. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Vol. 147, 2004, p. 297-314.
- [3] Borzi B., Pinho R., Crowley H.: Simplified pushoverbased vulnerability analysis for large scale assessment of RC buildings. *Engineering Structures*, Vol. 30, n. 3, 2008, p. 804-820.
- [4] Coburn A., Spence R.: *Earthquake Protection*. John Wiley & Sons Ltd., 2002, England.
- [5] Di Pasquale G., Fralleone A., Pizza A.G., Serra C.: *Synthesis of the code evolution from the Royal Decree issued after the Messina and Reg-*



gio earthquake up to the first Ministry decree issued after the law n. 64/74, 1999. In: *La classificazione e la normativa sismica italiana dal 1909 al 1984*, De Marco, R. and Martini, M. G. [eds.] Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.

- [6] Di Pasquale G., Goretti A.: *Vulnerabilità funzionale ed economica degli edifici residenziali colpiti dai recenti eventi sismici italiani*. X Congresso Nazionale "l'Ingegneria Sismica in Italia," Potenza-Matera, 9-13 settembre 2001.
- [7] Mai P.M., Olsen K.B.: *Broadband ground-motion simulations using finite-difference synthetics with local scattering operators*. Submitted to Bull. Seis. Soc. Am, July 2008.
- [8] Pino N.A., Giardini D., Boschi E.: The December 28, 1908, Messina Straits, southern Italy, earthquake: Waveform modeling of regional seismograms. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, n. B11, 2000, p. 25,473-25,492.
- [9] Spence R.: *Earthquake disaster scenario predictions and loss modelling for urban areas*. LESSLOSS Report 2007/07, IUSS Press, Pavia, Italy, Ed. 2007.
- [10] Spudich P., Xu L.: *Documentation of software package Comsyn svx3.11: programs for earthquake ground motion calculation using complete 1-d green's functions*. In: International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology CD, Int. Ass. Of Seismology and Physics of Earth's Interior, Academic Press, 2003.

HELEN CROWLEY si è laureata in Ingegneria Civile all'Imperial College London nel 2000 e ha conseguito sia il master che il dottorato di ricerca in Ingegneria Sismica alla ROSE School, Pavia. È stata Ricercatore nella sezione Rischio Sismico di EUCENTRE per 3 anni ed è attualmente il Coordinatore Scientifico al Segretariato del Global Earthquake Model, situato a EUCENTRE. È autore di più di 60 pubblicazioni nel campo dell'ingegneria sismica. Ha vinto l'edizione 2009 del prestigioso premio EGU Plinius Medal, assegnato dall'European Geosciences Union.  
E-mail: helen.crowley@eucentre.it

MIRIAM COLOMBI ottiene la Laurea di Primo Livello in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio nel 2003 presso il Politecnico di Milano. Consegue poi la Laurea Specialistica presso il dipartimento di Strutture del Politecnico di Milano. Da giugno 2006 collabora con EUCENTRE settore Rischio Sismico nel campo della valutazione del rischio sismico a scala geografica variabile e nel campo della vulnerabilità sismica di strutture. Attualmente collabora anche con GEM (*Global Earthquake Model*) nel calcolo e nella promozione di strumenti di mitigazione del rischio sismico.  
E-mail: miriam.colombi@eucentre.it

MANUEL LOPEZ si è laureato in Ingegneria Civile presso l'Università di El Salvador nel 1993. Nel 1997 ha conseguito il Master in ingegneria Civile presso l'Illinois Institute of Technology di Chicago e nel 2005 il dottorato di ricerca in Ingegneria Sismica alla ROSE School, Pavia. Ha lavorato presso l'Università di El Salvador dal 1991 al 2001 e dal 2005 al 2007. Attualmente lavora presso EUCENTRE, Pavia.  
E-mail: manuel.lopez@eucentre.it

MARIA SERENA TERAMO ha conseguito nel 2006 la Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, indirizzo Strutture, presso l'Università degli Studi di Messina, dove, successivamente nel Marzo 2010, ha conseguito il titolo di Dottore di ricerca in Geofisica per l'Ambiente e il Territorio, con una tesi dal titolo "A Seismic Risk Study for the city of Messina". Le sue competenze e l'attività di ricerca riguardano la progettazione delle strutture in zona sismica, l'analisi non lineare e la valutazione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti e studi di rischio sismico di aree urbane.  
E-mail: mariaserena.teramo@unime.it

RUI PINHO è Segretario Generale della Fondazione GEM (*Global Earthquake Model*) e Ricercatore al Dipartimento di Meccanica Strutturale dell'Università di Pavia, dove si è trasferito nel 2001 dopo diversi anni all'Imperial College di Londra, come ricercatore e docente in Ingegneria Sismica. In precedenza, è stato responsabile della sezione Rischio Sismico di EUCENTRE ([www.eucentre.it](http://www.eucentre.it)) e manager del Centro di Formazione Post-Laurea e Ricerca in Ingegneria Sismica e Sismologia (ROSE School, [www.roseschool.it](http://www.roseschool.it)). Dr Pinho ha pubblicato oltre 150 lavori, è stato relatore ad invito in diverse conferenze nazionali ed internazionali.  
E-mail: rui.pinho@globalquakemodel.org