

INFLUENZA DEGLI EFFETTI DI SORGENTE SULLA DISTRIBUZIONE DEL DANNO A SCALA URBANA: UN CASO STUDIO PER LA CITTÀ DI GORIZIA

M. Fasan¹, M. Barnaba¹, F. Romanelli²

¹ Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Trieste, Italy

² Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Trieste, Italy

Introduzione. In questa memoria si presenta uno studio di carattere preliminare che tratta il possibile danno conseguente a diversi scenari sismici ipotizzati per la città di Gorizia. Lo scuotimento al suolo in diversi siti della città è rappresentato da accelerogrammi, a larga banda nelle tre componenti spaziali, calcolati tramite il prodotto tensoriale tra il tensore della sorgente del terremoto e la funzione di Green del mezzo attraversato dalle onde sismiche (Fasan 2017). Il lavoro si basa sulla modellizzazione della propagazione delle onde sismiche a partire dalla conoscenza delle sorgenti sismiche e delle proprietà strutturali del mezzo e permette di tenere conto della complessità cinematica del processo di rottura della sorgente sismica nonché degli effetti del sito. Consente quindi di considerare la variabilità spaziale intra - ed inter-evento del moto del suolo dovuta ad effetti di sorgente, percorso e sito. Il danno strutturale è valutato con riferimento alla metodologia LM2, proposta nell'ambito del progetto Risk-UE (Milutinovic e Trendafiloski 2003, Risk-UE 2003), che prevede di rifarsi ad un modello di tipo meccanico, SDOF equivalente non-lineare, per descrivere la risposta delle diverse tipologie edilizie assoggettate all'azione sismica (Lagomarsino e Giovinazzi 2006). Tuttavia in questo lavoro si è fatto riferimento a tale metodologia soltanto per la definizione degli SDOF da associare alle diverse tipologie strutturali, mentre la risposta in termini di spostamento è stata valutata mediante analisi dinamica non lineare al passo. Tale approccio, reso possibile dalla disponibilità dell'input sismico in forma di accelerogrammi sintetici, ha il vantaggio di non necessitare della definizione di una misura di intensità del moto del suolo (e.g. intensità macrosismica, PGA, intensità di Housner o altri), passaggio invece obbligatorio utilizzando l'approccio standard basato sull'uso di relazioni di attenuazione.

Moto del suolo. L'analisi di pericolosità e di danno condotta in questo lavoro è un'analisi di scenario. Sono stati considerati il moto del suolo e le possibili conseguenze, in termini di danno strutturale, risultanti da un evento sismico, generato dalla faglia denominata "Medea". Tale faglia è censita come ITIS126 nel Catalogo Italiano delle Sorgenti Sismiche attive (DISS Working Group, 2018), ha una magnitudo (MW) massima pari a 6.4 ed è localizzata a circa 17 km dalla città (Figura 1). Per tale scenario, si sono ipotizzate diverse descrizioni cinematiche del processo di rottura sul piano di faglia (variando campo di scorrimento, punto di nucleazione, velocità di rottura ecc.), anche al fine di coglierne la componente stocastica e verificarne l'influenza sulla distribuzione del danno. Per ciascuna "realizzazione" del processo di rottura, si sono valutate l'entità e la distribuzione spaziale del moto del suolo e dei conseguenti danni strutturali attesi. Ciò ha consentito di cogliere l'effetto della variabilità del moto del suolo, sia quella riscontrabile allo stesso sito tra due diverse realizzazioni (inter-evento), che quella legata alla non-omogenea distribuzione spaziale del moto del suolo e relativa alla singola realizzazione (intra-evento). La faglia è stata modellata come sorgente estesa (Gusev 2011) e la sua evoluzione spazio-temporale simulata grazie all'algoritmo PULSYN06 (Gusev 2011). Per lo scenario scelto, si sono considerate 100 possibili realizzazioni del processo di rottura. A titolo di esempio, in Fig. 1 (sopra) si sono riportate due diverse modalità di rottura per lo scenario considerato (realizzazione 12 e 30, rispettivamente), caratterizzate da un diverso campo di scorrimento sul piano di faglia, punto di nucleazione ed evoluzione temporale. Il calcolo degli accelerogrammi è stato effettuato nel baricentro di ogni zona censuaria in cui è divisa la città di Gorizia (286 ricevitori). Tale calcolo è condotto in mezzi lateralmente omogenei, i.e. il modello strutturale del suolo è rappresentato da uno spazio semi-infinito a strati anelastici piani e paralleli, sino ad una frequenza di 10 Hz utilizzando la tecnica DWN - discrete wavenumber - (Pavlov 2009, 2013). Gli effetti di sito sono invece considerati adottando, per ogni zona

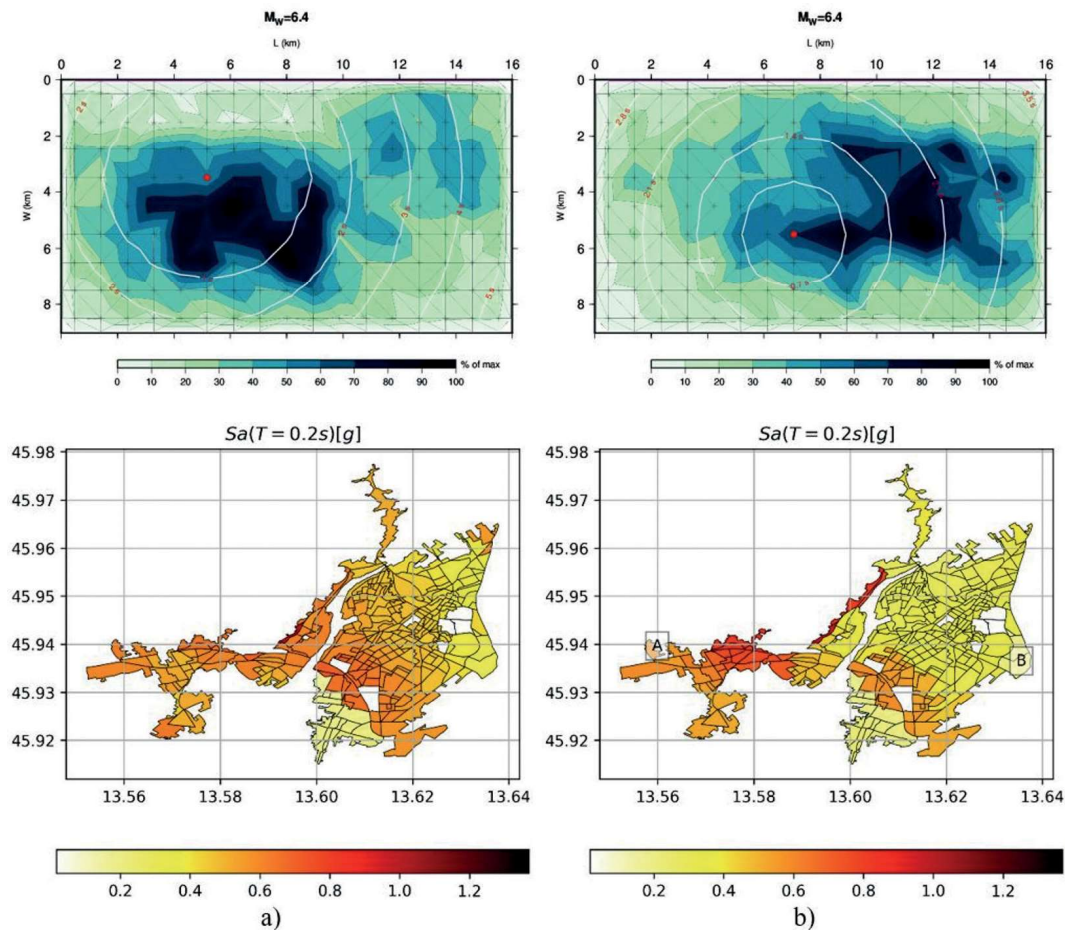


Fig. 1 - Distribuzione dello scorrimento sul piano di faglia (sopra) e relativi campi di scuotimento (sotto) - accelerazione spettrale per $T = 0.2s$ in unità di g per: a) 12^a realizzazione; b) e 30^a realizzazione.

censuaria, una stratigrafia diversa rappresentativa delle sue proprietà medie. Le caratteristiche degli strati superficiali sono state dedotte da studi geologici condotti per la città (Bisiani 1989, Grego & Iadarola 1998) mentre quelle degli strati profondi sono state dedotte da quelle adottate in Panza *et al.* (2012) per il poligono regionale in cui è situata la città. In Fig. 1 (sotto) sono presentate due mappe calcolate in termini di accelerazione spettrale al periodo $T=0.2s$ dalle quali si nota la variabilità del moto, sia in termini spaziali che di valori di picco, associata allo stesso scenario (faglia Medea, $M_w=6.4$) ma per due diverse realizzazioni del processo di rottura (la 12^a e la 30^a).

Vulnerabilità e danno. La vulnerabilità dell'area urbana di Gorizia è stata rappresentata con una modellazione semplificata dell'edificato facendo riferimento alle caratteristiche tipologiche degli edifici raccolte in occasione del censimento della popolazione e delle abitazioni del 2011 (ISTAT 2011). A partire da questi dati, si è discretizzata l'area di studio nelle 286 zone censuarie in cui risulta divisa la città; si sono quindi considerati i baricentri di tali zone come ricevitori e si è stimata la risposta dell'edificato adottando un metodo di tipo meccanico facendo riferimento a quanto indicato dalla metodologia LM2, proposta nell'ambito del progetto internazionale Risk-UE (Risk-UE, 2003). Tale metodo prevede di rappresentare le caratteristiche medie delle diverse tipologie edilizie mediante SDOF non-lineari a comportamento lineare-perfettamente plastico. Nello specifico, per la zona urbana di Gorizia si sono selezionati 11 SDOFs equivalenti tra quelli

presentati in Lagomarsino e Giovinazzi (2006). La loro risposta è stata valutata mediante analisi dinamica non lineare al passo utilizzando come input gli accelerogrammi simulati. Il grado di danno atteso per le diverse tipologie e per le diverse realizzazioni considerate è valutato come in Tab. 1, in base ai valori dello spostamento massimo raggiunto dagli SDOF durante le analisi.

Tabella 1 - Definizione del grado di danno: d_y e d_u rappresentano lo spostamento allo snervamento e ultimo per lo SDOF considerato.

	D_k
$0 < d_{max} \leq 0.7 d_y$	Slight (D_0)
$0.7 d_y < d_{max} \leq 1.5 d_y$	Moderate (D_1)
$1.5 d_y < d_{max} \leq 0.5(d_u + d_y)$	Extensive (D_2)
$0.5(d_u + d_y) < d_{max} \leq d_u$	Very heavy (D_3)
$> d_u$	Destruction (D_4)

Le analisi dinamiche non lineari sono state condotte utilizzando il software OpenSees (McKenna 2011). Complessivamente, considerando il numero di realizzazioni, zone censuarie e tipologie edilizie presenti in ogni zona, sono risultate necessarie circa 194000 analisi. I risultati delle analisi hanno evidenziato come la variabilità del danno atteso risulti pronunciata, sia per quanto riguarda la distribuzione spaziale relativa alla singola realizzazione (intra-evento), che fra i valori di picco relativi a realizzazioni diverse (inter-evento). Per riassumere il danno a livello urbano, si è calcolato il danno medio per l'intera area cittadina. Tale valore è calcolato considerando separatamente le diverse realizzazioni del processo di rottura, potendo così individuare l'influenza della sorgente sulla distribuzione spaziale del danno. Un confronto tra la distribuzione spaziale del danno ottenuto con per diverse realizzazioni è presentato in Fig. 2.

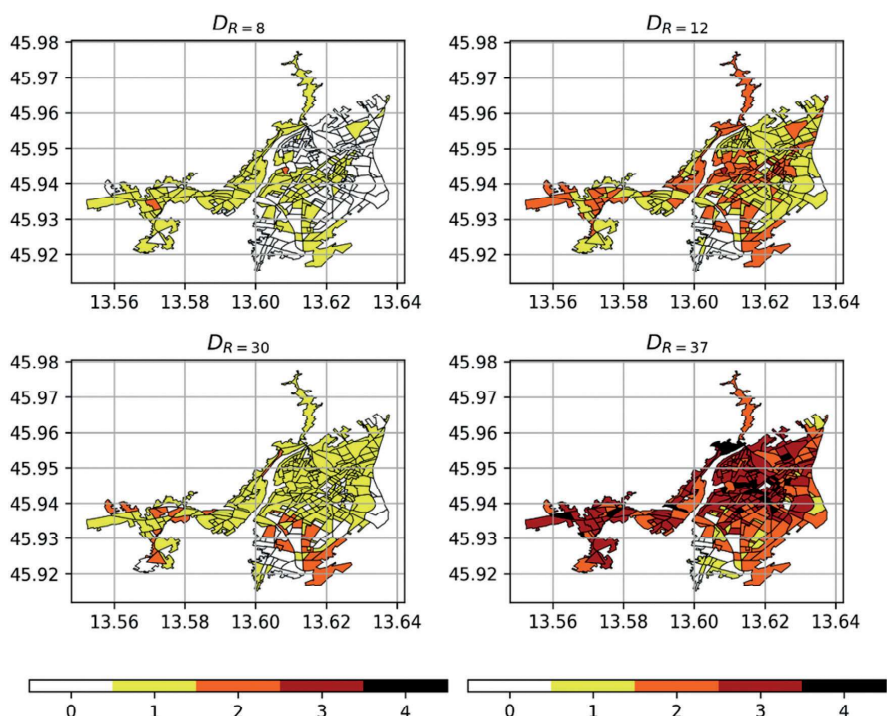


Fig. 2 - Distribuzione spaziale del danno atteso per quattro diverse realizzazioni del processo di rottura (rispettivamente 8^a, 12^a, 30^a e 37^a).

Dai confronti si vede come l'entità e la distribuzione spaziale del danno strutturale atteso possano variare sensibilmente tra una realizzazione e l'altra, sottolineando l'influenza del processo di rottura sulla distribuzione del danno atteso. A tal riguardo si nota infatti che la variabilità mostrata è dovuta esclusivamente alla variazione della modalità di rottura della faglia mentre tutti gli altri parametri (e.g. magnitudo, posizione della sorgente, stratigrafia etc.) rimangono invariati. La Fig. 3 si riferisce alle stesse condizioni della Fig. 2, ma presenta la percentuale di edifici che ricadono in un determinato grado di danno. Nuovamente si nota come gli effetti di sorgente possano modificare drasticamente la distribuzione del danno attesa non solo in termini spaziali ma anche percentuali (si passa da un danno medio cittadino pari a 0.4 per la realizzazione 8 ad uno pari a 2.4 per la realizzazione 37).

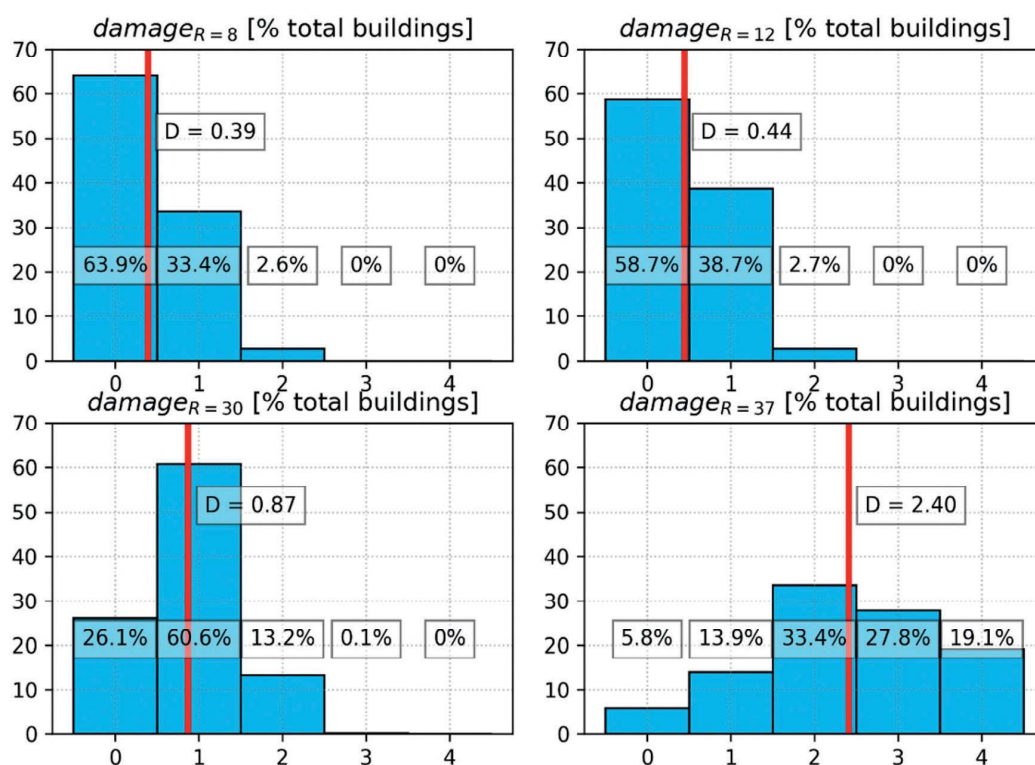


Fig. 3 - Distribuzione percentuale del danno atteso per quattro diverse realizzazioni del processo di rottura (rispettivamente 8^a, 12^a, 30^a e 37^a).

Conclusioni. In questa memoria si è presentato uno studio sullo scuotimento e il danno atteso per la città di Gorizia conseguente a un evento sismico di magnitudo 6.4 sulla faglia “Medea”. Lo scuotimento al suolo è valutato utilizzando una metodologia “physics-based”, che si basa sulla modellazione della propagazione delle onde sismiche a partire dalla conoscenza delle sorgenti e delle proprietà strutturali della terra. Tale tecnica fornisce accelerogrammi sintetici realistici e permette di tenere conto della cinematica del processo di rottura della sorgente sismica nonché degli effetti del percorso e di sito. La vulnerabilità è stata rappresentata attraverso SDOF non lineari, mentre la risposta in termini di spostamento è stata valutata mediante analisi dinamica non lineare. Grazie all’uso della modellazione su base fisica del moto del suolo, la metodologia presentata in questo studio consente una rappresentazione realistica del fenomeno sismico e ha permesso di valutare l’influenza degli effetti di sorgente sulla distribuzione spaziale e percentuale del danno atteso.

Bibliografia

- Bisiani F.; 1989: *Indagine geologico-tecnica del territorio comunale di Gorizia*.
- DISS Working Group; 2018: *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Fasan M.; 2017: *Advanced seismological and engineering analysis for structural seismic design*. PhD. Thesis, University of Trieste.
- Grego B., Iadarola F.; 1998: *Relazione geologica per la variante generale al piano regolatore generale comunale*.
- Gusev A.; 2011: *Broadband kinematic stochastic simulation of an earthquake source: a refined procedure for application in seismic hazard studies*. Pure and Applied Geophysics, 168, 155–200.
- ISTAT; 2011: *Censimento della popolazione e delle abitazioni*. UniData - Bicocca Data Archive, Milano. Codice indagine DA0443. Versione del file di dati 1.0.
- Lagomarsino S., Giovinazzi S.; 2006: *Macro seismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings*. Bulletin Earthquake Engineering, 4, 415–443.
- McKenna F.; 2011: *OpenSees: a framework for earthquake engineering simulation*. Computing in Science & Engineering, 13(4), 58–66.
- Milutinovic Z., M., Trendafiloski G., S.; 2003: *An advanced approach for earthquake risk scenarios with applications to different European towns*. WP-4: vulnerability of current buildings. Risk-UE Project, European Commission.
- Panza G., F., La Mura C., Peresan A., Romanelli F., Vaccari F.; 2012: *Seismic Hazard Scenarios as Preventive Tools for a Disaster Resilient Society*. Advance in Geophysics, 53, 93-165.
- Pavlov, V., M.; 2009: *Matrix impedance in the problem of the calculation of synthetic seismograms for a layered-homogeneous isotropic elastic medium*. Izvestiya Physics of the Solid Earth, 45(10), 850–860.
- Pavlov, V., M.; 2013: *Algorithm for calculating synthetic seismograms in a layered half-space with application of matrix impedance*. Phys. Solid Earth, 49, 24.
- Risk-UE; 2003: *An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns*. Projet europe'en, EVK4-CT-2000-00014.

ADEGUAMENTO SISMICO MEDIANTE ESOSCHELETRO STRUTTURALE. LA SOLUZIONE CHE RISPONDE AD ESIGENZE ANTISISMICHE E FUNZIONALI

G.A. Ferro, L. Martelli, L. Restuccia

DISEG, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino, Italy

Il patrimonio immobiliare italiano conta un numero assai elevato di edifici realizzati nel secondo dopoguerra, la cui risposta antisismica risulta inadeguata sia in termini prestazionali che di salvaguardia della vita degli occupanti. Per di più, il 61% dell'intero costruito ha superato la vita nominale di 50 anni come da progetto: per questo motivo, la valutazione della sicurezza e gli eventuali interventi su edifici esistenti hanno assunto un ruolo preminente già a partire dalle Norme Tecniche per le Costruzioni pubblicate nel 2018 (NTC, 2018).

Sulla base di tali stringenti esigenze, il gruppo di lavoro del Prof. Ferro del Politecnico di Torino sta studiando da anni alcune possibili soluzioni per risolvere il problema ponendo attenzione alla precisa filosofia di intervento: le operazioni si svolgono all'esterno permettendo quindi di evitare non solo disagi ai residenti come traslochi temporanei e cambiamenti nel loro stile di vita che si protrarrebbero fino all'ultimazione delle procedure, ma garantendo anche il normale svolgimento delle attività lavorative all'interno della costruzione. Inoltre, si prevede di impiegare l'acciaio come materiale costruttivo allo scopo di installare una struttura di tipo autoportante esterna all'esistente ma ad essa affiancata eludendo l'onere della demolizione e della successiva ricostruzione, tuttavia eseguibile talvolta su ridotte porzioni per soddisfare esigenze di regolarità. Lo scopo è il miglioramento nella risposta strutturale antisismica e, laddove lo stato di fatto ne sia carente, anche in campo statico. Questa tecnologia sorregge