

## Introduzione

---

Una strategia efficace per la mitigazione del rischio sismico dipende sostanzialmente da tre fattori: a) la stima adeguata della *pericolosità* sismica, ossia la descrizione realistica dei terremoti attesi e degli effetti legati alla propagazione delle onde sismiche; b) la valutazione della *vulnerabilità* delle strutture ed infrastrutture presenti nella regione in esame, in funzione delle loro caratteristiche tecnico-strutturali e del moto del suolo atteso nell'eventualità di un forte terremoto; c) la valutazione dell'*esposizione* di tali strutture ed infrastrutture (cioè del loro "valore", tenendo conto dei contenuti in termini sia di vite umane che di oggetti).

Per ridurre significativamente il rischio associato agli eventi sismici è necessario l'impiego di avanzate metodologie sismologiche per la stima realistica della pericolosità sismica, che consentano la mitigazione dell'impatto dei terremoti, mediante una valutazione preventiva della vulnerabilità e la pianificazione di interventi di messa in sicurezza delle strutture a rischio.

Il problema tipico della stima della pericolosità sismica consiste nella determinazione delle caratteristiche del moto del suolo associabile ai terremoti futuri. Il differente approccio sismologico con cui può essere realizzata la definizione della pericolosità sismica ha portato allo sviluppo di due metodi diversi e complementari: il metodo deterministico (DSHA – *Deterministic Seismic Hazard Analysis*) ed il metodo probabilistico (PSHA – *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*). I primi metodi tecnico-scientifici sviluppati per la stima della pericolosità sismica sono stati quelli deterministici, basati sull'osservazione che la distribuzione dei danni è generalmente correlata con la distanza e con le proprietà fisiche del suolo sottostante. Gli anni '70 hanno visto lo sviluppo di mappe probabilistiche di pericolosità sismica a scala nazionale, regionale ed urbana (microzonazione). Negli anni '90 tali strumenti hanno finito per prevalere sulla cartografia deterministica. La maggior parte degli approcci probabilistici tradizionali, tuttavia, si è dimostrata insoddisfacente in occasione dei più recenti e distruttivi terremoti: i terremoti di Tohoku (Giappone, 2011), Haiti (2010) e Wenchuan (Cina, 2008) sono avvenuti in aree indicate come relativamente sicure nelle mappe di pericolosità (GELLER 2011, STEIN *et alii*, 2012). Recenti studi hanno evidenziato che l'analisi probabilistica (CORNELL, 1968) è formalmente non corretta (e.g. CASTAÑOS & LOMNITZ, 2002; KLÜGEL, 2007a; KLÜGEL, 2007b), poiché fa ricorso a tecniche convolutive e approssimazioni nel processo di calcolo, che possono portare a risultati non realistici.

I principali problemi teorici dell'approccio probabilistico sono superati dal metodo neo-deterministico (NDSHA – *Neo Deterministic Seismic Hazard Analysis*) il quale è basato sul calcolo di sismogrammi sintetici (PANZA *et alii*, 2001) e pertanto non richiede le approssimazioni legate alle relazioni di attenuazione (che vengono usate anche nell'DSHA), generalmente non valide. Rispetto al metodo deterministico classico, l'NDSHA si differenzia anche per l'uso di un ampio set di terremoti di scenario definiti a partire dalle conoscenze disponibili sulla storia sismica e sulla sismotettonica della zona in esame e da quelle relative alle aree ad elevato potenziale sismogenetico (PERESAN *et alii*, 2012c).

Un ulteriore limite delle procedure *standard* per la stima della pericolosità sismica è legato all'assenza di indicazioni sul tempo di occorrenza di un terremoto incombente. È generalmente accettato, infatti, che la possibilità di ottenere una tale informazione, ossia conoscere l'intervallo di tempo in cui è probabile che si verifichi un forte terremoto entro una certa regione, consentirebbe di ridurre significativamente i danni ad esso conseguenti. Le procedure probabilistiche *standard*, tuttavia, forniscono generalmente mappe indipendenti dal tempo, basate sulle proprietà statistiche medie della sismicità nello spazio e nel tempo. I modelli indipendenti dal tempo, infatti, trascurano l'informazione sul tempo trascorso dall'ultimo forte terremoto per le sorgenti considerate, basandosi sull'ipotesi di "stazionarietà" dell'occorrenza dei terremoti. Per superare tale limite, sono state proposte numerose procedure per la stima probabilistica dipendente dal tempo della pericolosità sismica, considerando diversi modelli di ricorrenza (*renewal process models*) come alternativa più adeguata della classica ipotesi di Poisson (occorrenza casuale e "senza memoria" dei terremoti). Questi modelli utilizzano funzioni di densità di probabilità miste per descrivere la ricorrenza dei terremoti e tali funzioni possono differire a seconda della regione considerata; conseguentemente le osservazioni disponibili appaiono spesso insufficienti per vincolare significativamente le distribuzioni di probabilità. Un altro limite dei modelli di ricorrenza utilizzati è la stima del tempo trascorso dall'ultimo terremoto forte: tale valutazione può risultare impossibile se la lunghezza del catalogo dei terremoti è inferiore ai tempi di accumulo e rilascio dell'energia sismica e se non sono disponibili dati paleosismologici rilevanti (DECANINI *et alii*, 2001).

Nel corso degli ultimi anni è stata sviluppata presso l'ICTP, in collaborazione con l'IIIEPT (Accademia delle Scienze Russa, Mosca) ed il DMG (Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste), una procedura integrata che permette di affrontare efficacemente alcuni dei limiti menzionati dell'approccio probabilistico, tra i quali l'assenza di informazioni circa il tempo di occorrenza dei terremoti forti. La procedura integrata (e.g. PERESAN *et alii* 2011) associa l'approccio neo-deterministico per la stima della pericolosità sismica all'informazione spazio-temporale fornita dalle procedure sviluppate per l'identificazione delle aree ad elevato potenziale sismogenetico e per la previsione a medio termine spazio-temporale dei terremoti (i.e. dove gli allarmi sono dichiarati per intervalli temporali di qualche anno e con un'incertezza spaziale di centinaia di chilometri), in fase di avanzata sperimentazione su scala globale.

Questa pubblicazione si propone di fornire una panoramica dettagliata dello sviluppo ed applicazione di questo approccio per la definizione di scenari di pericolosità sismica dipendenti dal tempo. La metodologia è applicata sia all'intero territorio italiano ed aree circostanti, che, con maggior dettaglio, alla giunzione Alpi-Dinardi, sede di sporadici terremoti distruttivi sia in epoca storica (e.g. il terremoto del 1511, al confine tra Italia e Slovenia), che recente (e.g. il terremoto del Friuli del 1976). L'identificazione delle aree ove la probabilità di un forte evento è maggiore del normale, unitamente alla simulazione del moto del suolo, hanno consentito la definizione di scenari neo-deterministici, per il moto del suolo a diversa scala di dettaglio, dipendenti dal tempo, che forniscono elementi fondamentali per la valutazione delle priorità delle azioni di mitigazione del rischio sismico. Gli scenari, che descrivono il moto del suolo al basamento, hanno trovato importante riscontro in occasione di entrambi i terremoti distruttivi che hanno colpito il territorio italiano negli ultimi quattro anni, ossia gli eventi dell'Aquila (2009) e dell'Emilia (2012), come illustrato in dettaglio nei capitoli 1 e 4. Inoltre, il progressivo raffinamento degli scenari neo-deterministici di scuotimento consente la modellazione realistica del moto del suolo a scala molto dettagliata, inclusa la corretta trattazione, almeno dal punto di vista della fisica della generazione e propagazione delle onde sismiche, dei così detti effetti di sito. Tali scenari hanno permesso di evidenziare la dipendenza degli effetti di sito dalle caratteristiche e dalla localizzazione della sorgente sismica, sollevando dubbi sulla validità generale delle conclusioni basate sulle osservazioni connesse ad un singolo evento. I sismogrammi sintetici realistici ottenuti con il metodo NDSHA possono essere prontamente utilizzati, in linea con le indicazioni fornite nella Risoluzione n. 8-00124 in materia di isolamento sismico, recentemente approvata in VIII Commissione della Camera dei Deputati<sup>(1)</sup>.

Accanto alle mappe di pericolosità sismica a scala nazionale, vengono definiti gli scenari di pericolosità sismica dipendenti dal tempo, associando alle aree allertate dalle previsioni a medio termine spazio-temporale dei terremoti i relativi scenari di scuotimento del suolo. Il regolare e continuo aggiornamento delle previsioni, effettuate mediante gli algoritmi CN ed M8S (PERESAN *et alii*, 2005), fornisce infatti le necessarie informazioni spazio-temporali relative al possibile verificarsi di un forte terremoto nel territorio italiano e nell'area Adriatica. L'esperimento di previsione a medio termine spazio-temporale degli eventi sismici che possono interessare la Regione Friuli Venezia Giulia e le aree circostanti, condotto mediante la definizione formale e la trasmissione alla Protezione Civile del Friuli Venezia Giulia (PCFVG) delle indicazioni relative alle aree allertate, si pone all'avanguardia rispetto a progetti internazionali solo recentemente intrapresi o tuttora in fase di definizione per la validazione delle metodologie di previsione dei terremoti (e.g. CSEP). La sperimentazione dei vari metodi di previsione in ambito CSEP, recentemente avviata anche in Italia, presenta infatti diversi problemi (PERESAN *et alii*, 2012a) che vanno preventivamente risolti, affinché i risultati di tale sperimentazione possano essere considerati significativi. Primo fra tutti è il problema dei dati di input che vengono imposti per l'analisi della sismicità: il catalogo italiano della sismicità strumentale per il periodo 1981-2002, il CSI1.1, compilato dall'INGV, risulta condizionato da una significativa sottostima della magnitudo locale, rispetto ai dati strumentali disponibili per gli anni più recenti. Problemi più generali sono invece connessi all'assenza di criteri formali per il confronto di metodi probabilistici e metodi basati sull'analisi dei precursori (*alarm-based*), nonché alla brevità del periodo di test (cinque anni sono insufficienti per una validazione significativa delle previsioni dei terremoti più forti). Il rapporto dell'*International Commission on Earthquake Forecasting* (ICEF), stabilita in seguito del terremoto dell'Aquila, si rifà sostanzialmente a quanto proposto in ambito CSEP, supportando l'utilizzo di metodologie probabilistiche la cui reale capacità di prevedere i forti terremoti italiani resta quantomeno indimostrata, secondo quanto evidenziato da Peresan *et alii* (2012a). L'aspetto certamente più rilevante è connesso alla validazione delle diverse metodologie previsionali, che deve essere effettuata in modo rigoroso (i.e. mediante analisi in tempo reale, con dati cer-

<sup>(1)</sup>Benamati, G., Ginoble, T., Alessandri, A., 2011. 7-00414 Benamati: In materia di isolamento sismico delle costruzioni civili e industriali, Risoluzione approvata dall'VIII Commissione n. 8/00124, Legislatura 16, Seduta di annuncio del 08/06/2011. Bollettino della Camera dei Deputati, 491, All. 5, 388-393.

tamente indipendenti), utilizzando strumenti statistici adeguati e stabiliti a priori, e soprattutto su un intervallo temporale di almeno un decennio, che comprenda un numero sufficiente di forti terremoti. La necessità di mantenere la sperimentazione inalterata per un periodo molto lungo comporta notevoli problemi nell'omogeneità dei dati. Il problema risulta particolarmente rilevante a causa della eterogeneità e discontinuità dei cataloghi della sismicità strumentale italiana compilati dall'INGV a partire dal 1981, che non consente di utilizzare i dati nazionali. Dopo un'accurata analisi delle banche dati globali, è stato naturale decidere di integrare le informazioni contenute nel catalogo UCI2001, utilizzando il catalogo ISC a partire dal 2009 in poi. L'utilizzo di tali dati integrati per il monitoraggio delle anomalie nel flusso sismico ha reso possibile fra l'altro la previsione del terremoto che ha colpito l'Emilia il 21 Maggio 2012. Di tale possibilità era stata data comunicazione alla Commissione Grandi Rischi, nel corso della riunione tenutasi a Roma il 4 Maggio 2012. Pertanto, risulta di fondamentale importanza, proseguire con continuità le ricerche e la sperimentazione sistematica ed in tempo reale del sistema sviluppato per la previsione a medio termine spazio-temporale dei terremoti e la definizione della pericolosità dipendente dal tempo.

La disponibilità dei dati compilati presso l'Osservatorio Geofisico Sperimentale (CRS-OGS) ha permesso di verificare le previsioni fornite dall' algoritmo M8S per il territorio del Friuli Venezia Giulia, e di sperimentare l'algoritmo di previsione del secondo ordine Mendocino Scenario. Accanto all'applicazione delle metodologie consolidate, sono stati valutati ulteriori metodi per l'analisi delle caratteristiche spazio-temporali della sismicità in Italia; in particolare, è stata sperimentata l'applicazione dell'algoritmo, noto come PI (*Pattern Informatics*), già applicato in California ed in altre regioni del globo. Sono stati così evidenziati alcuni aspetti critici connessi con l'interpretazione e valutazione dei risultati ed è stato impostato uno schema per la rigorosa sperimentazione di PI in tempo reale, sia sul territorio italiano che in Iran (RADAN *et alii*, 2013). Il metodo sviluppato ha consentito, fra l'altro, la previsione del forte terremoto (M7.8) che ha colpito l'Iran il 16 Aprile 2013, il cui epicentro cade in una delle aree ad elevata probabilità precedentemente identificate.

Sono analizzate, inoltre, le variazioni temporali dei parametri della relazione di scala unificata per i terremoti (*Unified Scaling Law for Earthquakes*, USLE) al fine di individuare le anomalie eventualmente associate ai forti terremoti, utilizzabili per l'identificazione di precursori formalmente definiti (NEKRASOVA *et alii*, 2011). La metodologia per l'analisi della relazione frequenza-magnitudo dei terremoti permette, secondo un approccio multi-scala, di includere le proprietà frattali della distribuzione degli epicentri nella statistica dei terremoti, fornendo informazioni rilevanti sia per la stima della pericolosità sismica che sulle variazioni spazio-temporali della sismicità. I risultati dello studio condotto evidenziano valori di pericolosità diversi da quelli previsti dalla normativa vigente e sottolineano la necessità di una analisi approfondita di tali differenze e di una verifica della capacità delle diverse mappe di pericolosità sismica di consentire una stima efficace del rischio associato ai futuri terremoti (e.g. NEKRASOVA *et alii*, 2013).

Per consentire una caratterizzazione quantitativa, sistematica e robusta, del potenziale sismogenetico per il Friuli Venezia Giulia e le regioni circostanti, sono state considerate le informazioni fornite dall'analisi di pattern recognition applicata per l'identificazione delle aree ove risulta possibile il verificarsi di forti terremoti (GORSHKOV *et alii*, 2002; 2004). Le indicazioni fornite da questa metodologia, hanno il vantaggio di essere basate sulle informazioni geologiche e morfostrutturali disponibili e di essere indipendenti dalla sismicità passata; particolare attenzione dovrà dunque essere dedicata ai nodi sismogenetici che non risultano tuttora associati ad eventi storici od a faglie riconosciute attive. In particolare, a partire dalla Zonazione Morfostrutturale delineata per l'Arco Alpino e le Dinaridi in scala 1:1.000.000 e dall'identificazione dei nodi sismogenetici (definiti in prima approssimazione come cerchi di raggio prefissato, pari a 25 km), si è proceduto ad una definizione di dettaglio della geometria dei nodi stessi nelle aree ove risulta possibile il verificarsi di terremoti con magnitudo maggiore o uguale a 6.0 (GORSHKOV *et alii*, 2009). La possibilità di delineare i confini strutturali di un nodo sismogenetico, dimostrata mediante estese indagini di campagna, si basa sulla definizione dei lineamenti morfostrutturali di ordine più basso, tracciati a tale scopo utilizzando mappe topografiche di maggior dettaglio (i.e. 1:100.000 - 1:150.000). I nodi definiti secondo il criterio strutturale sono stati confrontati con quelli precedentemente definiti come cerchi di raggio prefissato. Alla giunzione Alpi-Dinaridi, il criterio strutturale consente di ridurre la porzione di territorio ove risultano possibili i terremoti più forti. Accanto alla definizione di dettaglio della geometria dei nodi sismogenetici, sono state acquisite le informazioni disponibili sulle faglie attive. Per consentire il calcolo degli scenari neo-deterministici di moto sismico del suolo connessi alle aree ad elevato potenziale sismogenetico, i parametri delle sorgenti sismiche associabili a ciascun nodo sono stati definiti utilizzando le banche dati disponibili ed acquisendo ulteriori informazioni a scala regionale e nazionale. In un secondo passo, per consentire la modellazione del moto del suolo, i nodi sismogenetici sono stati correlati ai meccanismi focali disponibili e, ove possibile, sono stati associati alle faglie attive (PANZA *et alii*, 2011c).

Con l'intento di migliorare la comprensione dei processi che controllano la cinematica e le caratteristiche principali della sismicità storica e recente lungo il margine nord-orientale della placca Adriatica, è stata condotta un'analisi congiunta delle caratteristiche del rilascio di energia sismica e del campo di deformazione alla giunzione Alpi-Dinaridi. Tale analisi, effettuata mediante la modellazione a blocchi della dinamica della litosfera, ha evidenziato una buona correlazione fra la sismicità sintetica ottenuta ed i nodi sismogenetici (GORSHKOV *et alii*, 2009), suggerendo la necessità di un approfondimento delle ricerche soprattutto nelle aree ove risulta possibile il verificarsi di terremoti forti, secondo la modellazione a blocchi e l'analisi morfostrutturale, ma nelle quali la sismicità storica e strumentale si è estrinsecata solo con eventi di piccola magnitudo. L'assenza di terremoti rilevanti, infatti, può essere naturalmente spiegata dalla insufficiente lunghezza temporale delle osservazioni disponibili.

In aree tettoniche caratterizzate da un regime compressivo e da accrescimento montuoso, come, ad esempio, le Alpi e l'Himalaya, esiste una significativa modulazione stagionale e secolare della sismicità, in antitesi con l'ipotesi di stazionarietà sulla quale si basano le tradizionali stime di pericolosità sismica (PANZA *et alii*, 2011b). Durante l'inverno i terremoti forti risultano meno numerosi rispetto a periodi dell'anno più caldi, quando la neve si scioglie e cessa il suo effetto stabilizzante. Analogamente lo scioglimento dei ghiacciai, su scale temporali dell'ordine di secoli e millenni, può causare deformazioni crostali che modulano la sismicità. In situazioni di distensione, come in Appennino, il processo avviene invece in opposizione di fase. L'identificazione della modulazione climatica stagionale e secolare della sismicità ed i risultati dell'analisi di stabilità delle stime di pericolosità sismica indicano che 500 anni di catalogo non sono sufficienti per caratterizzare la sismicità di un'area (ZUCCOLO *et alii*, 2011). Risultati più stabili si ottengono considerando i nodi morfostrutturali, che forniscono indicazioni a lungo termine sul potenziale sismogenetico e quindi permettono di colmare la lacuna connessa alla limitata copertura temporale dei dati (500 anni). Gli aspetti evidenziati appaiono particolarmente rilevanti ai fini della stima probabilistica della pericolosità sismica (PSHA), per la quale la sismicità passata è fondamentale per il calcolo delle ricorrenze e la stazionarietà è un'ipotesi critica.

Allo scopo di modellare la propagazione di onde sismiche, sono stati effettuati gli studi di tomografia sismica con onde di superficie necessari al raffinamento dei modelli strutturali superficiali (crosta) e profondi (litosfera) a scala regionale e locale. A tal fine è stata effettuata l'analisi FTAN (*Frequency-Time Analysis*), che consente di determinare le curve di dispersione del modo fondamentale delle onde di superficie. Sono state sviluppate ed applicate tecniche di ottimizzazione volte all'individuazione del modello strutturale maggiormente rappresentativo. I modelli strutturali (velocità delle onde S e relativi spessori) definiti per l'area alpina sono stati successivamente raffinati, raggiungendo una risoluzione di  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ , mediante l'inversione congiunta con dati crostali indipendenti, laddove disponibili. Il modello tridimensionale così ottenuto, pur confermando le caratteristiche generali del modello a scala  $1^\circ \times 1^\circ$  (BRANDMAYR *et alii*, 2010), ha consentito di apprezzare non solo l'estrema variabilità dello spessore crostale nell'area alpina e padana, ma anche le eterogeneità presenti nel mantello in corrispondenza delle aree collisionali alpina, subalpina, appenninica e dinarica. I dati di velocità e densità ottenuti forniscono dunque informazioni necessarie alla caratterizzazione sismica ed all'interpretazione geodinamica dell'area in esame, e permettono una migliore comprensione dei processi di collisione in atto ai margini della Placca Adriatica, quali la subduzione alpino-dinarica (BRANDMAYR *et alii*, 2011).

L'approccio NDSHA è stato applicato per la stima della pericolosità sismica per le aree allertate dal monitoraggio della previsione a medio termine spazio-temporale e per le aree ad elevato potenziale sismogenetico in esse comprese. Il metodo utilizzato (PERESAN *et alii*, 2011) si basa sulla possibilità di modellare il moto del suolo in qualsiasi sito di interesse, mediante il calcolo di sismogrammi sintetici realistici, a partire dalle informazioni disponibili sulla struttura della Terra, sulle sorgenti sismiche e sul livello di sismicità dell'area investigata. La definizione delle sorgenti sismiche per il calcolo dei sismogrammi sintetici, utilizza, oltre alle conoscenze disponibili sulla storia sismica e la sismotettonica della zona in esame, anche quelle relative ai nodi sismogenetici (dove risulta possibile il verificarsi di terremoti di magnitudo  $M \geq 6.0$  ed  $M \geq 6.5$ , rispettivamente). Gli scenari neo-deterministici di scuotimento, compatibili con la storia sismica e la sismotettonica della zona in esame, sono ottenuti anche mediante la simulazione di moto del suolo in approssimazione di sorgente estesa fino ad una frequenza massima di 10 Hz e sono quindi definiti anche in termini di PGA, oltre che di DGA (PANZA *et alii*, 2012).

L'aggiornamento sistematico degli scenari neo-deterministici di pericolosità sismica dipendenti dal tempo, associati alle aree allertate dagli algoritmi di previsione a medio termine spazio-temporale, ha consentito di avviare una procedura di validazione rigorosa delle mappe di scuotimento all'avanguardia mondiale. Le mappe aggiornate, infatti, sono state regolarmente trasmesse alla PCFVG con cadenza bimestrale e consentono il confronto in tempo reale con i dati osservati in occasione degli eventuali forti terremoti. Fra gli eventi sismici di maggiore intensità che hanno colpito il territorio italiano nell'ultimo quinquennio, si annoverano il terremoto dell'Aquila e quello dell'Emilia che,

in entrambi i casi, si sono rivelati compatibili con gli scenari precedentemente definiti. In particolare, per quanto riguarda il terremoto dell'Aquila del 6 Aprile 2009, l'epicentro del terremoto è stato localizzato fuori dalle aree allertate dagli algoritmi CN ed M8S per il corrispondente intervallo di magnitudo; si è trattato quindi di un fallimento di previsione. Il 6 Aprile 2009, tuttavia, era in corso un allarme CN nella regione Settentrionale ed il terremoto si è verificato appena fuori (circa 10 km) dalla regione allertata. Pertanto lo scenario di scuotimento, associato all'allarme nella regione Settentrionale definito per il periodo 1 Marzo 2009 – 1 Maggio 2009, ha correttamente previsto le intensità macrosismiche che sono state osservate in seguito al terremoto (PERESAN *et alii*, 2011). Il terremoto dell'Emilia del 21 Maggio 2012 ha correttamente confermato l'allerta per un evento di magnitudo  $M \geq 5.4$  entro la regione CN Settentrionale, dichiarato a partire dal 1 Marzo 2012, risultando dunque un successo di previsione. Inoltre le mappe NDSHA definite per il periodo 1 Maggio 2012 – 1 Luglio 2012 indicavano per l'area epicentrale valori nell'intervallo 0.20 – 0.35 g, in buon accordo con quanto osservato ( $\sim 0.25$  g), mentre la mappa PSHA, che costituisce la base della normativa sismica italiana, prevedeva un valore di PGA inferiore a 0.175 g, sottostimando, quindi, significativamente la pericolosità dell'area (PERESAN & PANZA, 2012).

Le osservazioni raccolte in occasione del terremoto dell'Emilia sono in linea con quanto evidenziato dal confronto delle mappe di pericolosità sismica ottenute secondo i metodi PSHA e NDSHA. Il confronto, effettuato in termini di intensità, ha evidenziato che le mappe NDSHA forniscono valori più elevati di quelli probabilistici, particolarmente nelle aree a maggiore attività sismica (e.g. nodi sismogenetici); viceversa i valori sono più bassi di quelli probabilistici nelle aree a bassa attività sismica, evidenziando una certa tendenza del metodo probabilistico ad “appiattare” le stime di moto del suolo atteso attorno ad un valore medio poco rappresentativo (ZUCCOLO *et alii*, 2011; NEKRASOVA *et alii*, 2013).

Accanto agli scenari di scuotimento al basamento sono stati definiti scenari di dettaglio lungo profili selezionati per la città di Trieste, utilizzando modelli strutturali locali lateralmente eterogenei che permettono di considerare le caratteristiche geologiche locali (i.e. gli effetti di sito), secondo la procedura descritta da Vaccari *et alii* (2005). L'elevata densità abitativa dell'area e la rilevante pericolosità sismica di alcune sue zone hanno suggerito l'opportunità di focalizzare l'analisi proprio sul capoluogo regionale. La presenza dei sedimenti marini e dei riporti nella zona del Porto Vecchio è la causa di un incremento delle ampiezze dei segnali, pur all'aumentare della distanza epicentrale, e di una maggior durata dello scuotimento, che si traducono in una maggior pericolosità per l'edificio. L'amplificazione locale (ossia i così detti “effetti di sito”), inoltre, risulta dipendente dalla specifica configurazione sorgente-sito, e ciò evidenzia la necessità di considerare un ampio insieme di terremoti di scenario per quantificare efficacemente la pericolosità del sito stesso.

È stato infine sviluppato un approccio neo-deterministico per la stima della pericolosità da tsunami. La capacità del metodo di descrivere l'ampiezza massima dell'onda ed il relativo tempo di arrivo, è stata verificata con successo mediante la simulazione del devastante tsunami che ha colpito il Giappone nel 2011 (BISIGNANO *et alii*, 2011). Successivamente il metodo è stato applicato allo studio della pericolosità da tsunami per la città di Trieste, considerando una serie di possibili terremoti di scenario localizzati nella zona di Spalato e nella zona di Ancona. Tali risultati possono costituire il dato di partenza per studiare gli effetti di ingressione dell'onda sulla costa, effettuando modellazioni più dettagliate che tengano conto delle caratteristiche batimetriche e topografiche specifiche del sito in esame, le quali possono determinare un'amplificazione significativa rispetto all'onda entrante. I risultati dello studio hanno evidenziato che, sebbene nel Mare Adriatico il fenomeno sia chiaramente molto più contenuto rispetto alle aree oceaniche, tuttavia può causare danni non trascurabili a persone, strutture portuali ed altre attività produttive costiere anche in bacini più piccoli.

I risultati ottenuti evidenziano l'eccessiva dipendenza delle mappe PSHA dalle ipotesi sulla ricorrenza dei forti terremoti, che sono caratterizzate da notevoli incertezze e spesso si sono rivelate errate; tale osservazione ha trovato drammatica conferma nei recenti terremoti dell'Emilia (2012) e del Giappone (2011). Pur essendo caratterizzati da periodi di ritorno estremamente lunghi, tali terremoti si sono verificati pochi anni dopo la pubblicazione delle mappe, che si sono rivelate fatalmente sottostimate e quindi prive di capacità prognostiche (e.g. STEIN *et alii*, 2012; WYSS *et alii*, 2012). D'altra parte il metodo NDSHA, che fornisce stime della pericolosità cui solo in un secondo momento viene associata, se necessario, la ricorrenza (PERESAN *et alii*, 2013) ha fornito valori ben confrontabili con quelli registrati in occasione del terremoto dell'Emilia ed ha confermato le capacità prognostiche già parzialmente evidenziate in occasione del terremoto dell'Aquila del 2009.

In un'ottica di prevenzione, si ritiene essenziale che almeno le strutture strategiche e pubbliche siano progettate in modo da resistere ai futuri forti terremoti. Quando si verifica un terremoto con una data magnitudo  $M$  lo stesso genera un moto sismico del suolo che non dipende certamente dalla sua sporadicità nell'area di studio. In questa

prospettiva, i parametri di progettazione antisismica non devono essere ridotti o aumentati in funzione della maggiore o minore sporadicità del terremoto, come previsto da PSHA, ma devono tener conto dei valori di magnitudo definiti in base alla storia sismica e alla sismotettonica, come previsto dall'approccio NDSHA. Conseguentemente, per passare da un'ottica focalizzata sulla gestione dell'emergenza ad una nuova prospettiva basata sulla prevenzione, è necessario rivalutare sostanzialmente l'ambito di applicabilità di PSHA.

È proprio in tale ottica che in sede nazionale è stata presentata una proposta di Legge sulla "Delega al Governo per l'adozione del Piano antisismico nazionale" (Proposta di legge C. 1184 dell'11 giugno 2013), sottoscritta dall'On. Benamati e da altri sedici parlamentari, dove si propone di aggiornare la classificazione sismica del territorio nazionale anche mediante l'affiancamento di diverse metodologie per la valutazione del rischio. Si chiede cioè che unitamente al metodo PSHA, sino ad ora adottato per la definizione delle mappe di pericolosità sismica, ci si avvalga anche del metodo NDSHA, in grado di superare, secondo i proponenti, i limiti insiti nell'approccio probabilistico sin qui evidenziati.