



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA

35° CONVEGNO NAZIONALE

RIASSUNTI ESTESI DELLE COMUNICAZIONI

LECCE

22-24 novembre 2016

CASTELLO CARLO V



ISTITUTO NAZIONALE
DI OCEANOGRAFIA E DI
GEOFISICA SPERIMENTALE



16° CONVEGNO NAZIONALE



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA



35° convegno
nazionale

Lecce
22-24 novembre 2016
Castello Carlo V

RIASSUNTI ESTESI
DELLE COMUNICAZIONI



ISTITUTO NAZIONALE DI
OCEANOGRAFIA E DI
GEOFISICA SPERIMENTALE



16° Convegno Nazionale

MODELLAZIONI NUMERICHE 3D PER IL CALCOLO DEL MOTO DEL SUOLO IN EMILIA-ROMAGNA: COSTRUZIONE E VALIDAZIONE DEL MODELLO

P. Klin¹, G. Laurenzano¹, M. A. Romano¹, E. Priolo¹, L. Martelli²

¹ *Centro Ricerche Sismologiche, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), Trieste*

² *Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, Bologna*

È noto come nei siti caratterizzati da una configurazione geologica complessa, come quella propria dei bacini alluvionali, le caratteristiche dello scuotimento durante un terremoto possono differire notevolmente da quanto previsto dall'applicazione di leggi di attenuazione ordinarie. Un caso emblematico è rappresentato dal moto del suolo registrato nella Pianura Padana durante la sequenza sismica dell'Emilia nel 2012 (Luzi *et al.*, 2013).

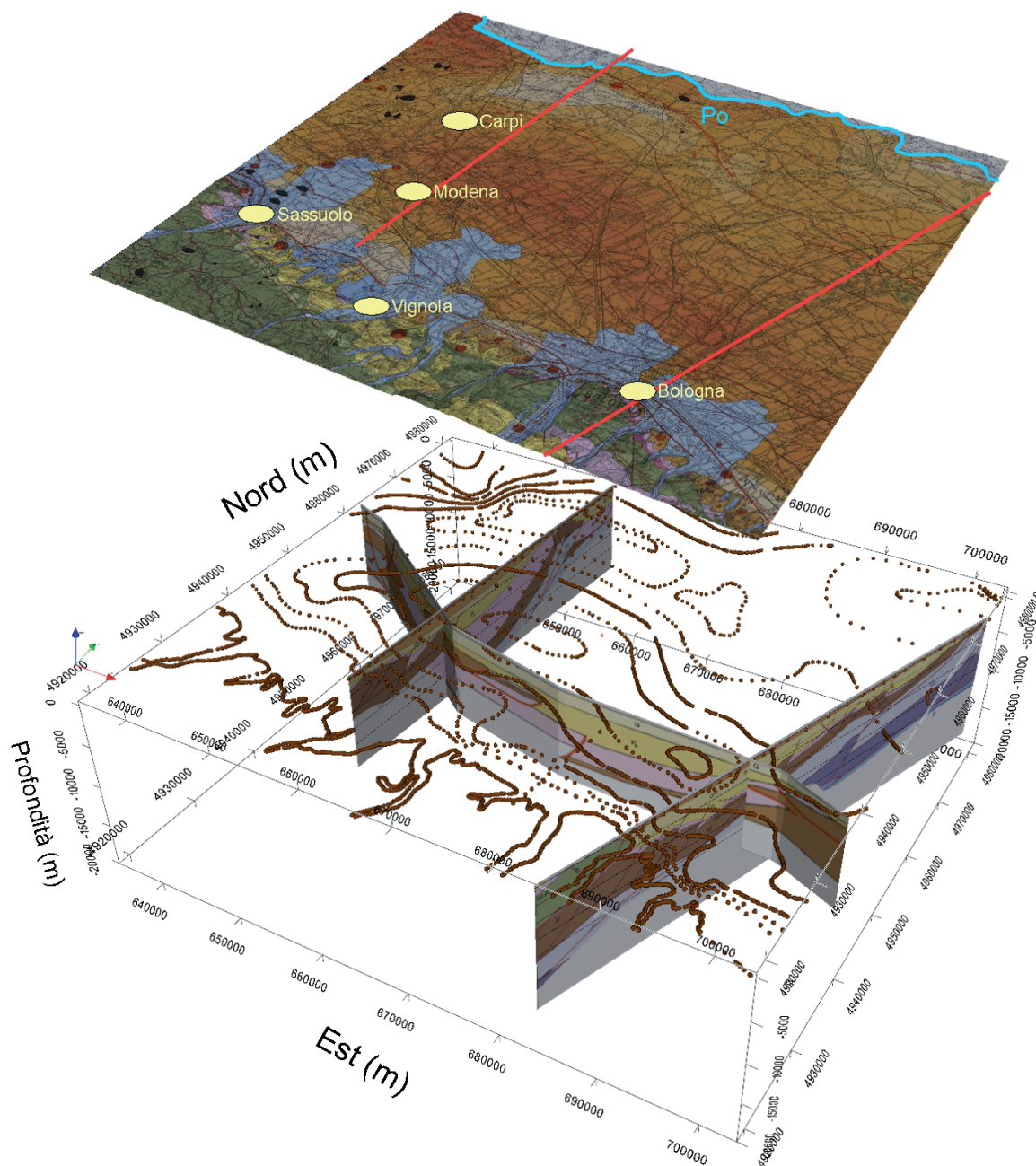


Fig. 1 – La costruzione del modello geologico 3D si è basata sull’integrazione dei dati disponibili in letteratura.

Il presente lavoro si basa sull’idea che una buona conoscenza della struttura geologica possa contribuire alla riduzione dell’incertezza epistemica nella previsione dello scuotimento atteso mediante simulazioni numeriche della propagazione delle onde sismiche nelle rocce tra la sorgente e il sito di osservazione. Il contributo descrive la costruzione di un modello geologico tridimensionale (3D) in formato digitale di una parte della Pianura Padana e la validazione del modello ai fini della previsione dello scuotimento atteso mediante strumenti di calcolo numerico del campo d’onda sismico in mezzi eterogenei 3D.

Le simulazioni numeriche del moto del suolo basate su modelli geologici 3D sono state finora impiegate per riprodurre le forme d’onda osservate nei bacini alluvionali in molti casi notevoli, principalmente in California e in Giappone. Per quanto riguarda il bacino della Pianura Padana sono state eseguite simulazioni 3D ad esempio da Vuan *et al.* (2011) e da Molinari *et al.* (2015). Queste simulazioni si basano su modelli 3D che descrivono il bacino nella sua interezza ma con un dettaglio inferiore e si limitano perciò a periodi di oscillazione relativamente lunghi

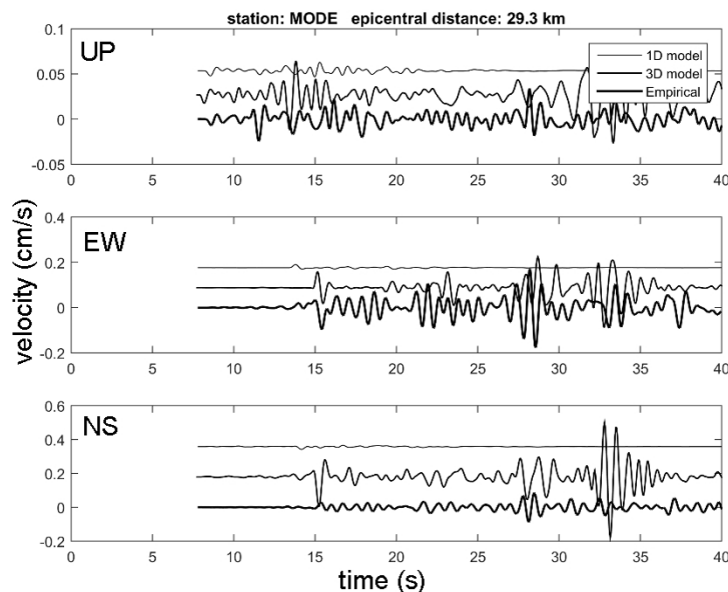


Fig. 2 – Le simulazioni basate sul modello 3D hanno prodotto forme d'onda in alcuni casi molto simili a quelle osservate in termini sia di ampiezza sia di durata. Qui l'esempio della stazione di MODE (Modena) per la quale il modello 3D riesce a riprodurre nella componente EW delle importanti fasi osservate a più di 27 secondi dall'inizio dell'evento.

temporanee, che hanno registrato tale sequenza. Abbiamo raccolto da letteratura (ad esempio Boccaletti e Martelli, 2004) i dati riguardanti la struttura geologica fino ad una profondità di 20 km (Fig. 1) e abbiamo costruito un modello digitale 3D utilizzando il software commerciale GeoModeller® della Intrepid Geophysics. Da un punto di vista geologico, l'area investigata è caratterizzata dalla sistema a pieghe e sovrascorrimenti NNE vergente dell'Appennino Settentrionale il cui fronte esterno è sepolto dai depositi continentali quaternari della Pianura Padana.

I valori delle proprietà viscoelastiche di ciascuna unità geologica, necessari per applicare il modello alle simulazioni numeriche della propagazione delle onde sismiche, sono stati ricavati da letteratura (ad esempio Montone e Mariucci, 2015). Date le diverse caratteristiche delle litologie, i valori della velocità sismica V_s all'interno del modello variano di un fattore superiore a 10 con un rapporto V_p/V_s che arriva fino a 4.45 negli strati superficiali, ponendo un caso di non facile soluzione per le simulazioni numeriche in termini di stabilità ed accuratezza. Le simulazioni numeriche sono state eseguite mediante il codice FPSM3D sviluppato presso l'OGS (Klin *et al.*, 2010) e la cui accuratezza nelle applicazioni alle simulazioni del moto del suolo in modelli realistici di bacini sedimentari è stata verificata di recente (Chaljub *et al.*, 2015). Vista l'onerosità computazionale, le simulazioni con il codice FPSM3D sono state eseguite utilizzando le risorse di calcolo ad alte prestazioni disponibili presso il consorzio CINECA.

Al fine di evidenziare come il modello costruito permetta di prevedere alcune importanti caratteristiche del moto del suolo osservate nell'area, abbiamo riprodotto numericamente due eventi sismici di magnitudo $M=4.2$ della sequenza del 2012. La scelta di simulare eventi minori invece di quelli principali è stata dettata dalla necessità di limitare gli effetti della complessità della sorgente sismica nelle forme d'onda. Abbiamo quindi confrontato quantitativamente le forme d'onda sintetiche dal modello 3D con le forme d'onda sintetiche ottenute da un modello semplificato a strati piani paralleli (modello 1D) e con quelle registrate dalle stazioni accelerometriche dislocate nell'area (ITACA, Pacor *et al.*, 2011). Le simulazioni basate sul modello 3D hanno permesso di riprodurre sia le ampiezze sia le durate delle forme d'onda osservate con un livello di somiglianza drasticamente migliore rispetto al modello 1D (Fig.

(dell'ordine di alcuni secondi). Nel presente lavoro abbiamo utilizzato un modello più dettagliato di una zona più limitata, che ci ha permesso di riprodurre alcune caratteristiche osservate nelle forme d'onda registrate in una banda di frequenze più ampia. In particolare è stato possibile evidenziare gli effetti delle complessità strutturali sulle forme d'onda fino ad una frequenza massima di 2 Hz.

L'area di studio consiste in un quadrato di 70 km di lato, che si estende dalla destra orografica del Po (a nord) fino al fronte morfologico dell'Appennino Settentrionale (a sud) e comprende le città di Bologna e Modena. Nella parte settentrionale l'area di studio racchiude la zona epicentrale della sequenza sismica del 2012 ed un buon numero di stazioni fisse e

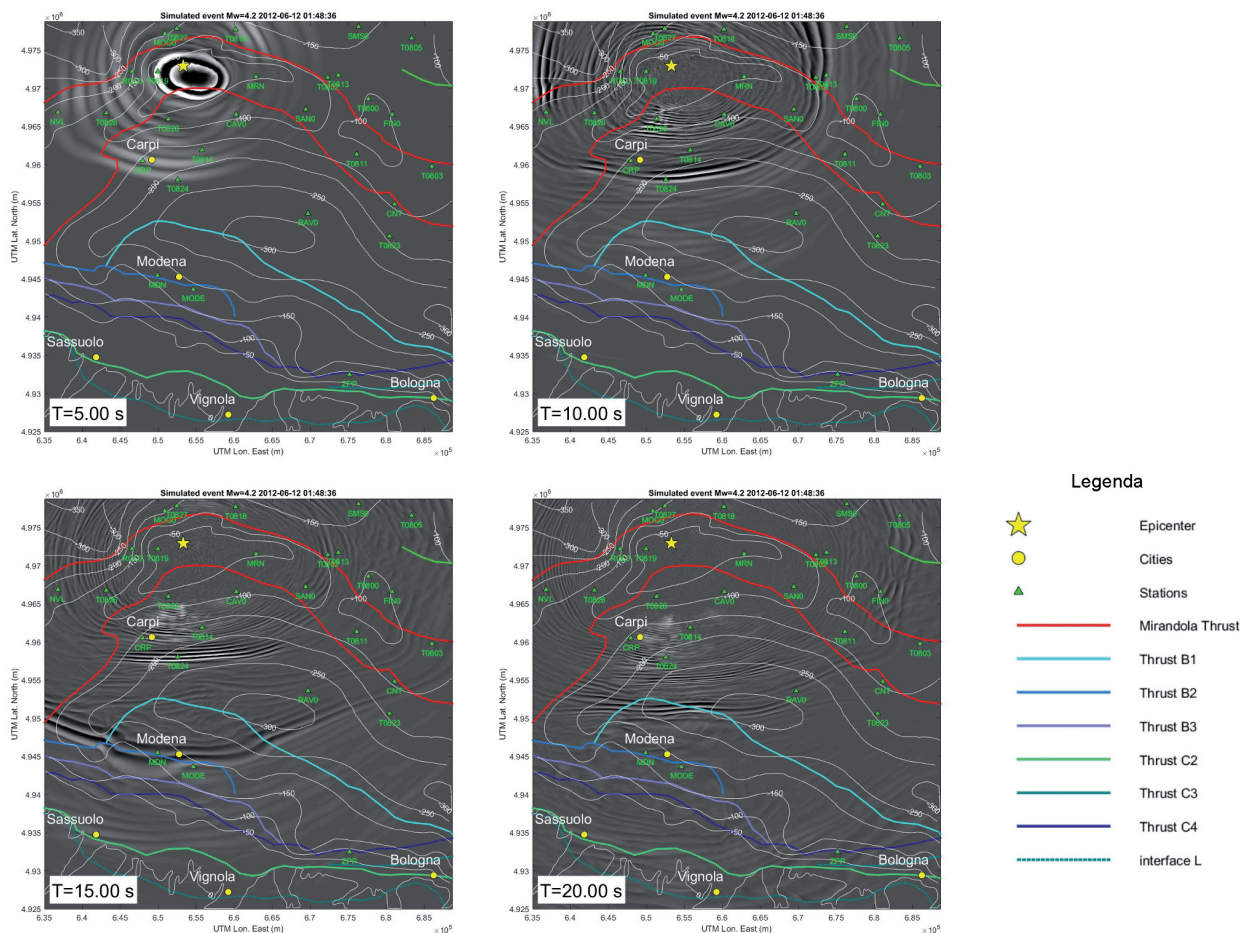


Fig. 3 – Istantanee dell’ampiezza del campo d’onda in superficie per uno degli eventi simulati. Le isolinee bianche rappresentano la profondità dei suoli più superficiali (età inferiore ai 450.000 anni). Si nota come il campo d’onda sia influenzato dalla presenza delle due anticlinali di Mirandola (traccia rossa) e di Modena (tracce azzurre). Si possono individuare le fasi osservate dopo 27 secondi nella forma d’onda nella stazione MODE in Fig. 2 con il treno di onde di superficie generatosi sull’anticlinale di Mirandola e che attraversa il bacino da nord a sud.

2). Le simulazioni 3D hanno inoltre evidenziato chiaramente gli effetti della presenza delle anticlinali sepolte e delle variazioni nello spessore dei depositi su alcune caratteristiche del moto del suolo osservate durante la sequenza del 2012 (Fig. 3).

Il modello 3D costruito offre uno strumento per la stima numerica del moto del suolo atteso nell’area considerata nella banda di frequenze fino a 2 Hz e rappresenta un punto di partenza per futuri aggiornamenti con l’integrazione di ulteriori dati geologici e geofisici, che potrebbero permettere delle previsioni numeriche in una banda di frequenze più ampia.

Bibliografia

Boccaletti M. e Martelli L., a cura di; 2004: *Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000 e note illustrative*. Regione Emilia-Romagna-Servizio geologico, sismico e dei suoli – CNR-IGG, sez. Firenze. Selca, Firenze.

Chaljub, E., E. Maufroy, P. Moczo, J. Kristek, F. Hollender, P.-Y. Bard, E. Priolo, P. Klin, F. De Martin, Z. Zhang, et al.; 2015: *3-D numerical simulations of earthquake ground motion in sedimentary basins: Testing accuracy through stringent models*. Geophys. J. Int. 201, 90–111.

Klin, P., Priolo, E., Seriani, G.; 2010: *Numerical simulation of seismic wave propagation in realistic 3-D geo-models with a Fourier pseudo-spectral method*. Geophys. J. Int. 183, 905-922.

L. Luzi, F. Pacor, G. Ameri, R. Puglia, P. Burrato, M. Massa, P. Augliera, G. Franceschina, S. Lovati and R. Castro; 2013: *Overview on the Strong-Motion Data Recorded during the May–June 2012 Emilia Seismic Sequence*. Seism. Res. Letters 84, 4.

- Molinari I., Argnani A., Morelli A., Basini P.; 2015: *Development and Testing of a 3D Seismic Velocity Model of the Po Plain Sedimentary Basin, Italy*. Bull. Seismol. Soc. Am. 105, 753–764.
- Montone P. and Mariucci M. T.; 2015: *P-wave Velocity, Density, and Vertical Stress Magnitude Along the Crustal Po Plain (Northern Italy) from Sonic Log Drilling Data*. Pure Appl. Geophys. 172, 1547–1561.
- Pacor, F., R. Paolucci, L. Luzi, F. Sabetta, A. Spinelli, A. Gorini, M. Nicoletti, S. Marcucci, L. Filippi, M. Dolce; 2011: *Overview of the Italian strong motion database ITACA 1.0*. Bull. Earthq. Eng., 9 (6), 1723–1739.
- Vuan, A., P. Klin, G. Laurenzano, and E. Priolo; 201: *Far-source longperiod displacement response spectra in the Po and Venetian Plains (Italy) from 3D wavefield simulations*, Bull. Seismol. Soc. Am., 101(3), 1055–1072.