

## La Risposta Sismica Locale: analisi 2D e 3D nel sito di Spoltore (Pescara)

Monia Calista, Barbara Di Giandomenico, Massimo Mangifesta, Antonio Pasculli

Centro Ricerche e Studi Sperimentali per le Geotecnologie (CeRS-Geo)

Università degli studi Chieti-Pescara

Campus Universitario Madonna delle Piane, 66013 – Chieti, m.calista@unich.it, b.digiandomenico@unich.it, m.mangifesta@unich.it, a.pasculli@unich.it

### *Evaluation of the local seismic response: 2D and 3D analyses in the area of Spoltore (Italy)*

**ABSTRACT:** In the within of the studies for the reduction of the seismic risk, the numerical approach supplies ulterior a valid instrument of surveying. The analysis of Local the Seismic Answer is without doubt that more used demanding, however, the application of multidiscipline that the problem previews the combined effort of various scientific professionalities in how much turns out very complex. One before fundamental phase is of the situated object of study to care of property and the characterization geometries bedrock physicist-mechanics of the materials present. Therefore it comes defined a input seismic representative of the waited for earthquake. The situated area taken in examination is Spoltore (Pescara - Abruzzi) interested from seismic events of particular intensity, but considered zone 3 second the classification of the norm. In this job they come introduces first turns out you to you of a study that has the main scope to confront applicability and limits of the different calculation codes base to you on analysis 2D and 3D and to estimate the correspondence of they give obtained to you with the damages records to you, is for how much adheres their distribution, is for their intensity. The main disadvantage of use of codes to inferior geometric dimensionality resides in the necessity to characterize the more meaningful section for the scopes of the analysis, while in a simulation 3D they are not introduced, at least these types of disadvantages. In the specific for the common of Spoltore, appraisal of the geologic, geomorphologic, geotechnical conditions is demanded one and seismostratigraphic able premises to produce phenomena of local amplification. The technical data in the area have been uses you in order to characterize the geomeccanic behaviour of the materials and the geometric relationships to use as base of analysis for the numerical calculations. They give to you elaborates from the modelling allow to you to estimate the entity of the amplifications in the area and to calculate spectra of answer and factors of amplification.

*Key terms:* FLAC , Response Spectra, Amplification Factor

*Termini chiave:* FLAC, Spettri di Risposta, Fattore di Amplificazione

### **Riassunto**

Nell'ambito degli studi per la riduzione del rischio sismico, l'approccio numerico fornisce un ulteriore valido strumento d'indagine. L'analisi della Risposta Sismica Locale è senza dubbio quella più utilizzata richiedendo, tuttavia, un'applicazione multidisciplinare che preveda lo sforzo congiunto di diverse professionalità scientifiche in quanto il problema risulta molto complesso.

Una prima fondamentale fase è la caratterizzazione del sito oggetto di studio a riguardo delle geometrie del sottosuolo e le proprietà fisico-meccaniche dei litotipi presenti. Quindi viene definito un input sismico rappresentativo del terremoto atteso.

Il sito preso in esame è il capoluogo del Comune di Spoltore (Pescara - Abruzzo) non interessato da eventi sismici di particolare intensità, ma considerato zona 3 secondo l'ultima classificazione della normativa.

In questo lavoro vengono presentati i primi risultati di

uno studio che ha lo scopo principale di confrontare applicabilità e limiti dei differenti codici di calcolo basati su analisi 2D e 3D e valutare la corrispondenza dei dati ottenuti con i danni registrati, sia per quanto attiene la loro distribuzione areale, sia per la loro intensità.

Il principale svantaggio dell'utilizzo di codici a dimensionalità geometrica inferiore risiede nella necessità di individuare la sezione più significativa per gli scopi dell'analisi, mentre in una simulazione 3D non si presentano, almeno, questi tipi di inconvenienti.

Nello specifico per il comune di Spoltore, è stata condotta una campagna di indagini geologiche, geomorfologiche, geotecniche e seismostratigrafiche locali allo scopo di valutare quali siano le caratteristiche di eventuali fenomeni di amplificazione locale.

I dati tecnici reperiti nell'area sono stati utilizzati per caratterizzare il comportamento geomeccanico dei materiali ed i rapporti geometrici da utilizzare come base di analisi per i calcoli numerici.

## 1. Introduzione

La realizzazione di uno studio per la valutazione della risposta sismica locale può essere effettuata attraverso diversi approcci, che vengono distinti in metodologie qualitative, semplificate, analitiche e numeriche.

Nel presente lavoro è stata scelta una metodologia di tipo quantitativo che può essere schematizzata nel seguente modo:

- Definizione del modello geologico-tecnico attraverso il contributo integrato delle informazioni desunte dalla caratterizzazione geologico-geomorfologica di superficie e ricerche bibliografiche;
- Determinazione dei parametri di input attraverso parametrizzazione fisico-meccanica dei litotipi indagati;
- Definizione del moto di input;
- Esecuzione delle modellazioni dinamiche (bi e tridimensionali) in grado di fornire in fase di output spettri di risposta e fattori d'amplificazione.

Attualmente il centro abitato di Spoltore, in base al PRG in vigore, è stato oggetto di una forte espansione urbanistica lungo le strade principali che scendono dal centro storico del paese e nella parte orientale dell'area di studio. In relazione alla carta redatta si desume che in tali zone, data l'elevata amplificazione misurata, sia consigliato uno studio approfondito del comportamento sismico del terreno in condizioni dinamiche.

## 2. Inquadramento geologico-geomorfologico

L'area in esame rientra nel complesso sistema strutturale dell'Appennino centrale; infatti è inclusa nel bacino di avanfossa plio-pleistocenica, il quale affiora in continuità dalle pendici del gruppo del Gran Sasso-Maiella fino alla costa adriatica.

La zona alla quale appartiene l'area in esame, è inclusa nella fascia pedemontana a ridosso della costa adriatica, caratterizzata da una serie di dorsali che di rado superano le poche centinaia di metri e da estesi tabulati subpianeggianti che degradano verso il mare dolcemente e verso il fiume Pescara. I sollevamenti tettonici e le oscillazioni eustatiche verificatesi nel Quaternario hanno avuto un ruolo determinante nel delineare l'attuale configurazione del paesaggio (foto 1).



Foto 1 - Alto morfologico di Spoltore  
*Morphologic high of Spoltore*

Infatti i sollevamenti hanno rinnovato continuamente i dislivelli e le oscillazioni eustatiche hanno contribuito ad aumentare o diminuire il potere erosivo dei corsi d'acqua. Il reticolo idrografico di quest'area risulta essere fitto e ramificato, proprio dei terreni argillosi a scarsa permeabilità.

Il substrato risulta formato dai termini dell'avanfossa pliocenica costituito da argille di colore grigio-azzurro, affioranti sulle pendici del rilievo collinare e su quelle circostanti. In posizione di alto stratigrafico, al di sopra delle argille di base, risulta presente un deposito sabbioso di chiusura della sequenza di bacino. La delineazione della struttura geologica di Spoltore, è da ricollegare ai fenomeni di tettonica e alle diverse fasi di sedimentazione ed erosione che si sono succedute in questo tratto del fiume Pescara in epoca pliocenica e quaternaria. Nella sua formazione e nella delineazione delle forme del territorio attualmente presenti, il fattore determinante è stato svolto dalla tettonica che ha portato alla fagliazione ed al rilassamento di blocchi verso il fiume Pescara in seguito a una tettonica di tipo distensivo che si è susseguita alla formazione della catena appenninica. Pertanto il territorio attuale è il risultato di un modellamento legato ad un riassetto sedimentario con la formazione, alla fine, di un piano morfologico unico legato ad un modesto sollevamento generale secondo la componente NO-SE. Successivamente, l'azione erosiva dei corsi d'acqua del Pescara e del fosso Salvadonne a Sud e del fosso Grande a Nord, hanno contribuito ad isolare l'alto morfologico sul quale è stata costruita la città di Spoltore.

Dalle perforazioni di sondaggio eseguite nella porzione sommitale della struttura, al contorno ed all'interno del centro storico, si rinviene che la successione dei terreni, presenta una correlazione abbastanza lineare, rappresentata da depositi sabbiosi e limo-sabbiosi, sovrastanti la formazione di base delle argille grigio-azzurre (Fig.1). Tale successione stratigrafica locale è legata all'evoluzione tettonica pleistocenica e quaternaria dell'area che ha delineato la formazione di un bacino subsidente ed alle fasi trasgressive e regressive del livello del mare, che hanno favorito la messa in posto delle sabbie sommitali.

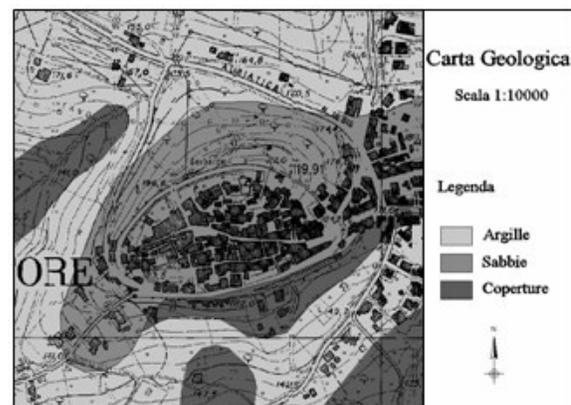


Fig. 1 – Carta geologica del centro storico di Spoltore  
*Geologic Map of the historical center of Spoltore*

### 3. Metodo di analisi

Il lavoro prevede un'analisi dinamica del centro storico di Spoltore per poter studiare le amplificazioni locali legate alla combinazione di diversi fattori quali le geometrie del sottosuolo e le proprietà dei materiali.

In questa trattazione vengono svolte analisi bidimensionali e tridimensionali utilizzando rispettivamente i codici di calcolo FLAC-2D e FLAC-3D.

Particolare attenzione è stata rivolta alla ricostruzione del modello geometrico e fisico in base alla carta topografica, a quella geologica e a sondaggi e down-holes reperiti.

Dell'intera area per il modello 3D è stata dunque considerata una zona ristretta del comune di Spoltore relativa al centro storico, mentre sono state analizzate due

sezioni bidimensionali realizzate lungo linee con una discreta copertura per mezzo di indagini sismiche (down hole).

Come è noto, è necessario prestare particolare attenzione alle dimensioni delle meshes che costituiscono la griglia numerica.

I risultati migliori si hanno per le meshes più piccole considerate. La differenza della meshatura oltre ad un riscontro qualitativo, cioè la maglia più piccola ha un risultato più accurato e un monitoraggio più dettagliato (Fig. 2b) rispetto all'imprecisione di history estratte da modelli con la maglia più grande (Fig. 2a), ha anche un riscontro qualitativo per modelli numerici più complessi, cioè maglie più piccole hanno valori di accelerazioni maggiori rispetto a quelle dei modelli con maglie più grandi.

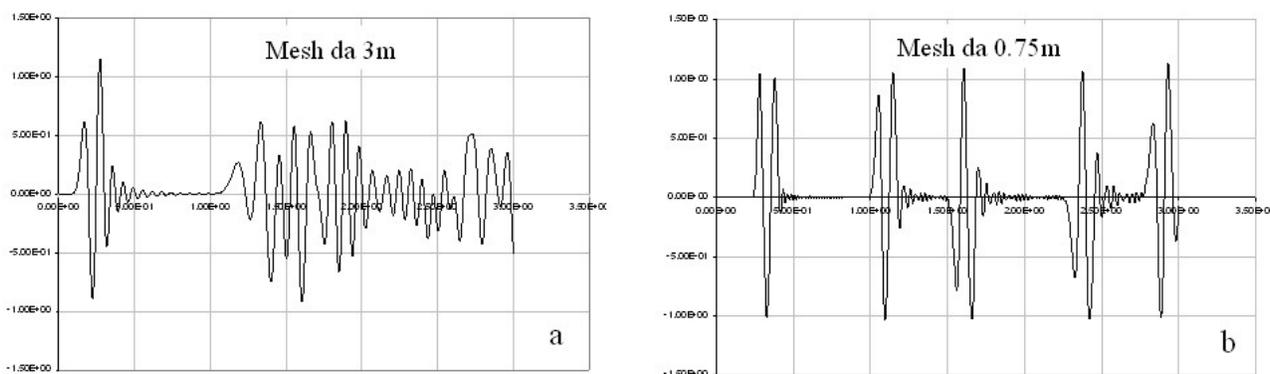


Fig. 2 – Regrazioni di due benchmark con meshes di diversa dimensione: a)risultato con mesh più grande, b)risultato con mesh più piccola

*Recordings of two benchmarks with meshes of various dimension: a)result with bigger mesh, b)result with smaller mesh*

In questo caso specifico, seguendo le formule riportate in letteratura, la griglia di discretizzazione scelta non deve superare i 5 m in quanto  $\Delta h = V_s / K f = \lambda / K$  dove  $K$  è una costante che nel FLAC assume il valore di 10,  $V_s$  è la velocità delle onde SH e  $f$  è la frequenza nella quale si ha la massima ampiezza nella FFT effettuata sull'input utilizzato (3 Hz).

Nel calcolo della dimensione della mesh, la velocità caratteristica più bassa adottata è quella inerente al materiale con proprietà più scadenti (in questo esempio sono state considerate le coperture con una velocità di 157 m/s).

Il modello costitutivo utilizzato per questo tipo di analisi è il modello elastico il quale richiede proprietà meccaniche come densità, modulo di taglio e modulo di compressibilità riportati in tabella 1.

Una volta riprodotto il modello fisico, viene elaborato l'input da utilizzare riferito alle registrazioni di onde SH. Come input è stato considerato un accelerogramma fornito dalla Regione Toscana, sia per mancanza di dati relativi ad accelerogrammi registrati nell'area di Spoltore, sia per gli scopi del presente articolo che si prefigge, essenzialmente, la discussione di analisi parametriche.

Tabella 1 – Proprietà meccaniche dei litotipi presenti  
*Lithotypes mechanical properties*

	Densità (kN/m <sup>3</sup> )	Bulk (MPa)	Shear (MPa)
Coperture (covering)	19	122	46.8
Sabbie (sands)	19.5	312	144
Argille (clay)	21	9152	1344

Successivamente, l'accelerogramma è stato scalato secondo il massimo PGA riscontrato dall'ultima classificazione sismica che pone il comune di Spoltore nella zona tre con massima accelerazione orizzontale di 0.15 g (Fig.3).

Nell'analisi 3D l'input è stato applicato alla base secondo la direzione EW. Un discorso analogo può essere affrontato per le analisi 2D in quanto sono state eseguite due analisi in base alla tipologia di input utilizzato, lasciando fisso per entrambe la base come punto di applicazione.

Nella prima tipologia di studio è stato applicato lo stesso input considerato per il modello 3D e nella seconda è stato

inserito l'input proiettato lungo la direzione di entrambe le sezioni.

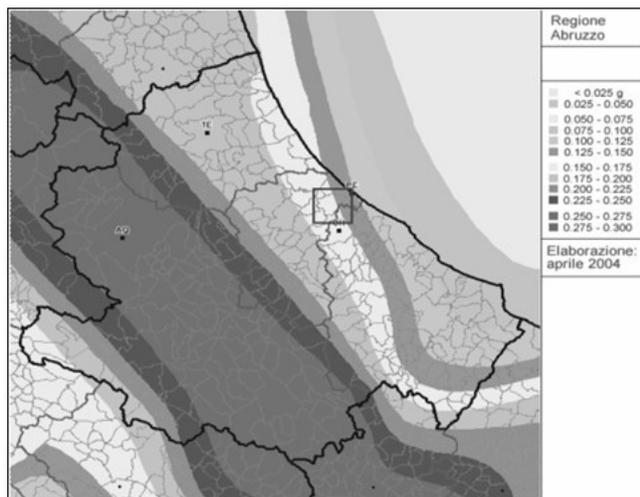


Fig. 3 - Classificazione sismica della regione Abruzzo  
*Seismic classification of the Abruzzo region*

Per l'analisi dinamica vengono monitorati alcuni punti in superficie e di questi vengono registrate le componenti orizzontali dell'accelerazione, dai quali è stato possibile calcolare il fattore di amplificazione per ogni punto monitorato. Il fattore di amplificazione è inteso come il rapporto tra l'intensità spettrale di output e l'intensità spettrale di input.

Per il fenomeno della dissipazione interna, è stato considerato, quindi, il modello del "damping di Rayleigh", implementato nel FLAC. La sua caratteristica principale è di variare con la frequenza dell'input sismico, eccetto in un range, attorno ad una frequenza fornita in input dall'utente, in cui si mantiene costante. Pertanto è stata assunta la strategia di seguito sommariamente descritta. Si è considerata l'amplificazione sismica in ogni punto monitorato, conseguente all'input sismico scelto, senza considerare, però, alcuna dissipazione interna. Per ogni punto virtuale monitorato, si è quindi analizzata la frequenza alla quale si è ottenuto il massimo valore di amplificazione. La frequenza così individuata è stata assunta come frequenza naturale di risonanza del sistema parziale costituito dalle zone nell'intorno del punto considerato. Nelle tabelle 2 e 3 sono stati riportati i singoli valori delle frequenze di risonanza per ogni nodo monitorato. Infine, per semplicità, è stata considerata la frequenza media aritmetica di tutte le frequenze e, rispetto a questa, è stato utilizzato il modello di Rayleigh con una dissipazione del 5%.

Dalle considerazioni effettuate sugli spettri di amplificazione ottenuti con i due modelli di calcolo numerico, si verifica, congruentemente con analisi analitiche, che la funzione di amplificazione non è solo una proprietà del sito ma dipende dalla combinazione tra le

caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, ampiezza e contenuto in frequenza del moto sismico del basamento e incidenza del comportamento non lineare dei terreni.

Tabella 2 – Frequenze di risonanza per i nodi monitorati della sezione 1

*Resonance frequencies of the recording nodes of section 1*

	Nodo 1	Nodo 2	Nodo A	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5
Sez 1	6.5	10	5.5	8.5	6.5	5.5
Sez 1 cos	1.80	9.19	1.80	1.80	3.59	1.80

Tabella 3 – Frequenze di risonanza per i nodi monitorati della sezione 2

*Resonance frequencies of the recording nodes of section 2*

	Nodo 6	Nodo 7	Nodo A	Nodo 8	Nodo 9
Sez 2	1.56	5.56	1.56	1.56	1.56
Sez 2 cos	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59

I punti monitorati nel modello 3D sono ubicati nella stessa posizione delle due sezioni 2D corrispondenti ai due spaccati che tagliano il modello 3D lungo due direzioni che possono approssimarsi a NS e EW la cui ubicazione è riportata in figura 4.

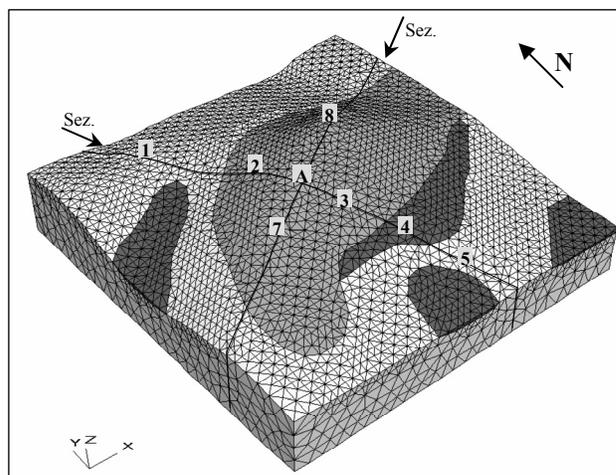


Fig. 4 – Modello 3D con ubicazione delle sezioni considerate nelle analisi bidimensionali ed ubicazione dei punti monitorati  
*Numerical 3D view of the system, with location of the sections considered in the bidimensional analyses and location of the recording nodes*

#### 4. Risultati

Queste analisi vengono generalmente eseguite per studi di microzonazione sismica o per particolari problemi di interazione dinamica terreno-struttura, a cui peraltro è collegato il danno alle strutture.

I fenomeni di amplificazione sono tanto più marcati quanto maggiore è la differenza tra l'impedenza sismica

della roccia di base e quella del terreno sovrastante. Inoltre qui si dimostra come l'entità dei fenomeni di amplificazione è correlata alla forma dell'irregolarità topografica: maggiore è il fattore di forma H/L più elevata è l'amplificazione in superficie.

I fattori di amplificazione sono stati calcolati in due differenti range: il primo per periodi compresi tra 0.1 e 0.5 secondi, normalmente utilizzati per lo studio delle strutture

in genere, ed il secondo per periodi compresi tra 0.1 e 2.5 secondi per lo studio delle grandi opere. Questi ultimi mostrano dei valori più bassi, ma entrambi comunque rispettano lo stesso andamento dei FA.

Per quanto riguarda le analisi bidimensionali (Figg. 5 e 6) è possibile vedere come le massime amplificazioni sono legate all'andamento topografico e alla geometria delle litologie presenti.

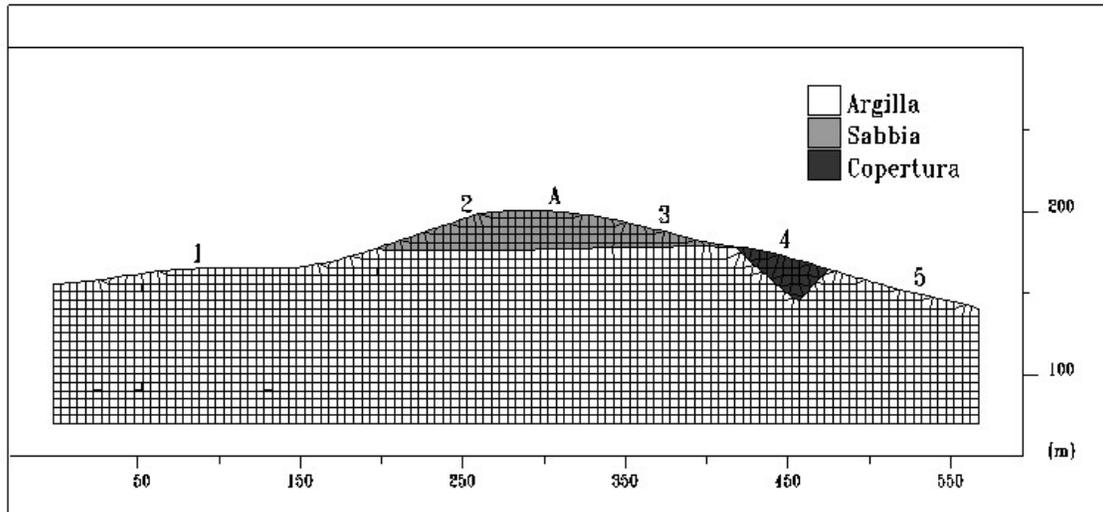


Fig. 5 – Griglia di discretizzazione della sezione 1  
*Numerical grid of section 1*

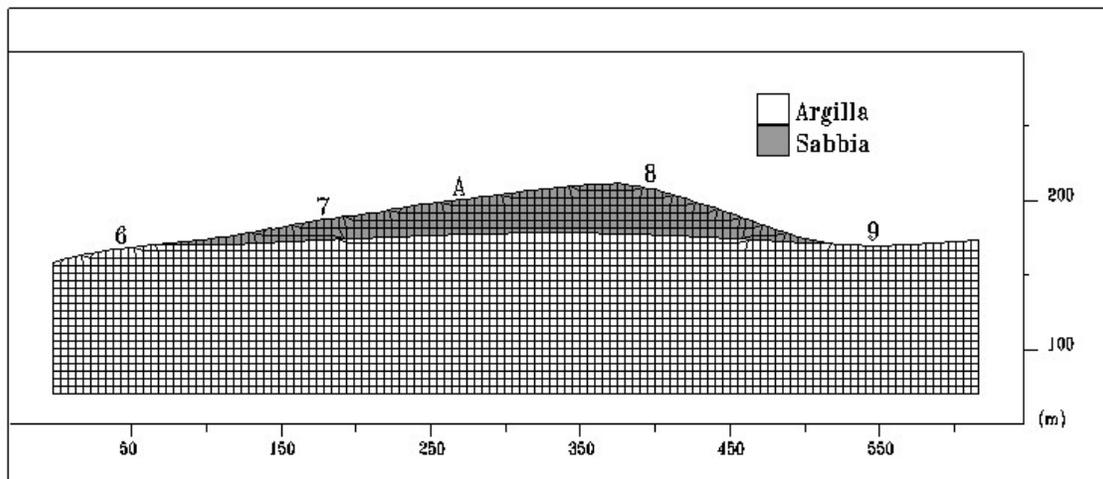


Fig. 6 – Griglia di discretizzazione della sezione 2  
*Numerical grid of section 2*

Nella sezione 1 si utilizza una frequenza media di 7.08 Hz e si riscontra (Fig. 7) che il massimo FA è pari a 5.64 e anche in questa successione di FA si può notare una progressiva diminuzione lungo l'intera sezione con un apparente anomalo FA di 3.89 nel nodo 4 che viene giustificato dal fatto che proprio in quel punto si riscontra

uno spessore di circa 25 m delle coltri alluvionali, con un elevato valore del rapporto di impedenza sismica. Le analisi con l'input proiettato lungo la direzione della sezione utilizzano una frequenza media di 3.33 Hz e presentano lo stesso andamento dei FA con la differenza nei valori che risultano molto minori.

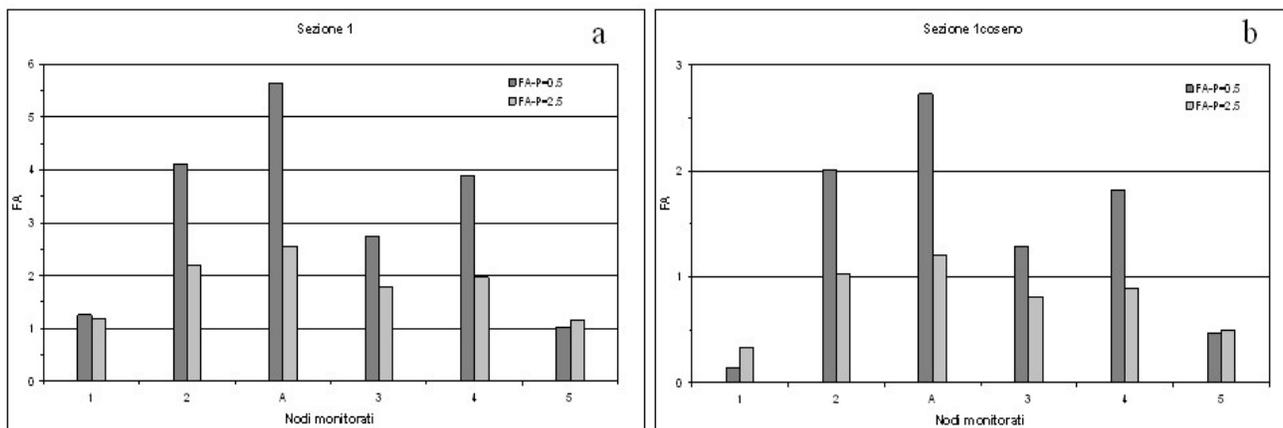


Fig. 7 –Fattori di amplificazione relativi alla sezione 1 con l’uso del a) l’input generico b) la proiezione dell’input  
*Amplification factors related to section 1 carried out by: a) generic input; b) projected input*

Nella sezione 2 (Fig. 8) si utilizza una frequenza media di 2.89 Hz e si riscontra che il massimo di FA è pari a 5.4 corrispondente al punto in cui c’è il massimo spessore di sabbie sulle argille (nodo 8), lo stesso punto in cui si localizza l’alto morfologico della sezione.

I successivi valori vanno diminuendo verso valle insieme alla diminuzione delle inclinazioni e alla

diminuzione degli spessori delle sabbie, per avere infine i valori minori di FA nei punti estremi della sezione in cui si trova un unico materiale e una topografia non molto inclinata. Le analisi con l’input proiettato lungo la direzione della sezione utilizzano una frequenza media di 1.59 Hz e presentano lo stesso andamento dei FA con la differenza nei valori che risultano, anche in questo caso, minori.

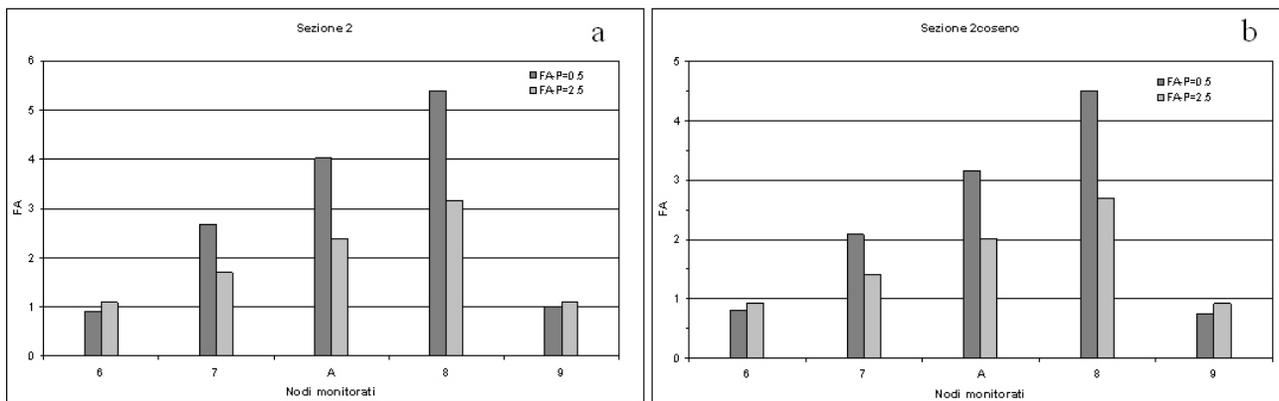


Fig. 8 –Fattori di amplificazione relativi alla sezione 2 con l’uso del a) l’input generico b) la proiezione dell’input  
*Amplification factors related to section 2 carried out by: a) generic input; b) projected input*

Calcolando, dove è possibile, il semplice rapporto di impedenza si può dimostrare quanto riportano i precedenti grafici.

Analizzando il punto di intersezione delle due sezioni, nodo A, si riscontra un valore del fattore di amplificazione nella sezione 2 minore rispetto a quello relativo alla sezione 1, molto probabilmente attribuibile alla lunghezza maggiore dello strato soprastante di sabbia della sezione 2 rispetto a quella della sezione 1, con la stessa altezza H, visto che le litologie considerate in questo punto risultano essere le stesse.

La modellazione numerica tridimensionale riesce ad evidenziare anche il contributo delle morfologie globali e di

tutti gli effetti di bordo.

I FA (Fig. 9) mostrano il valore più elevato nella parte più alta della sezione (nodo 8) appunto per il maggiore spessore delle sabbie, corrispondente al centro dell’alto strutturale, mentre si può notare una loro attenuazione lungo le linee dotate di maggior pendenza.

Anche qui in accordo con le analisi 2D si rileva che nelle zone caratterizzate da uno spessore maggiore della coltre sismica, cioè in quelle morfologie che focalizzano i raggi sismici ed aumentano la risposta sismica locale a causa delle scadenti proprietà di questo mezzo, c’è un FA più alto che raggiunge il valore di 4.53. Nel modello 3D il punto di intersezione dei due spaccati 2D, corrisponde al

nodo A ed ha un FA di 4.46, valore che media quelle delle due sezioni bidimensionali.

confronto gli spettri di risposta elastica relativi al punto di intersezione delle tre analisi.

Nel grafico successivo (Fig. 10) si possono mettere a

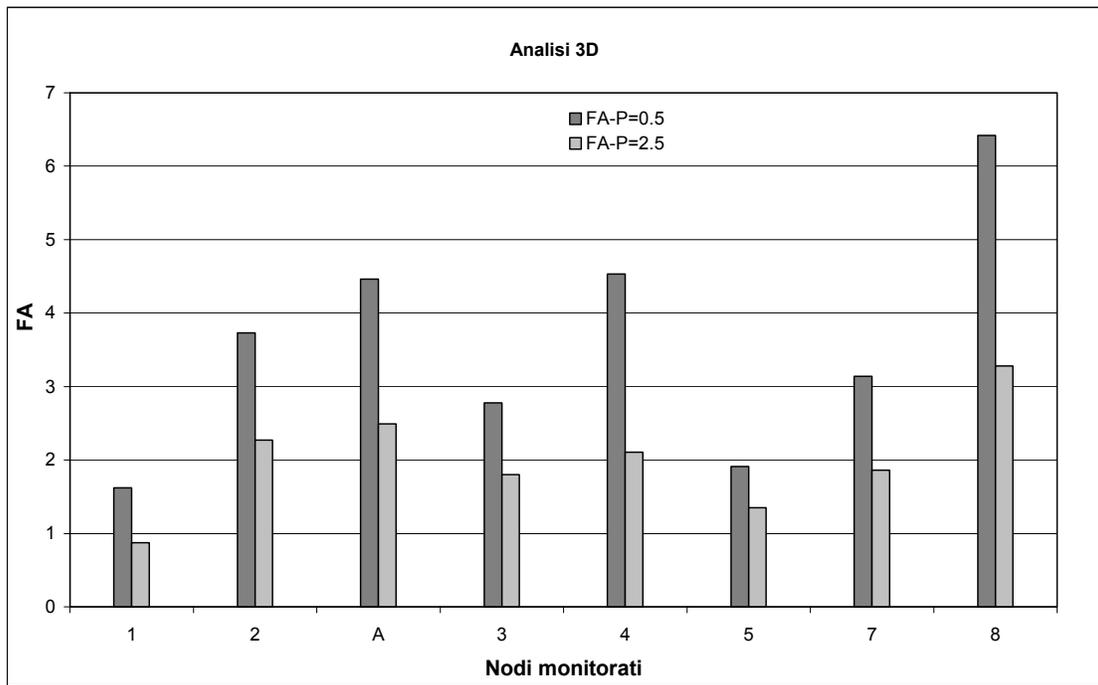


Fig. 9 –Fattori di amplificazione relativi all’analisi 3D  
*Amplification factors related to 3D analysis*

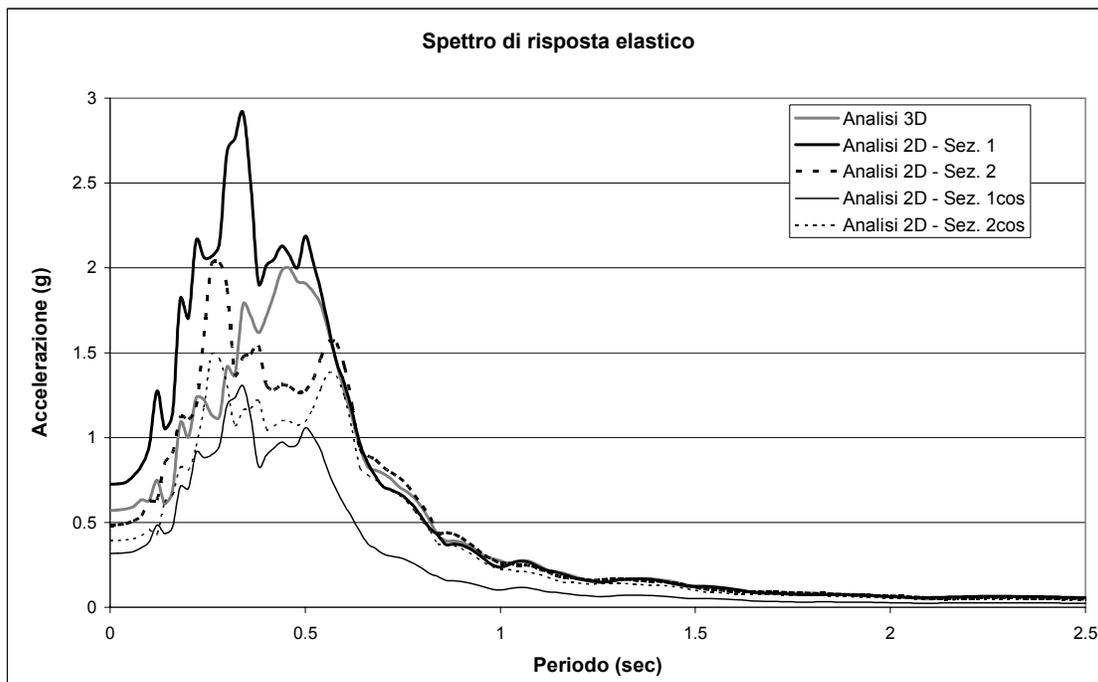


Fig. 10 –Spettri di risposta relativi al nodo A  
*Response Spectra related to A node*

L'importanza dello spettro di risposta risiede nel fatto che esso consente di valutare il ruolo esercitato dalla natura del sito sulla risposta del terreno libero, in quanto la forma stessa dello spettro di risposta tiene implicitamente conto sia della attenuazione delle onde sismiche in relazione alla distanza dall'epicentro, sia della risposta locale legata alle proprietà dinamiche del sito. Ciò consente di eseguire analisi di dettaglio dei fenomeni di amplificazione che si verificano in un sito durante il trasferimento di energia dalla roccia base alla superficie delle coperture sciolte.

## 6. Conclusioni

La valutazione della risposta sismica locale non può prescindere da un'accurata ricostruzione del modello geologico del sottosuolo tramite l'utilizzo delle informazioni geologiche di superficie ed indagini geognostiche e geofisiche.

Il problema della definizione dei parametri di input per le modellazioni può essere risolto solo attraverso una buona conoscenza delle caratteristiche fisico meccaniche dei litotipi investigati.

L'acquisizione di numerosi parametri, tra cui spessori, velocità e densità dei litotipi indagati, ricavati tramite utilizzo delle indagini geognostiche e geofisiche costituisce il primo passo per gli studi di microzonazione sismica, i quali possono essere sfruttati come input per le modellazioni.

Questo tipo di approccio è di fondamentale importanza per la valutazione della risposta sismica locale in quanto permette di simulare il comportamento dei terreni al verificarsi di un evento sismico.

La ricostruzione del modello geologico del sottosuolo ha messo in evidenza una morfologia abbastanza irregolare soprattutto per quanto riguarda le coperture. Lo spessore della coltre, come ben noto, contribuisce in maniera determinante nella valutazione della risposta sismica locale amplificando gli effetti in modo considerevole.

Il Comune di Spoltore non presenta grandi strutture, come ponti, grattacieli, ma è caratterizzato da abitazioni; quindi andando a considerare il range di valori accettabili per le piccole strutture (0.1–0.5 sec), si nota che nella distribuzione dei fattori d'amplificazione, le aree più amplificate siano lungo le pendici dei rilievi collinari e sui rilievi stessi.

Confrontando gli spettri di amplificazione ottenuti con la modellazione bidimensionale e tridimensionale, si nota che il contenuto spettrale spesso è localizzato sugli stessi range di frequenza anche se si nota una diversa stima delle amplificazioni nelle modellazioni.

Si può quindi concludere che la geometria sia dell'alto morfologico su cui è sorto il centro antico di Spoltore che dei rilievi, caratteristici della morfologia collinare dell'area, influisce sulla propagazione delle onde sismiche, confermando i risultati analitici di analoghi sistemi più semplici.

## Bibliografia

- AA. VV. (1985): *Rischio sismico, problemi dell'esistente e delle nuove strutture* – Università degli studi "G. D'Annunzio", Facoltà di Architettura, Pescara – Istituto di Scienze.
- Casnedi R.: *L'avanfossa abruzzese fra i fiumi Vomano e Pescara nel pliocene inferiore: rapporti tra sedimentazione e tettonica* – Studi geologici Camerti volume speciale (1991/2).
- Centamore E., Cantalamessa G., Micarelli A., Potetti M., Berti D., Bigi S., Morelli C. & Ridolfi M.: *Stratigrafia e analisi di facies dei depositi del miocene e del pliocene inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle zone limitrofe* – Studi geologici Camerti volume speciale (1991/2).
- Centamore E., Bigi S., Berti D., Micarelli A. & Morelli C.: *Nuovi dati sui depositi neogenici di avanfossa del pescarese* – Boll. Soc. Geol. 1992.
- Patacca E., Scandone P., Bellatalla M., Perilli N., Santini U. – *La zona di congiunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise* – Studi geologici Camerti volume speciale (1991/2).
- Fairhurst C. (1998): *FLAC Basics*. Itasca Consulting Group, Inc. Minneapolis USA.
- Gruppo nazionale di Difesa dai Terremoti (GNDT): *Attività nel settore a difesa dal terremoto* – CNR (1986).
- Lanzo G. & Silvestri F. (1999) – *Risposta sismica locale: Argomenti di ingegneria geotecnica*. Hevelius Edizioni srl, Benevento.