

Approccio multidisciplinare per la valutazione della risposta sismica locale nell'ambito del progetto Vel: il caso dei comuni di Fivizzano e Licciana Nardi (Lunigiana)

Claudio Cherubini¹, Vittorio D'Intinosante², Maurizio Ferrini³, Mario Luigi Rainone⁴,
Patrizio Signanini⁵, Giovanna Vessia⁶

¹Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Politecnico di Bari, c.cherubini@poliba.it

²Dipartimento Politiche Territoriali ed Ambientali. Servizio Sismico Territoriale – Regione Toscana,
vittorio.dintinosante@regione.toscana.it

³Dipartimento Politiche Territoriali ed Ambientali. Servizio Sismico Territoriale – Regione Toscana, maurizio.ferrini@regione.toscana.it

⁴CERS-GEO - Università “G. d’Annunzio” – Chieti, rainone@unich.it

⁵CERS-GEO - Università “G. d’Annunzio” – Chieti, signanini@unich.it

⁶Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale – Politecnico di Bari, g.vessia@poliba.it

Multidisciplinary approach to the evaluation of local seismic response within the vel project: the case studied of Fivizzano and Licciana Nardi districts (Lunigiana)

ABSTRACT: Seismic hazard studies carried out at the scale of district area, as commonly known, aim at preventing damages from local site response. These studies involve numerous disciplines whose specific competences are useful to describe the complex phenomenon such as free field seismic response. The VEL project, supported by the Tuscany Region, has been carrying out by means of this multidisciplinary standpoint in order to define the seismic risk level in the most active seismic areas of Tuscany (Garfagnana, Lunigiana, Amiata, Valtiberina and Mugello). In this work results from in situ measurements and numerical analyses at Fivizzano and Licciana Nardi villages are presented below and discussed. The seismic investigations in Lunigiana, where the villages are situated, involved historical, seismological, geophysical, geological and geotechnical studies which accurately reconstruct soil deposit models to be implemented into two-dimensional numerical dynamic analyses for local site response previsions.

Key terms: Local seismic effects, multidisciplinary approach, Vel project

Termini chiave: Effetti sismici locali, approccio multidisciplinare, progetto Vel

Riassunto

Il Progetto VEL (Valutazione degli Effetti Locali) della Regione Toscana, com'è noto, ha come obiettivo la definizione delle condizioni di rischio sismico nelle principali località sismicamente attive. Tale obiettivo viene perseguito attraverso un approccio quali-quantitativo, che utilizza metodi d'indagine multidisciplinare ed integrata. Nella nota vengono illustrati e criticamente discussi i risultati ottenuti sulle località di Fivizzano e Licciana Nardi, in Lunigiana dove sono state impiegate differenti metodologie di indagine sperimentale, in situ ed in laboratorio, nella caratterizzazione dinamica dei siti. Inoltre sono state condotte analisi numeriche di risposta sismica su sezioni bidimensionali ricostruite attraverso l'uso di tecniche di indagini sismiche indirette affiancate da metodi di rilievo più tradizionali.

1. Introduzione

La valutazione della risposta sismica locale si pone come

una delle fasi fondamentali per la definizione dei livelli di pericolosità sismica a scala comunale di dettaglio ovvero per effettuare studi di zonazione sismica.

Come è noto, la letteratura specialistica propone, per l'acquisizione delle informazioni necessarie, differenti approcci (qualitativi, semplificati, analitici) che si distinguono per le metodologie operative da utilizzare, per la tempistica richiesta e per l'impegno economico previsto per l'acquisizione, l'elaborazione e l'ottimizzazione dei parametri richiesti per la valutazione dell'amplificazione sismica locale (Bellucci et al., 1998; Brambati et al., 1980; Cherubini et al., 2004b).

Da alcuni anni, in ottemperanza alla L.R. 56 del 30/07/97, è in atto nei comuni sismicamente attivi della Regione Toscana, il “Progetto VEL” (Valutazione degli Effetti Locali). Lo scopo di tale programma, che pone la Toscana all'avanguardia nel campo della conoscenza e relativa mitigazione del rischio sismico, è quello di determinare mediante studi di dettaglio i livelli di rischio sismico atteso a scala comunale o subcomunale (Fig. 1).

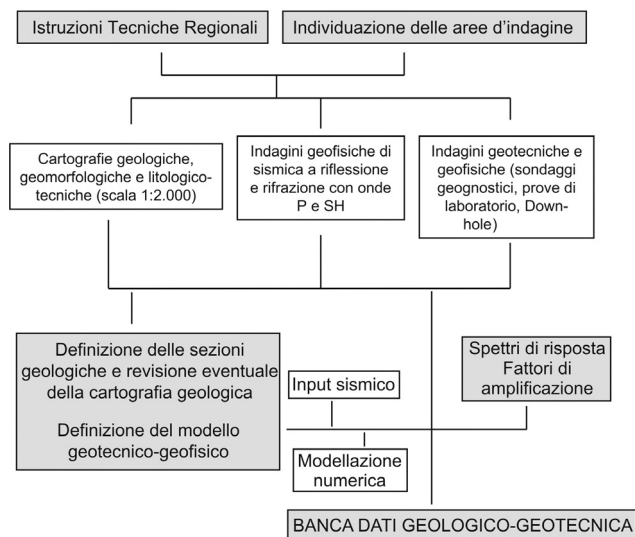


Figura 1. Modalità operative del Progetto VEL (Valutazione degli Effetti Locali)

Working rules within VEL project (Local Seismic Effect Assessment Project)

La metodologia operativa messa a punto dal gruppo di lavoro del VEL nel corso degli anni, prevede la definizione geometrica e parametrica (a partire dalla misura delle VSH) del modello geologico-tecnico del sottosuolo (attraverso il contributo comparato di diverse tecniche di esplorazione geologica di superficie e del sottosuolo). Quindi definito un terremoto di input mediante studi di pericolosità sismica a livello regionale sono state eseguite delle modellazioni dinamiche mono e bidimensionali, mediante le quali ottenere i parametri di amplificazione locale, prevalentemente espressi in termini di fattori di amplificazione e spettri di risposta.

Nel presente lavoro i risultati di valutazione della risposta sismica locale ottenuti nei comuni di Fivizzano e Licciana Nardi (Lunigiana) sono stati illustrati e confrontati con quanto previsto nei due siti dalla vigente normativa antisismica (Testo Unico 2005).

2. Caratteristiche geologiche dei siti di Fivizzano e Licciana Nardi

Agli autori che riferirono nei periodi immediatamente successivi all'evento sismico del Settembre 1920 (De Stefani, 1920) era apparso qualitativamente evidente come gli effetti del sisma fossero differenziati in intensità in base alla natura geologica dei siti interessati e come i maggiori fenomeni di amplificazione si riscontrassero in corrispondenza di centri abitati caratterizzati da un assetto geologico in grado di favorire l'insorgere di effetti locali. Nel caso dei due comuni di Fivizzano e Licciana Nardi, entrambi poggiati su importanti spessori di depositi caratterizzati da scarse proprietà fisico-meccaniche, essi risentirono fortemente dell'evento sismico del 1920

(massimo evento storico, caratterizzato dal IX – X grado M.C.S.).

Il centro abitato di Fivizzano è ubicato in gran parte su un terrazzo alluvionale, posto in sinistra idrografica del torrente Rosaro, che rappresenta l'asta fluviale a maggior ordine gerarchico dell'area. Le unità rapportabili al substrato sismico sono ascrivibili a differenti tipologie: argilliti (Argille e Calcari di Canetolo), Calcari del Groppo del Vescovo e arenarie del Macigno. Queste unità presentano complicate geometrie sepolte (Cherubini et al., 2004a), attualmente in via di definizione mediante l'integrazione della campagna esplorativa in situ con indagini sismiche a riflessione (HR).

I depositi di copertura quaternari sono costituiti da depositi di colmata e terreni di riporto, depositi detritici e depositi alluvionali terrazzati. Nell'area è inoltre possibile notare, lungo le scarpate del terrazzo fluviale ed in concomitanza delle aree più acclivi ad est del centro storico, la presenza di fenomeni gravitativi attivi e quiescenti.

Il paese di Licciana Nardi, invece, è situato in corrispondenza di una valle alluvionale ed è caratterizzato dall'affioramento di un substrato sismico riferibile al Flysch ad Elmintoidi di Ottone-S. Stefano (successione torbida con termini calcareo-marnosi), affiorante con buona continuità in tutta l'area. I depositi di copertura sono costituiti da depositi detritici e dai depositi alluvionali recenti ed attuali del torrente Taverone. I versanti sono interessati, anche in questo sito, dalla presenza di fenomeni gravitativi quiescenti ed attivi.

3. L'esplorazione del sottosuolo per la caratterizzazione dinamica dei litotipi

La fase di acquisizione dati attraverso la verifica delle caratteristiche geologiche di superficie rappresenta un passaggio fondamentale per la comprensione dell'eventuale presenza di effetti locali di amplificazione sismica, ma non riesce a fornire tutte le informazioni necessarie per effettuare le analisi numeriche. Si è resa necessaria, quindi, in linea con le modalità operative del programma VEL, l'istituzione di una successiva campagna di esplorazione del sottosuolo e di prove dinamiche in laboratorio allo scopo di definire i parametri fisico-meccanici dei litotipi indagati e di stabilire l'estensione nel sottosuolo delle geometrie dei contatti tra le unità di copertura e del substrato, desunte dal rilevamento di superficie. In linea con la filosofia operativa del Progetto VEL, la prima fase di caratterizzazione geometrica e fisico-meccanica dei litotipi oggetto d'indagine è stata realizzata, in entrambi i siti di Fivizzano e Licciana Nardi, attraverso l'esecuzione di prospezioni sismiche a rifrazione in onde P ed SH.

Tali indagini consentono di definire tramite la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di compressione e di taglio, lungo il profilo indagato, le unità sismostratigrafiche presenti e la loro geometria (spessori e superfici di contatto) e di computare i moduli elastici

dinamici ed il coefficiente di Poisson dinamico.

La sismica a rifrazione, rispetto alle informazioni che si ottengono da indagini puntuali, consente di chiarire a livello areale l'assetto geologico sepolto, offrendo di contro dati più mediati rispetto alle indagini sismiche in foro.

I profondi miglioramenti realizzati negli ultimi anni, soprattutto nella fase di acquisizione di campagna (Barsanti et al., 2000), permettono un utilizzo sempre più diffuso di tale metodologia, anche in contesti logisticamente difficili, come i vari centri urbani dove opera abitualmente il progetto VEL. La sismica a rifrazione, come tutti i metodi indiretti, può presentare, in alcune situazioni, dei margini di incertezza nella ricostruzione dei sismostrati; da qui la necessaria fase di taratura realizzata tramite l'esecuzione di sondaggi geognostici, strumentati per l'esecuzione di indagini sismiche in foro secondo un assetto down-hole.

Ciò ha permesso, nei due siti oggetto d'indagine, la verifica della buona qualità delle indagini eseguite e conseguentemente la congruenza del modello geologico-tecnico del sottosuolo (Cherubini et al., 2004a; Cherubini et al., 2004b; Signanini et al., 2004).

4. Le analisi numeriche

Le simulazioni numeriche mono e bidimensionali effettuate nei due comuni lunigianesi sono state condotte sulle sezioni mostrate nella Fig. 2. Nel caso del comune di Fivizzano sono state individuate due sezioni significative da studiare mediante simulazioni bidimensionali: sezione AA e sezione BB (Fig. 2a). Lungo queste due sezioni sono state eseguite anche delle simulazioni monodimensionali in corrispondenza delle verticali più significative in relazione alle variazioni di potenza degli strati dei depositi. Lo stesso approccio è stato utilizzato anche nel caso del comune di Licciana Nardi dove, tuttavia, è stata considerata la sola sezione CC significativa (Fig. 2b). Nelle analisi numeriche sono stati impiegati i codici di calcolo ProShake (1D) e Quad4M (2D).

Per tutte le modellazioni eseguite nei due comuni è stato impiegato, quale accelerogramma di input, un segnale sintetico ottenuto mediante l'applicazione del metodo probabilistico a partire da accelerogrammi di eventi sismici occorsi in Italia, con un periodo di ritorno di 475 anni (corrispondenti ad una probabilità di non superamento pari al 10% in 50 anni). La scelta del segnale di input, è stata dettata dalla circostanza che non era disponibile una registrazione in loco dell'evento del 1920 che risulta il sisma con maggiori effetti al sito registrati a partire dal 1481 (Tab. 1). Tuttavia tale accelerogramma è stato scalato alle accelerazioni massime al suolo (PGA) di ancoraggio indicate dalla nuova carta di pericolosità sismica elaborata dall'INGV: PGA = 207g per il comune di Licciana Nardi e PGA = 189g per il comune di Fivizzano.

I risultati delle analisi condotte nei due comuni oggetto d'indagine, in una prima fase presentate da Cherubini et al. (2004a) e da Cherubini et al. (2004b), mostrano la presenza di non trascurabili amplificazioni locali ascrivibili alla presenza di elementi geologici predisponenti. Infatti, dalla ricostruzione del modello geologico-tecnico delle due aree, si evince come le due località lunigianesi siano ubicate su importanti spessori di depositi alluvionali terrazzati. Il centro storico di Fivizzano, infatti, è impostato sulla sommità di un terrazzo alluvionale, mentre il comune di Licciana Nardi è stato realizzato in corrispondenza della valle alluvionale sepolta del torrente Taverone.

La maggiore intensità degli effetti locali, in accordo con le informazioni qualitative sui danneggiamenti rilevati a seguito del terremoto del 1920, è riscontrata per il sito di Fivizzano. Il confronto tra gli spettri di risposta ottenuti dalle modellazioni dinamiche e lo spettro suggerito dalla nuova normativa antisismica (Testo Unico, 2005), come visibile nelle Fig. 3 e 4, mostra una tangibile e sistematica sottostima dello spettro di progetto di normativa rispetto alle pseudoaccelerazioni spettrali ottenute mediante le analisi di risposta sismica locale.

Tabella 1. Principali eventi macrosismici accaduti nell'area fivizzanese dal 1481 (Da Boschi et al., 2000)

Table 1. Main important seismic events suffered at Fivizzano district from 1481 (After Boschi et al., 2000)

Data	Ora (GMT)	Lat	Long.	I ₀	I _{MAX}	Area epicentrale
07-05-1481	14 15	44.27	10.13	8.0	8.0	Garfagnana
21-01-1767	07 45	44.13	10.12	7.0	8.0	Fivizzano
21-01-1767	09 00	44.23	10.12	5.5	6.5	Fivizzano
11-04-1837	17 00	44.18	10.18	9.0	10.0	Alpi Apuane
25-02-1904	18 47	44.48	10.63	6.0	7.0	Reggiano
10-06-1904	11 15	44.20	10.82	6.0	7.0	Friggiano
25-08-1909	00 22	43.13	11.33	8.0	8.0	Toscana meridionale
25-08-1909	00 30	43.13	11.20	8.0	8.0	Toscana meridionale
13-01-1915	06 52	41.98	13.65	11.0	11.0	Marsica
29-06-1919	15 06	43.95	11.48	10.0	10.0	Mugello
07-09-1920	05 55	44.18	10.28	10.0	10.0	Garfagnana
09-11-1983	16 29	44.77	10.27	6.5	7.0	Parmense

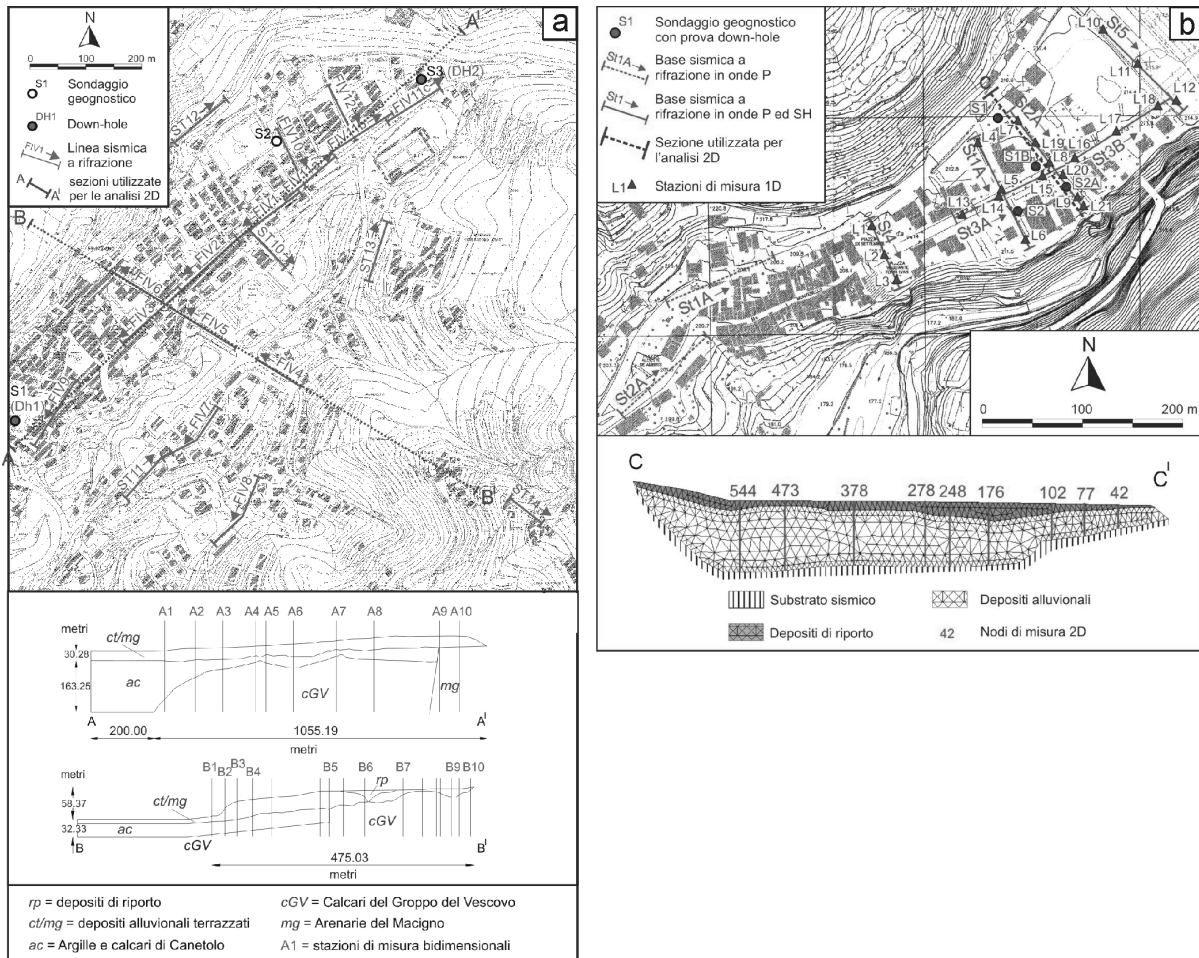


Figura 2. Ubicazione delle indagini di esplorazione del sottosuolo e di modellazione numerica nel sito di Fivizzano (2a) e Licciana Nardi (2b). Da Cherubini et al., 2004b

Seismic investigation campaign performed to characterize deposits at two sites: Fivizzano (2a) and Licciana Nardi (2b). At the bottom reconstructed sections for numerical simulations are reported

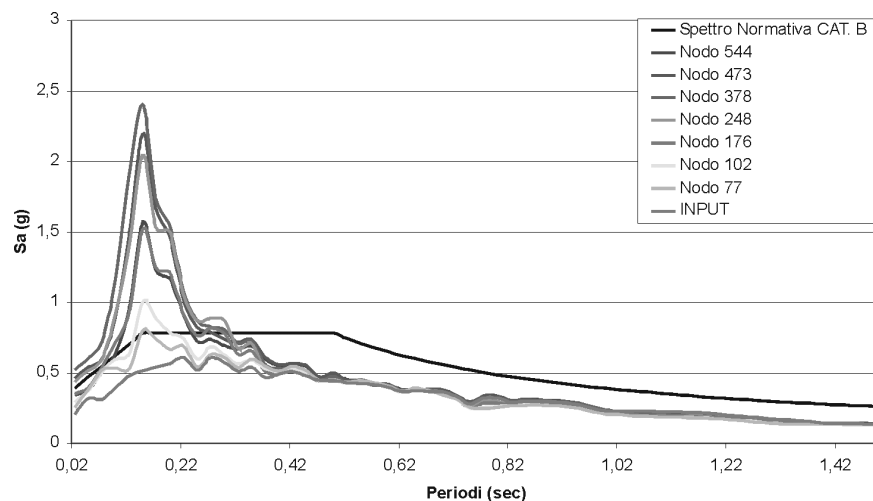


Figura 3. Accelerazioni Spettrali a confronto con lo Spettro di Progetto suggerito dal Testo Unico, 2005 (comune di Licciana Nardi)
 Acceleration spectrum diagrams coming from numerical simulations at Licciana Nardi site, in comparison with Design Spectrum from Italian building provisions (Testo Unico, 2005)

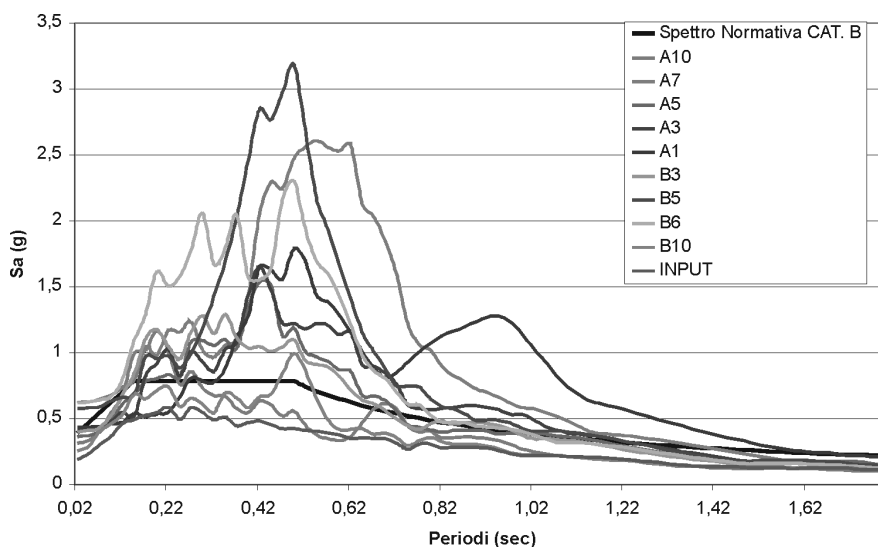


Figura 4. Accelerazioni Spettrali a confronto con lo Spettro di Progetto suggerito dal Testo Unico, 2005 (comune di Fivizzano)
Acceleration spectrum diagrams coming from numerical simulations at Fivizzano site, in comparison with Design Spectrum from Italian Building Provisions (Testo Unico, 2005)

5. Conclusioni

Nel presente lavoro vengono illustrati i primi risultati di valutazione della risposta sismica locale, condotti, attraverso un approccio analitico, nell'ambito del Progetto VEL – Regione Toscana, in due comuni sismicamente attivi della Lunigiana: Fivizzano e Licciana Nardi intensamente colpiti dal forte evento del 1920. Le operazioni di rilevamento geologico di superficie a scala di dettaglio e di esplorazione geologica del sottosuolo hanno permesso, per ogni area, la ricostruzione del modello geologico-tecnico. In base, quindi, ai dati acquisiti direttamente in situ sono state condotte analisi dinamiche in campo mono e bidimensionale.

I risultati ottenuti hanno mostrato che in corrispondenza di due comuni con valori di PGA simili (Fivizzano ha $PGA=189$ e Licciana Nardi ha $PGA=207$) sono stati calcolati valori di amplificazioni locali molto diversi sia in termini di periodi amplificati sia di ampiezze: Fivizzano a cui, su base macrosismica, è attribuita una minore PGA, presenta amplificazioni elevatissime distribuite su una intervallo di periodi compreso tra 0.2 e 1sec; Licciana

Nardi, invece, pur avendo una PGA maggiore presenta amplificazioni molto più contenute e distribuite quasi su un unico periodo principale pari a 0.15 sec. Tali risultati sono da ascrivere alle diverse geometrie e potenze dei depositi.

Conseguentemente, anche i valori di FA sono fortemente influenzati dall'intervallo di periodi amplificati dai depositi. Infine, è stato effettuato il confronto tra lo spettro di normativa (Testo Unico 2005) e gli spettri di risposta calcolati per Licciana Nardi (Fig. 3) e per Fivizzano (Figura 4). Pur essendo entrambi i comuni classificati come zona II e competendo loro lo spettro di accelerazione di progetto di categoria B (calcolato solo sui primi 30m di depositi), risultano caratterizzati da risposte alquanto differenti e nettamente superiori ai valori delle accelerazioni spettrali previste. A nostro avviso, ciò è da addebitarsi ad una serie di fattori: le complesse geometrie sepolte, i forti contrasti di rigidità, le elevate velocità rilevate sia per le coltri sia per i litotipi costituenti il bedrock sismico ed, infine, le potenze dei depositi di copertura ben più profondi di 30 m come nel caso di Fivizzano.

Bibliografia

Barsanti P., D'Intinosante V., Ferrini M. & Signanini P., 2000. Note sulla sismica a rifrazione con onde di taglio per la caratterizzazione sismica dei terreni. Atti del XIX Convegno Nazionale GNGTS, Roma.
 Bellucci F., Caserta A., Cultrera G., Donati S., Marra F., Mele G., Palombo B., Rovelli A., 1998. Studio dell'amplificazione locale nell'area di Nocera Umbra. Studi preliminari sulla sequenza sismica dell'Appennino Umbro-Marchigiano del settembre-ottobre 1997. Istituto Nazionale di Geofisica, Roma.

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valnsise G. e Gasperini P., 2000. Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997. *Ann. Geof.*, 43, 609-868.

Brambati A., Faccioli E., Carulli G.B., Cucchi F., Onofri R., Stefanini S., Ulcigrai F., 1980. Studio di microzonazione sismica dell'area di Tarcento (Friuli). Regione Autonomia Friuli-Venezia Giulia & Università degli Studi di Trieste con la collaborazione del Politecnico di Milano, Trieste.

Cherubini C., D'Intinosante V., Ferrini M., Lai C., Lo Presti D.C., Rainone M.L., Signanini P.,

Vessia G., 2004. Problems associated with the assessment of local site effects through a multidisciplinary integrated study: the case of Fivizzano's town (Italy). Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, New York, 13-17 aprile

Cherubini C., D'Intinosante V., Ferrini M., Rainone M.L., Puccinelli A., D'Amato Avanzi G., Signanini P., Vessia G., 2004. Valutazione della risposta sismica locale attraverso l'applicazione di metodologie multidisciplinari comparate: gli esempi di Fivizzano e Licciana Nardi (Toscana Settentrionale). XI Congresso

- Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", Genova, 25-29 gennaio.
- De Stefani C., 1920. Il terremoto del settembre 1920 nella provincia di Massa. Mem. Soc. Lunig. G. Cappellini, (2), 1-2.
- Hudson M., Idriss I.M., Beikae M., 1994. Quad4M: a computer program for evaluating the seismic response. University of California, Davis, California.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2005. Norme tecniche per le costruzioni (Testo Unico).
- EduPro Civil System Inc. Proshake code, version 1.11.
- Signanini P., D'Intinosante V., Ferrini M., Rainone M.L., 2004. Evaluation of local amplification in the seismic microzonation: comparison between punctual multidisciplinary integrated studies and macroseismic methods in Fivizzano's area (Toscana, Italy). Geotechnical and Geological Engineering, 22 (2), 227-244.