

# VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO TRAMITE ANALISI SPERIMENTALI E NUMERICHE NELLA PIANA DI SULMONA

**Marino A., Rinaldini A., Ciucci M., Mariani M.**  
**ISPESL – Dipartimento Installazioni di Produzione e Insediamenti Antropici**

## SOMMARIO

Nel presente lavoro viene valutata l'amplificazione sismica locale nel distretto industriale del bacino di Sulmona attraverso misure di rumore ambientale applicando la metodologia HVSR (rapporto spettrale tra componenti orizzontali e verticali del moto del terreno) e simulazioni numeriche monodimensionali elaborate con il codice di calcolo Shake91. L'utilizzo di un ampio database geognostico ha permesso di ricavare le stratigrafie dei terreni fino ad una profondità di 50 metri dal piano campagna, mentre con l'ausilio di indagini geofisiche di tipo cross-hole sono state caratterizzate le proprietà dinamiche dei terreni, prime fra tutte la velocità delle onde di taglio. Le misure di rumore ambientale sono state acquisite nel dominio di frequenze tra 0.1-10 Hz e i dati raccolti sono stati successivamente inseriti nel codice di calcolo Shake91 utilizzando come input un evento sismico di magnitudo  $M=5.5$ . I risultati ottenuti evidenziano la presenza di fenomeni di amplificazione sismica nella parte centrale ed orientale del bacino di Sulmona. Inoltre, il confronto tra gli spettri di risposta della simulazione monodimensionale e gli spettri di progetto proposti nel Testo Unico delle costruzioni indicano che in tali aree la risposta attesa risulta sottostimata nel campo di frequenze delle principali opere civili ed industriali.

## 1.0 GEOLOGIA

La Conca di Sulmona si estende per una lunghezza di circa 20 chilometri in direzione nord-ovest sud-est con larghezze comprese fra i 4 e i 7 km e quote variabili tra i 250 e i 400 m s.l.m. Le dorsali montuose che la circondano sono costituite da successioni carbonatiche di età meso-cenozoica ascrivibili a *facies* di piattaforma, di soglia e di transizione. Tali ambienti deposizionali si succedono progredendo rispettivamente da ovest (dorsali di *shelf* e di soglia del M. Sirente) verso est (litotipi di transizione presenti nella dorsale montuosa del M. Genzana-M. Greco). La presenza di ambienti deposizionali differenti è testimoniata dalla marcata variabilità litologica che si riscontra nelle diverse successioni carbonatiche, costituenti l'impalcatura delle principali dorsali montuose [1], [2], [3] e [4].

Durante il Miocene superiore l'intera area è stata coinvolta nell'evoluzione del sistema orogenico dell'Appennino, caratterizzato in questo settore della catena da un sistema di sovrascorrimenti adriatico-vergenti a direzione NW-SE. Tale meccanismo determinò la formazione di profonde avanfosse, nelle quali si depositarono, lungo i fronti di accavallamento e durante il progressivo sollevamento della catena, potenti successioni di flysch e unità terrigene di età tortoniana-messiniana.

A partire dal Pliocene superiore, la neo-catena fu interessata da eventi tettonici distensivi, il cui settore di influenza si propagò progressivamente verso est. Si generarono così importanti sistemi di faglie dirette che localmente diedero origine a bacini intramontani appenninici, tra cui la Conca di Sulmona. Queste depressioni vennero colmate da potenti successioni di depositi lacustri e fluvio-lacustri di età plio-quadernaria, spessi diverse centinaia di metri, caratterizzate da una geometria asimmetrica con il lato orientale molto più profondo a causa del meccanismo di formazione del bacino stesso.

### 1.1. Sismicità storica

L'area in studio è situata in una zona dell'Italia centrale, caratterizzata da un elevato grado di pericolosità sismica (area appartenente alla zona 1 secondo l'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003). Gran parte dell'attività sismica che ha interessato l'area abruzzese in epoca storica o nel recente passato, si localizza nell'area di catena, all'interno di una fascia interessata da deformazioni distensive (figura 1).

Non tutti i forti terremoti abruzzesi sono chiaramente collocabili all'interno di un quadro ben preciso e definito. Alcuni di essi sono di difficile interpretazione per l'assenza sia di strutture cosismiche, sia di evidenze geologiche di superficie e di dettagliate informazioni sismologiche. Tali lacune sono tuttavia compensate dalla presenza di numerosi manoscritti e documenti storici che testimoniano gli effetti di eventi sismici che hanno interessato la Conca di Sulmona e le aree limitrofe nei secoli passati. Terremoti con epicentri nelle vicinanze della città di Sulmona hanno avuto un'intensità massima del VII° grado della scala

Mercalli-Cancani-Sieberg; tuttavia Boschi et al., [5], riportano che su scala regionale si verificarono due principali eventi, il terremoto della Maiella del 1706 con intensità IX-X MCS e quello del Fucino del 1915 (X-XI) che sconvolsero l'area, causando numerose vittime e arrecando gravi danni agli edifici.

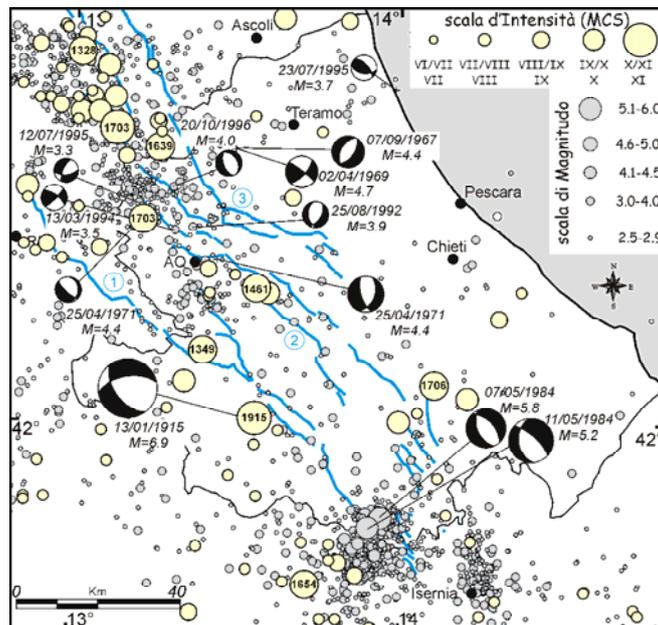


Figura 1: principali faglie attive con epicentri dei terremoti storici con Intensità maggiore del VI grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) e dei terremoti strumentali registrati dal 1980 al 1996 dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV (Guida Geologica Regione Abruzzo, 2003).

## 2.0 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DELL'AREA INDUSTRIALE

Per meglio definire la pericolosità sismica locale delle aree su cui insistono gli impianti industriali nella conca di Sulmona, con particolare riferimento ad effetti di amplificazione del moto sismico al suolo connessi con la stratigrafia di tali siti (effetti stratigrafici 1D), è stato necessario eseguire una caratterizzazione geologico-tecnica del sottosuolo. Più in dettaglio, vista la notevole influenza esercitata dai depositi superficiali nella risposta sismica locale, si è proceduto alla ricostruzione della composizione litologica e delle geometrie dei corpi geologici superficiali presenti sino ad una profondità media di 50 metri dal piano campagna ed alla definizione delle principali caratteristiche fisico-meccaniche influenti sulla risposta sismica.

A tal fine è stato elaborato un ampio *database* geognostico contenente dati stratigrafici derivanti da sondaggi geognostici e dati geotecnici ricavati da prove di laboratorio su campioni prelevati da tali perforazioni [6], [7].

Il database contiene un totale di 122 colonne stratigrafiche con profondità medie comprese tra i 15 ed i 50m dal piano campagna e circa 40 determinazioni di proprietà fisico-meccaniche dei litotipi a granulometria fine (limi argillosi, limi sabbiosi ed argille). I terreni con caratteristiche geotecniche simili sono stati accorpate in unità litotecniche omogenee, al fine di ricostruire colonne stratigrafiche sintetiche rappresentative dell'assetto geologico locale di quei siti su cui sono state successivamente collocate le stazioni di misura della campagna velocimetrica. I parametri delle varie unità litotecniche sono stati inoltre utilizzati come dati di *input* per le modellazioni numeriche monodimensionali.

Con la finalità di validare i dati stratigrafici raccolti, di ricavare ulteriori dati geotecnici e soprattutto per determinare i valori delle velocità delle onde S dei principali litotipi è stata eseguita una specifica campagna geofisica di tipo cross-hole, consistita nell'esecuzione di alcune coppie di fori di sondaggio ubicate in posizione "strategica" rispetto alla zona industriale di Sulmona.

### 2.1 Indagini geofisiche tipo cross-hole

L'interpretazione dei rapporti spettrali e dei fattori di amplificazione costituisce un aspetto fondamentale per la caratterizzazione sismica di una data area. Per raggiungere tale obiettivo, è necessaria la conoscenza di

alcuni parametri delle unità litotecniche quali il loro spessore, le proprietà geotecniche dei materiali e le velocità delle onde di taglio (onde S). Per il calcolo della velocità delle onde S sono state utilizzate indagini cross-hole (CH) eseguite in 3 coppie di sondaggi localizzati sia all'interno che all'esterno del distretto industriale, come indicato in figura 2.

I dati geotecnici provenienti dai sondaggi sono stati inoltre utilizzati per integrare e validare le informazioni contenute nel database geognostico. Analisi di laboratorio condotte su campioni indisturbati hanno permesso di definire i principali parametri geotecnici, sia statici che dinamici.

I sondaggi, eseguiti al di fuori del distretto industriale nelle località "Casale S. Croce" e "Piano La Torre", sono stati realizzati a carotaggio continuo sino a raggiungere le profondità rispettivamente di 58,5 m e 54m dal p.c.

La successione di terreni che attiene al sito di "Casale S. Croce" è caratterizzata da una sostanziale omogeneità litologica: si tratta infatti di limi da sabbiosi ad argillosi, spesso sottilmente stratificati, che si alternano l'un l'altro. Uniche eccezioni sono costituite dallo strato superficiale di ghiaie in matrice sabbioso-limoso, con spessore di circa 4,5m, e da due strati di sabbie presenti rispettivamente tra 28 e 32,8 m e tra 51 e 54,7 m dal piano campagna.

Più articolata risulta invece la stratigrafia relativa al sito "Piano La Torre" in cui gli strati ghiaiosi assumono spessori plurimetri e, oltre a costituire essenzialmente i primi 12 metri dal p.c., vanno ad intercalarsi a diverse profondità alle alternanze di limi argillosi ed argille, interrompendone la continuità.

Il sondaggio in Viale dell'Agricoltura è stato terebrato sino ad una profondità di 40 m dal p.c. e realizzato a carotaggio continuo al fine di ottenere la stratigrafia di dettaglio dei terreni attraversati. La successione di terreni attraversata è rappresentata nei primi 21 metri sostanzialmente da litotipi ghiaiosi a cui si intercalano tra i 3 e 5,5 m e tra 10,6 e 14,8 m di profondità strati di limi sabbiosi e/o argillosi con spessori variabili tra i 2,5 m ed i 4,2 m; la restante parte della verticale stratigrafica è costituita, sino a 28 m dal p.c., da alternanze di limi sabbiosi ed argillosi con al letto uno strato di sabbia di spessore pari a 1,5 m che poggia direttamente ad una profondità di 29,5 m su una successione di argille dure che si riscontra sino a fondo foro.

Le velocità delle onde S misurate nei tre siti mostrano per i materiali a granulometria grossolana (ghiaie e sabbie) valori medi di velocità pari a 450 m/s, mentre nei materiali sottili come argille ed argille siltose i valori delle onde S sono di circa 400 m/s (figura 3).

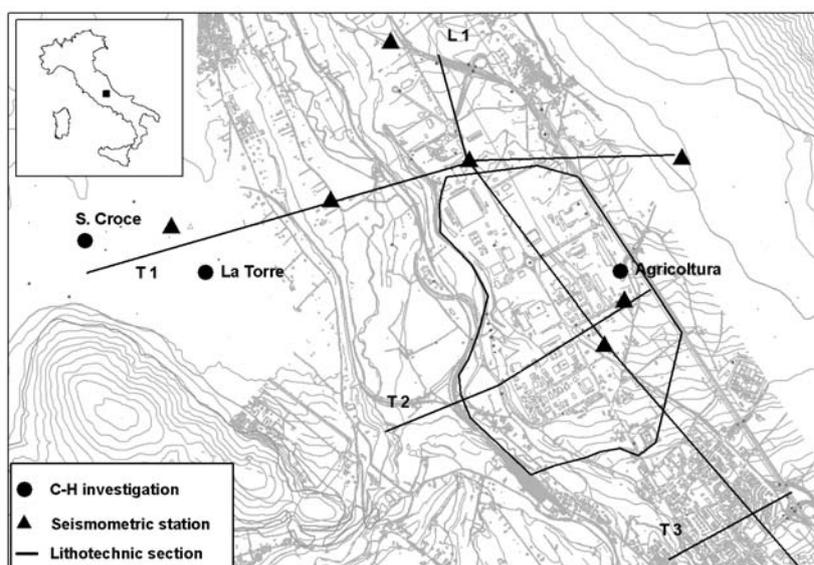


Figura 2: Ubicazione delle prove sismiche tipo cross-hole eseguite nell'area industriale; è inoltre visualizzata la posizione delle sezioni litotecniche.

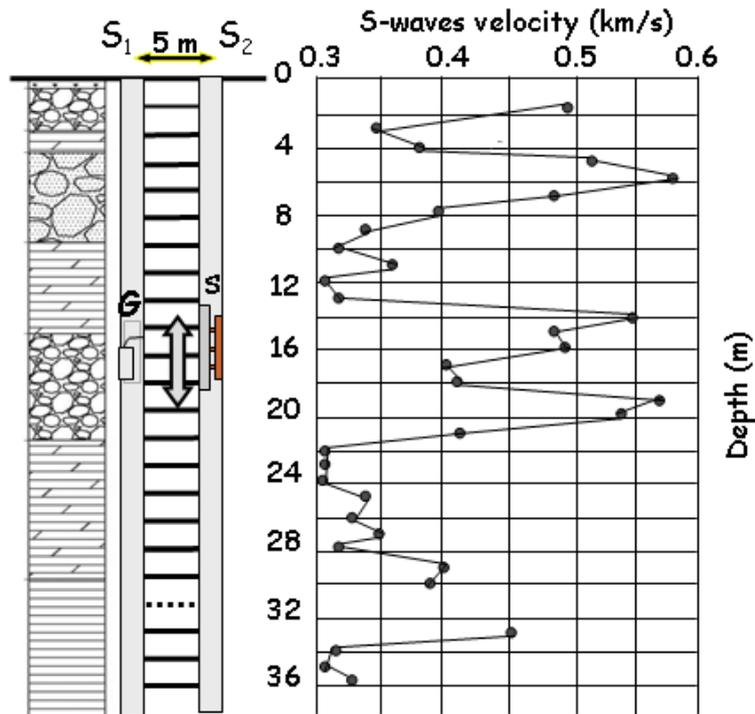


Figura 3: Andamento della velocità delle onde di taglio nel sondaggio di Viale dell'Agricoltura.

### 3.0 MISURE DI RUMORE AMBIENTALE

Al fine di analizzare i possibili effetti di amplificazione locale del moto del terreno nella piana di Sulmona è stata condotta una campagna di misure di rumore ambientale per l'individuazione dei modi propri di risposta dei siti tramite l'applicazione della metodologia HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) proposta da Nakamura (1989). L'applicazione di tale metodologia prevede che la "frequenza di risonanza" di uno strato di terreno coincida con la frequenza per la quale il rapporto spettrale delle componenti orizzontale e verticale del moto del suolo assume il valore massimo.

Sono stati eseguiti 3 stendimenti di misura sismometrica in *free field*, disposti sia longitudinalmente che trasversalmente rispetto alla piana, costituiti ciascuno da 5 postazioni munite di acquirettore Kinematics K2 a 12 canali e terna accelerometrica interna orientata verso N, verso E e verso l'alto, 1 GPS per la temporizzazione assoluta e 3 sensori velocimetrici Kinematics SS1 a 1Hz, anch'essi orientati rispettivamente verso N, verso W e verso l'alto. Come stazione di riferimento è stata scelta il sito di Roccacasale, situato a bordo piana sul versante orientale. Tale stazione permette, nel caso si verificano terremoti durante le misure di rumore ambientale, la rimozione degli effetti sismici dovuti alla sorgente e al percorso dell'onda, attraverso il confronto degli spettri delle registrazioni con quelli misurati nella stazione di riferimento (Borcherdt, 1994).

Le registrazioni di rumore ambientale sono state analizzate nel dominio delle frequenze calcolando, per ogni componente, la media degli spettri di Fourier ottenuti su una finestra mobile di 40 secondi.

Per ogni stazione e per ogni campionamento sono stati ottenuti i rapporti spettrali tra le due componenti orizzontali e la componente verticale; essi sono stati confrontati, per verificare la stabilità dei risultati, nei diversi orari del giorno e mediati per ogni singola componente.

I dati evidenziano una frequenza amplificativa di circa 0.6 Hz registrata nelle stazioni di Piano La Torre e S.Brigida (figure 4 e 5), localizzate nella porzione centrale della piana di Sulmona. In particolare la stazione di Piano la Torre evidenzia la presenza di due frequenze amplificative intorno a 0.6Hz e a 2Hz. Nella stazione di S. Brigida i rapporti H/V evidenziano la presenza di un picco intorno a 0.6Hz. A breve distanza, a sud-est del settore precedentemente citato, si distingue la stazione di Park Hotel dove risultano una serie di picchi amplificativi tra 3Hz e 6Hz sulla sola componente N-S (figura 6).

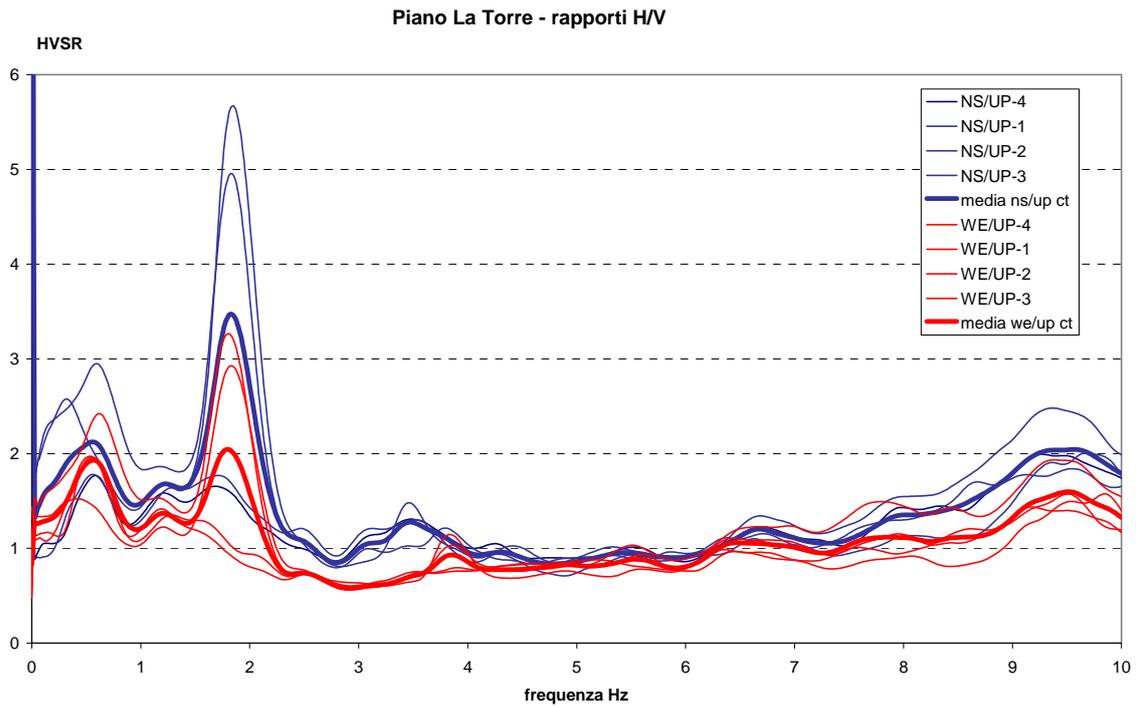


Figura 4 - I rapporti H/V misurati nelle stazione sismometrica di Piano la Torre.

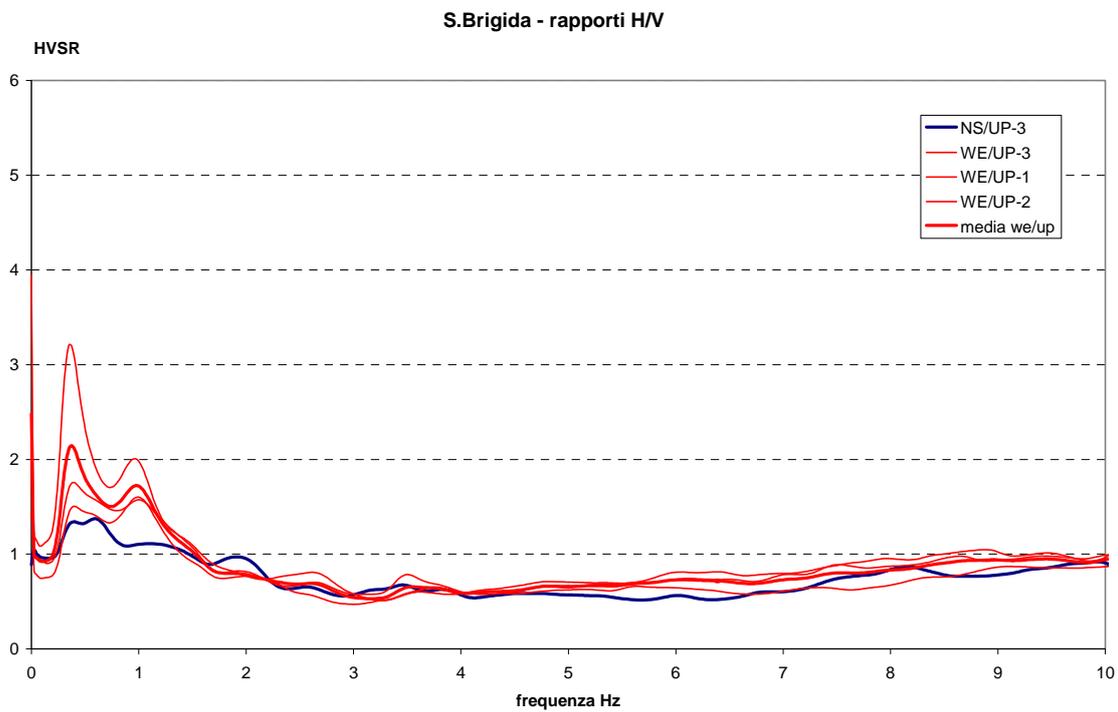


Figura 5 - I rapporti H/V misurati nelle stazione sismometrica S. Brigida.

### Park Hotel - rapporti H/V

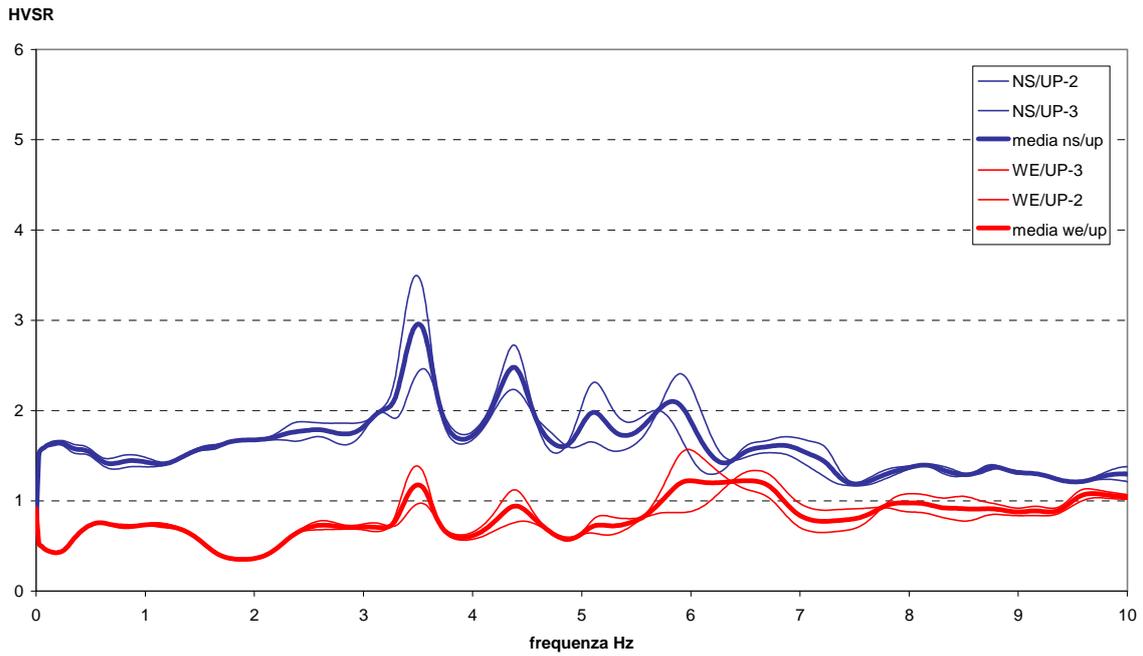


Figura 6 - I rapporti H/V misurati nelle stazione sismometrica di Park Hotel.

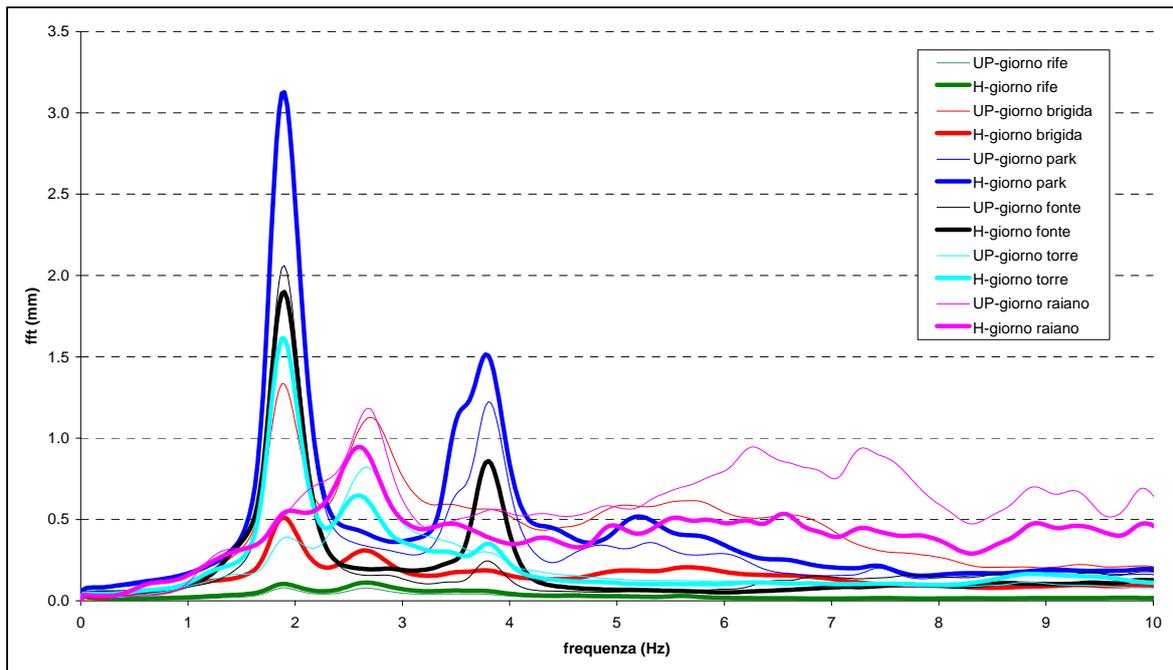


Figura 7 - Spettri di Fourier delle componenti orizzontali (H) e verticali (UP) ottenuti dalle misure di rumore diurno nelle stazioni di misura.

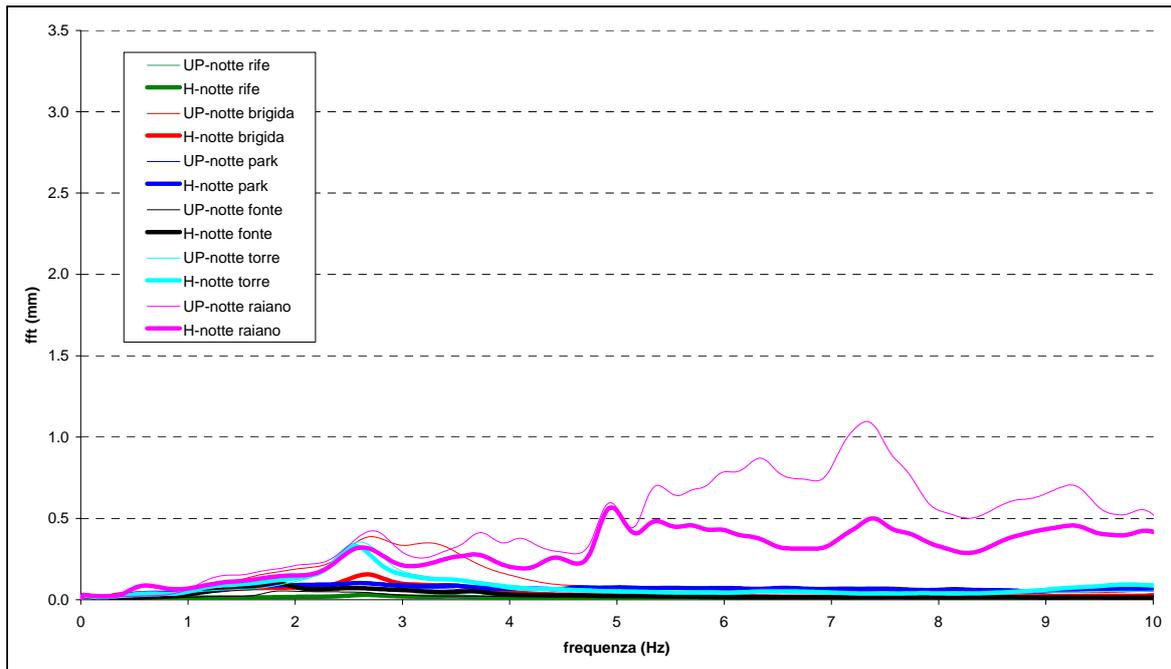


Figura 8 - Spettri di Fourier delle componenti orizzontali (H) e verticali (UP) ottenuti dalle misure di rumore notturno nelle stazioni di misura.

L'analisi degli spettri di Fourier (figura 7 e 8) evidenzia in tutte le stazioni, compresa quella di riferimento, la presenza di un marcato picco a 2 Hz su tutte le componenti delle sole registrazioni diurne; tale picco, risultando anche sulla componente verticale, non viene evidenziato dai rapporti H/V. La tipologia del picco e l'assenza di tale evidenza nelle misure notturne portano ad escludere effetti amplificativi di sito ed a supporre piuttosto una diffusa sorgente di disturbo.

#### 4.0 INDIVIDUAZIONE DEGLI EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA CON SIMULAZIONE NUMERICA 1D

Un impulso sismico che si applichi in corrispondenza di un substrato veloce ( $V_s > 700 \text{ m/s}$  - *bedrock*) di una successione stratigrafica costituita da strati piano-paralleli subisce modifiche sia in ampiezza d'onda che in contenuto di frequenze quando attraversa i terreni sovrastanti fino a giungere in superficie. Quantificare gli effetti amplificativi del moto sismico relativo alla colonna di terreni facente riferimento al sistema substrato-coperture significa riportare la risposta sismica al suolo (*output*) espressa in termini di ampiezza (*groundmotion*) e/o di frequenza (*Fast Fourier Transform* - FFT) dello scuotimento con quella riferita al substrato (*input*).

L'analisi della risposta sismica locale è stata condotta per mezzo di simulazioni numeriche misurando la risposta elastica del terreno allo scuotimento sismico, secondo un approccio lineare-equivalente in riferimento ad un modello unidimensionale del terreno valido nell'ipotesi di strati piano-paralleli. Tutte le simulazioni numeriche sono state calibrate sui risultati delle misure sperimentali di rumore ambientale.

In base ai dati stratigrafici e geotecnici disponibili sono state ricavate 5 stratigrafie sintetiche riferibili ai siti in corrispondenza dei quali sono state condotte le misure di rumore ambientale (Stratigrafia A = Piano la Torre; B = S.Brigida, Hotel S.Croce, La Vigna; C = Park Hotel; D = Fonte Amore; E = Raiano). Inoltre a partire dai risultati dell'indagine *cross-hole* si sono ricavate le velocità delle onde sismiche ( $V_p$  e  $V_s$ ), le curve di decadimento del modulo di taglio ( $G$ ) e del coefficiente di *damping* ( $D$ ), mentre le informazioni dei terreni in termini di peso specifico ( $\gamma_n$ ) sono state ricavate dal database geognostico (tabella 1).

Attraverso il codice di calcolo SHAKE1D, è stata ottenuta la funzione di amplificazione al suolo FA utilizzando quattro distinte leggi di decadimento  $G/G_0(\gamma)$  e le relative funzioni di smorzamento  $D(\gamma)$  per ogni livello stratigrafico nei quali sono stati sintetizzati i profili verticali del suolo. La funzione di amplificazione è stata successivamente confrontata per ogni sito con i rapporti tra componenti orizzontali e verticali del moto sismico ottenuti dalle misure di rumore ambientale.

Tabella 1: Stratigrafia sintetica e principali proprietà dinamiche del sito B.

Stratigrafia B (S. Brigida, Hotel S. Croce, La Vigna)							
strato	litologia	Vs	$\gamma_n$	spessore	profondità	D	G/G <sub>0</sub>
		m/s	t/m <sup>3</sup>	m	m	%	
I	silt	350	1.90	1.5		5	2
II	ghiaie	450	1.80	11	12.5	5	1
III	argille siltose	350	1.90	12	24.5	5	3
IV	ghiaie	450	1.80	4.5	29	5	1
V	argille siltose	350	2.00	18	47	5	3
VI	silt	400	2.10	103	150	5	3
bedrock	calcari	1000	2.40			1	

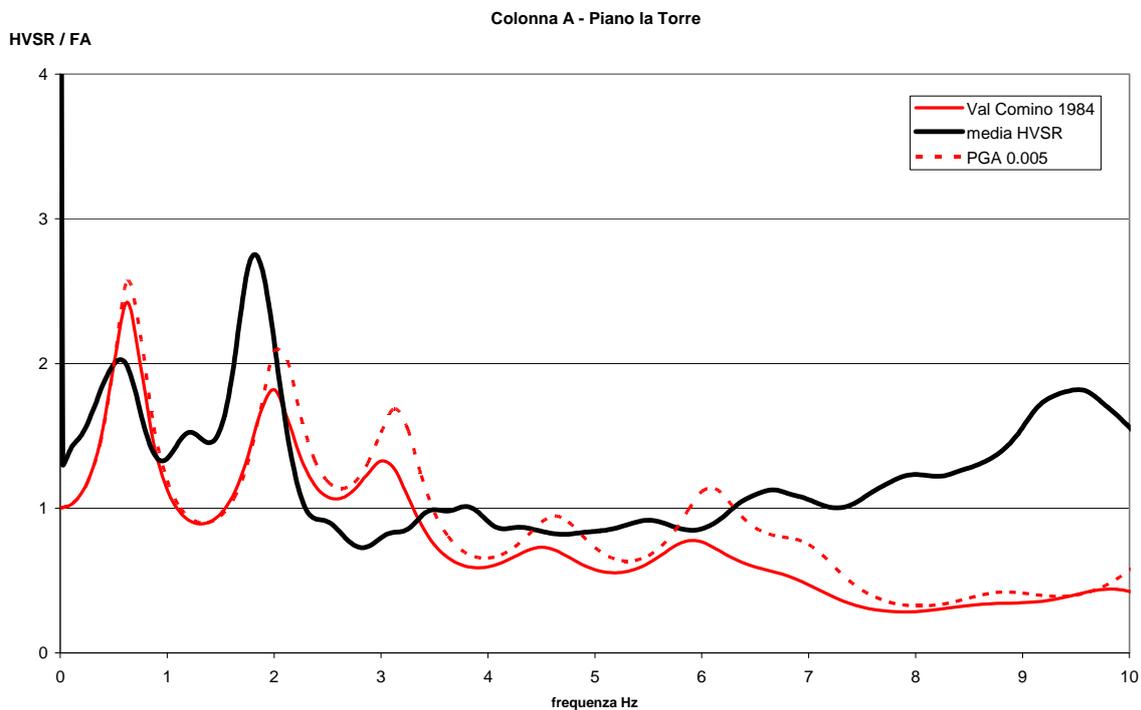


Figura 9: Rapporti spettrali H/V e funzioni di amplificazione (FA) ottenute in condizioni di strong motion per il sito di Piano La Torre.

Come input al *bedrock*, per le simulazioni numeriche con il codice di calcolo SHAKE 91, è stata utilizzata la registrazione relativa al terremoto di S. Donato Valcomino del 1984 (M=5.5) misurata nella stazione della Rete Accelerometrica Nazionale di Atina (FR), classificata come “roccia”.

Le FA ottenute (figure 9,10 e 11) evidenziano per tutti i siti, ad eccezione della stazione di Park Hotel, la presenza di frequenze amplificative rispettivamente a circa 0.5-0.6 Hz ed a 2 Hz, le prime associabili allo spessore del deposito della piana, l'altra al secondo modo di vibrazione della colonna di terreno. I valori del fattore di amplificazione restituito dalla FA per tali frequenze sono rispettivamente di circa 2.5 e di circa 1.8. Per il sito di Park Hotel, la FA evidenzia una risonanza compresa in una banda di frequenze tra 3Hz e 5Hz dovuta alla presenza nei primi 20 m di alternanze di ghiaie e limi; a tale banda di frequenze corrisponde un fattore di amplificazione pari a circa 2. In particolare, la modellazione 1D ritrova una convergenza con la risposta sismica misurata assumendo la mancanza di un significativo contrasto di rigidità tra depositi e *bedrock* (pari a circa 250 m/s in termini di Vs), qui costituito da flysch, e considerando indifferenziati dal punto di vista dinamico la successione limo-ghiaiosa ed i sottostanti flysch. Tale condizione giustifica, peraltro, la mancanza di frequenze di risonanza inferiori ad 1Hz.

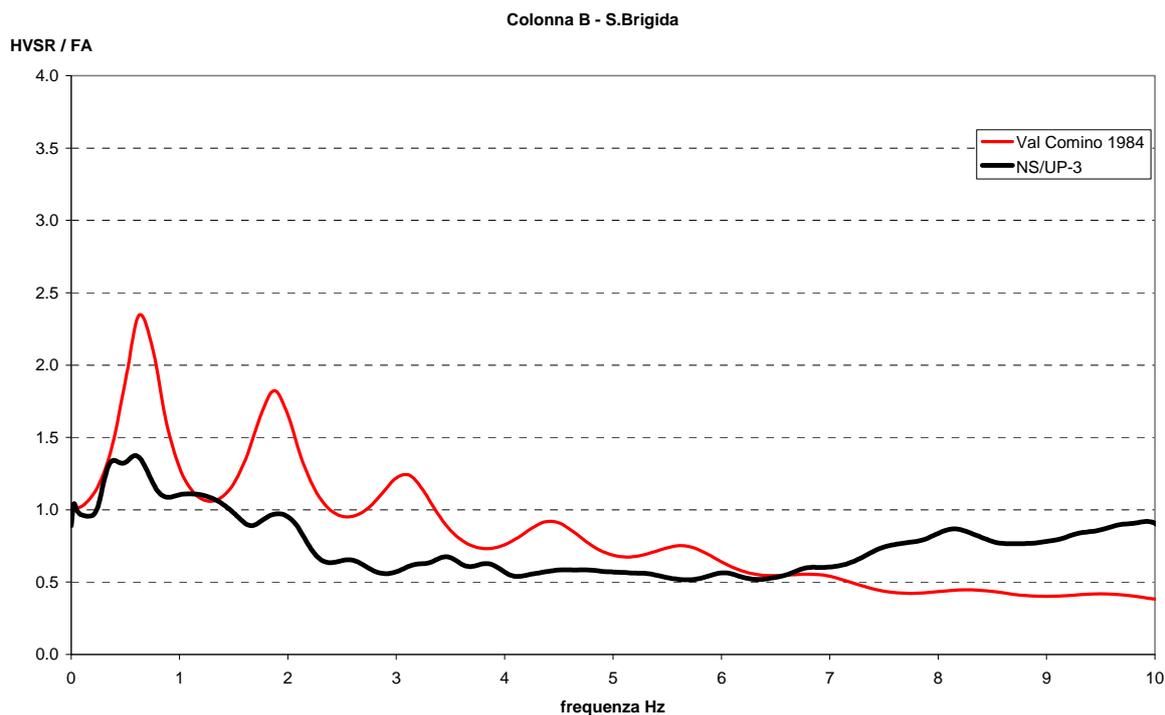


Figura 10 Rapporti spettrali H/V e funzioni di amplificazione (FA) ottenute in condizioni di strong motion per il sito S. Brigida.

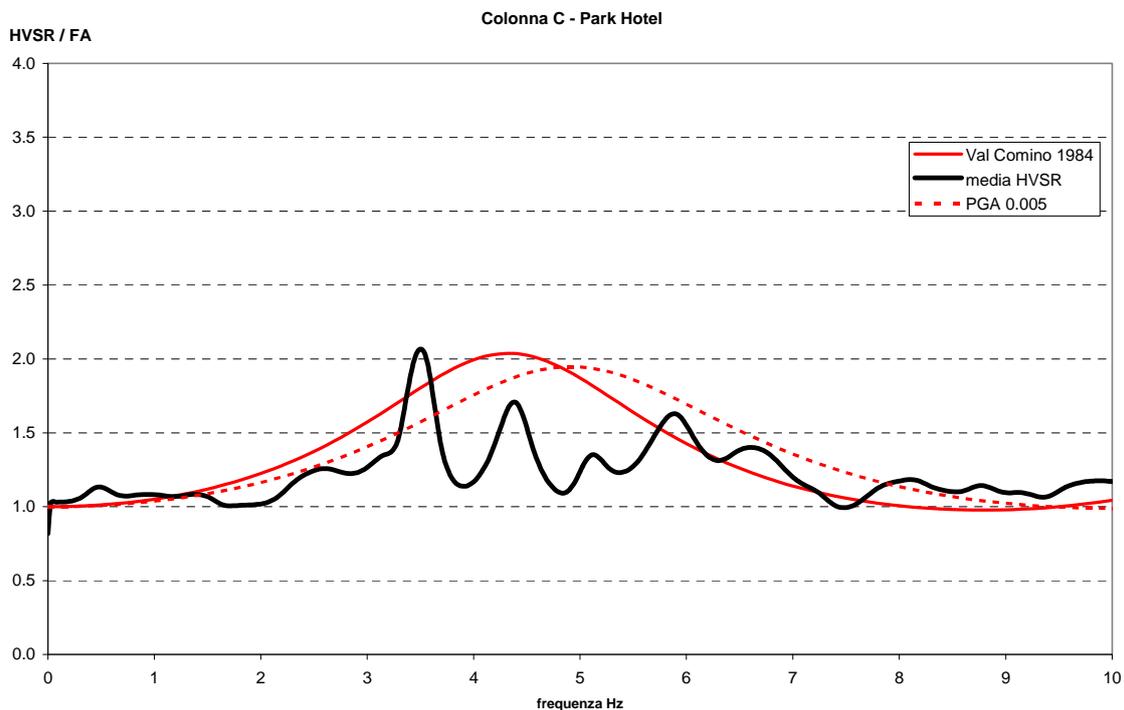


Figura 11: Rapporti spettrali H/V e funzioni di amplificazione (FA) ottenute in condizioni di strong motion per il sito di Park Hotel.

#### 4.1 Spettri di risposta

Lo spettro di risposta al suolo è stato ottenuto per uno smorzamento del 5% nella ipotesi di PGA pari a 0.09 g ed è stato confrontato con lo spettro di progetto orizzontale elastico proposto dal Testo Unico - Norme Tecniche per le costruzioni (G.U. 23/09/2005, n.222). Per le tre categorie di suolo considerate, gli spettri di

progetto sono stati ottenuti utilizzando i valori proposti dal Testo Unico per  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  ed  $S$ . Inoltre, è stato utilizzato un valore del coefficiente  $\eta$  pari ad 1, corrispondente ad uno smorzamento  $\xi=5\%$ . Gli spettri di progetto sono stati ottenuti per un'accelerazione di ancoraggio ( $a_g$ ) pari a 0.09g, la stessa, cioè, utilizzata per ottenere dalla modellazione 1D lo spettro di risposta al suolo e le FA.

Tabella 2 : Correlazione tra le stratigrafie delle stazioni sismometriche e i valori proposti dal Testo Unico

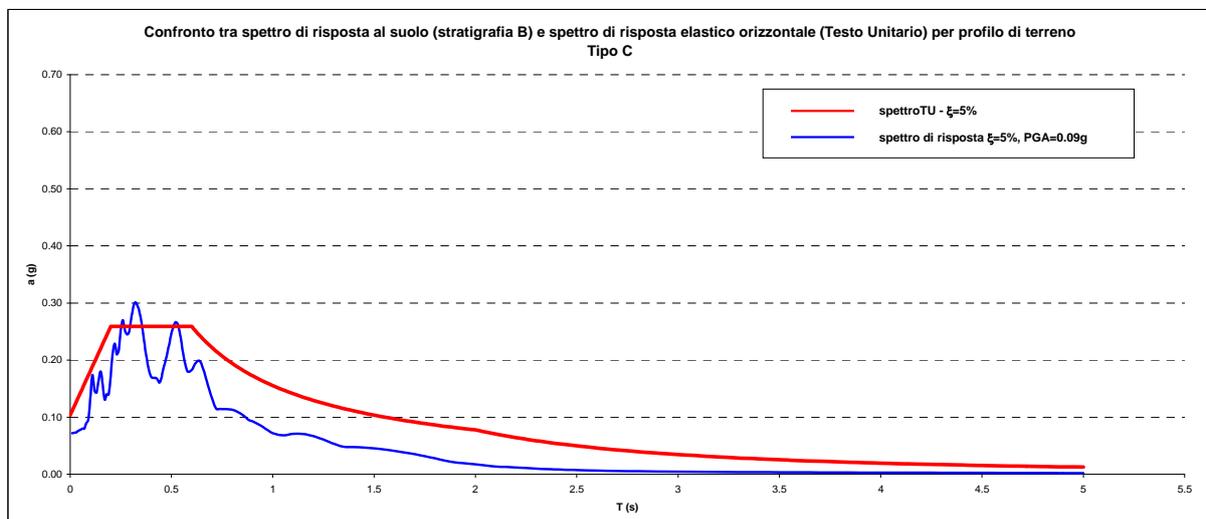
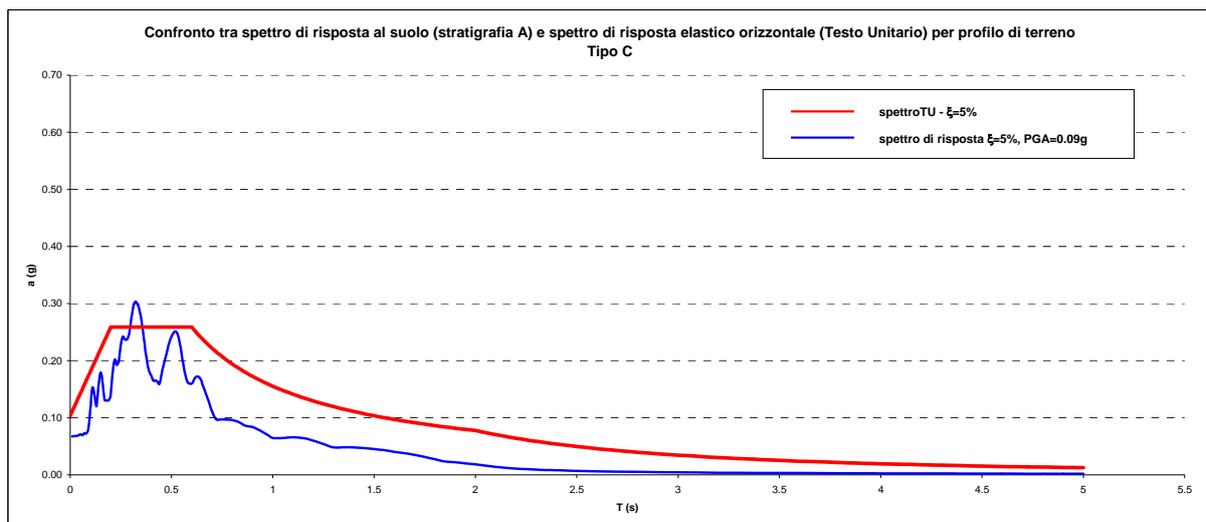
Stratigrafia	Tipo di suolo*	$V_{S30}$ (m/s)	$S^*$	$T_B^*$	$T_C^*$	$T_D^*$	$\square$	$\square$	$a_g$
A	C	411	1.25	0.15	0.50	2.00	1	5	0.35
B	C	411	1.25	0.15	0.50	2.00	1	5	0.35
C	C	455	1.25	0.15	0.50	2.00	1	5	0.35
D	E	452	1.25	0.15	0.50	2.00	1	5	0.35
E	C	400	1.25	0.15	0.50	2.00	1	5	0.35

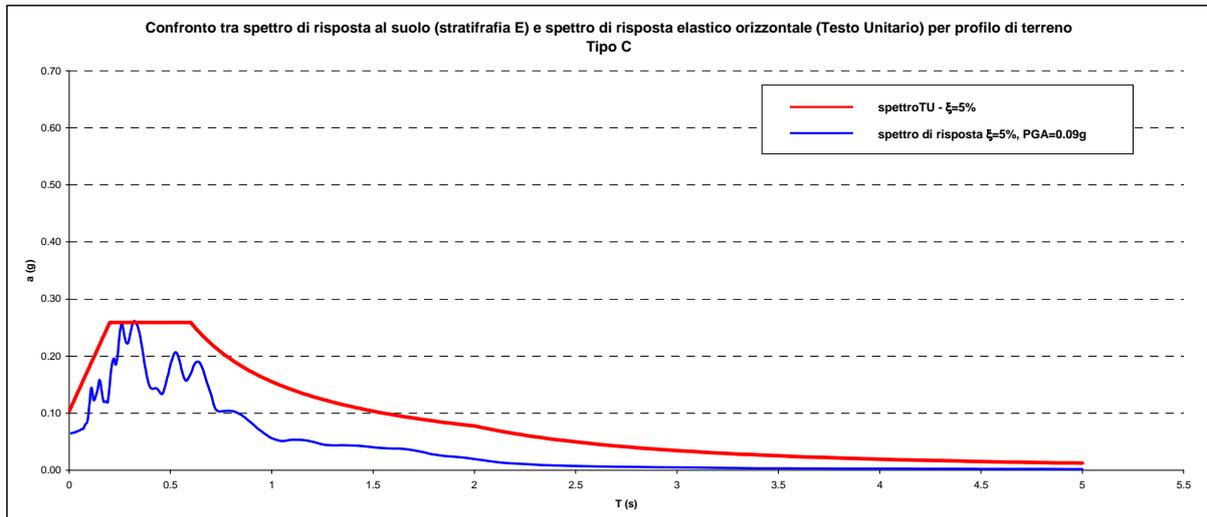
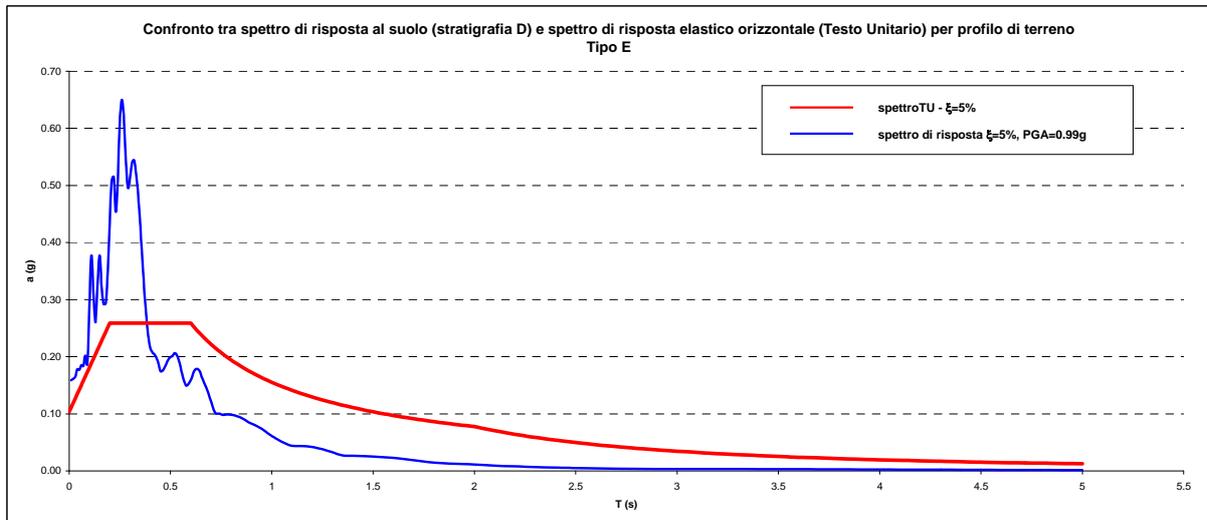
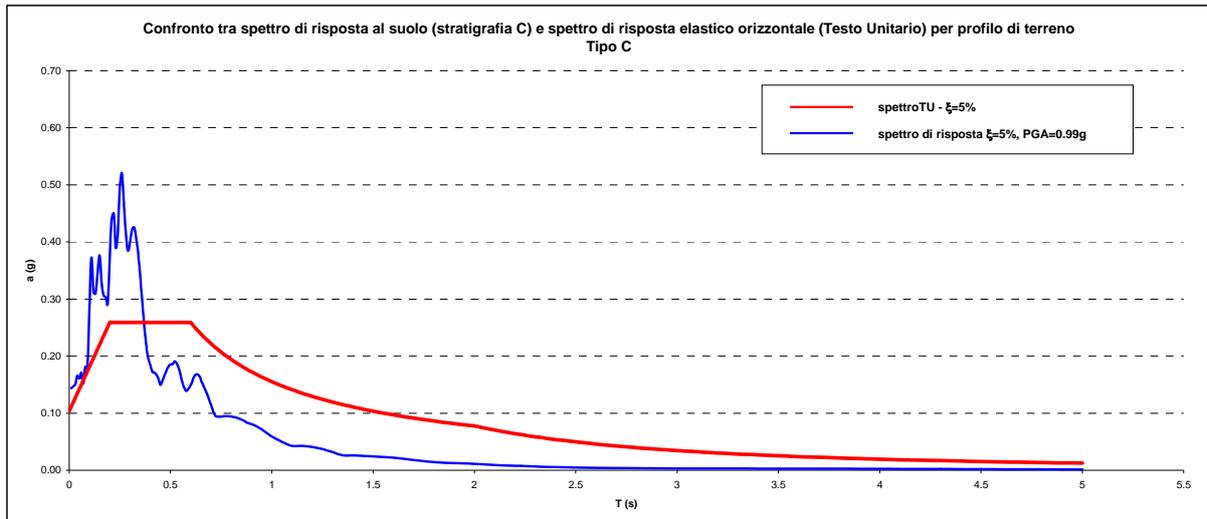
\* *Testo Unico - Norme tecniche per le costruzioni (G.U. 23/09/2006, n.222)*

Nei seguenti cinque grafici sono riportati i risultati degli spettri di risposta al suolo, ottenuti mediante la modellazione numerica, confrontati con gli spettri di progetto proposti nel Testo Unico secondo l'ordine riportato in tabella 2.

I risultati confrontati sono compatibili per le sole stratigrafie A, B ed E.

Invece, nelle stratigrafie C e D gli spettri ottenuti dalla simulazione sono più ampi degli spettri di progetto per periodi compresi tra 0.3 e 0.4 secondi. Tali stratigrafie sono relative rispettivamente ad un substrato privo di un marcato contrasto di rigidità ed a un'area in cui i terreni soffici raggiungono il massimo spessore.





## CONCLUSIONI

L'obiettivo della presente ricerca è stato quello di valutare la risposta sismica nella Conca di Sulmona attraverso l'applicazione di due diverse metodologie di indagine. La prima, basata sull'analisi delle misure di rumore ambientale attraverso l'applicazione della metodologia HVSRR, ha evidenziato la presenza di un picco di amplificazione di 0.6 Hz nel settore centrale della piana, ad eccezione del sito di Park Hotel, ed un picco di 2 Hz in tutte le stazioni di misura, quest'ultimo causato probabilmente da disturbi prodotti dall'attività antropica.

La seconda metodologia utilizzata è consistita in una simulazione numerica monodimensionale applicata in condizioni di *strong motion*, utilizzando il codice di calcolo SHAKE 91. Come parametri di input sono state inserite le informazioni relative alle caratteristiche dinamiche dei terreni e la sorgente sismica del terremoto di S. Donato Valcomino, verificatosi nel 1984 con una magnitudo di 5.5, misurato nella stazione della Rete Accelerometrica Nazionale di Atina (FR). Le funzioni di amplificazione del terreno ottenute sono state calibrate con i risultati della campagna di misura del rumore ambientale.

I risultati mostrano la presenza di frequenze di risonanza inferiori o al massimo uguali ad 1Hz, quando il substrato geologico della piana è costituito dai calcari (stratigrafie A, B, ed E); infatti l'alternanza di ghiaie e limi, tipologie prevalenti dei depositi fluvio-lacustri di riempimento della piana, condiziona la risposta sismica locale solo in assenza di un substrato sismico a forte contrasto di rigidità (stratigrafia C). Inoltre le condizioni geologiche di bordo piana controllano la risposta sismica locale 1D in relazione allo spessore dei depositi di detrito di versante o alluvionali (conoidi antiche) quando queste poggiano su un substrato in grado di produrre un  $\Delta V_s$  di almeno 550 m/s, come rappresentato dalla risposta simulata sulla colonna stratigrafica D.

I valori dei fattori di amplificazione, ottenuti dalle FA simulate con un *input strong motion* e letti in corrispondenza dei picchi di frequenza del primo modo sono intorno a 2.5.

Confrontando i dati ottenuti con gli spettri di progetto della normativa italiana vigente, è emerso che la risposta attesa nei valori di frequenza delle principali opere civili ed industriali è sottostimata nelle aree delle stazioni di misura di Park Hotel e di Fonte Amore, situate rispettivamente nel settore centrale della piana, dove il substrato sismico è rappresentato dal flysch e nel margine orientale, dove la successione litologica raggiunge il massimo spessore. Occorre tenere conto che tali aree sono interessate da un progetto di sviluppo industriale che dovrà ovviamente tenere conto di tale situazione. Proprio a questo scopo la procedura di indagine sito-specifica proposta, ed i risultati ottenuti, potranno costituire un valido supporto decisionale alle scelte progettuali e di pianificazione del territorio. Inoltre tale metodologia può essere utilizzata, mediante inserimento di parametri sito-specifici, per la gestione delle interazioni fra rischio industriale e rischio sismico nel territorio nazionale.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Accordi, F. Carbone, G. Civitelli, L. Corda, D. De Rita, D. Esu, R. Funicello, T. Kotsakis, G. Mariotti, A. Sposato, Note illustrative alla carta delle litofacies del Lazio-Abruzzo ed aree limitrofe. Prog. Fin. Geodinamica, *Quaderni de "La Ricerca Scientifica"*, C.N.R., Roma, Vol. 114(5) p. 223 (1988).
- [2] A. Giovannelli, Le Unità carbonatiche circostanti la pianura di Sulmona (AQ). Stratigrafia, analisi di facies e paleogeografia. *Tesi di dottorato A.A. 1991-1992*, Università degli studi di Roma "La Sapienza" (1992).
- [3] E. Miccadei, Geologia dell'area Alto Saggittario-Alto Sangro (Abruzzo, Appennino centrale). *Geologica Romana*, Vol. 29, pp. 463-481 (1993).
- [4] E. Miccadei, M. Parotto, Geologia dell'area M. Rotella-M. Pizzato-M. Porrara (Abruzzo, Appennino centrale). *Geologica Romana*, Vol. 34, (1999).
- [5] E. Boschi, G. Ferrari, P. Gasperini, E. Guidoboni, G. Smriglio G. Valensise, *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*, ING-SGA: Bologna, pp. 543-549 (1995).
- [6] Mancini, A., Personal communication, 19 April 2006, Consortium for the Sulmona industrial development, Sulmona, Italy.
- [7] Rinaldini, A., Pecci, M., Marino, A., Bellagamba, S. & Ciucci, M., Sviluppo di un database geologico per l'analisi dei rischi naturali nelle attività della Piana di Sulmona (L'Aquila). *Atti quarto Convegno Nazionale valutazione e gestione del rischio negli insediamenti civili e industriali*, 110.pdf, (2004).
- [8] Guida Geologica Regione Abruzzo, Be.Ma. editrice, 2003.
- [9] Nakamura, Y., A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. *Quarterly Reports of the Railway Technical Research Institute Tokyo*, 30, pp. 25-33, 1989.
- [10] Borchardt R.D. (1994) - Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification). *Earthquake Spectra*, 10, 617-653.