



Città di Avezzano

Con il patrocinio di:



Ordine degli Architetti
Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori
della Provincia dell'Aquila



ORDINE degli
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DELL'AQUILA



IL FUTURO IN COSTRUZIONE.
L'INNOVAZIONE DIVENTA SCUOLA
SOSTITUZIONE EDILIZIA DELLA SCUOLA PRIMARIA
"GIOVANNI XXIII"

**CONCORSO DI PROGETTAZIONE IN DUE GRADI
MEDIANTE L'USO DI MATERIALI E TECNICHE A RIDOTTO IMPATTO AMBIENTALE
DURANTE IL CICLO DI VITA DELL'OPERA
CPV: 71221000-3U**

ALLEGATO 4.4: Relazione risposta sismica locale

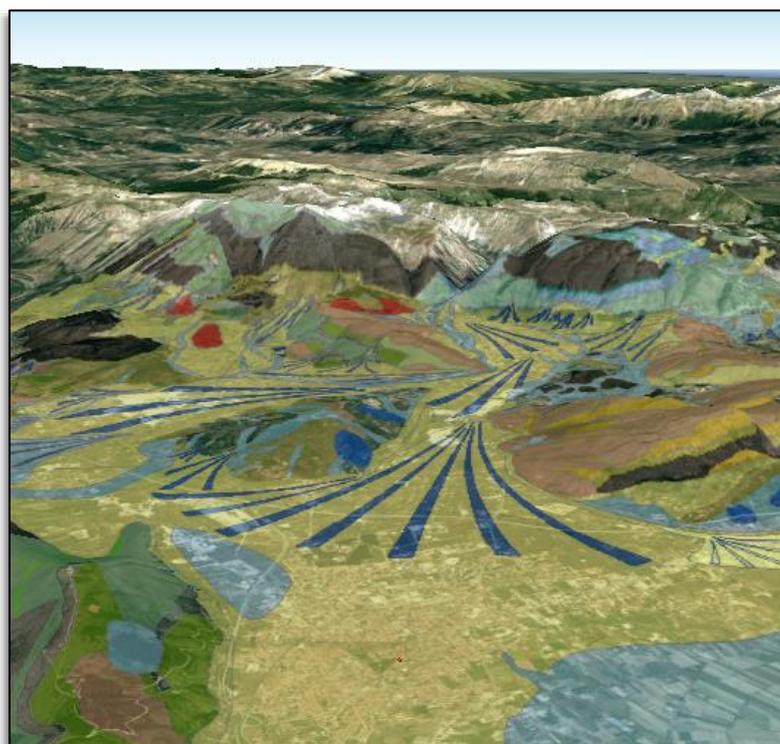
“Relazione geologica preliminare per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico in sostituzione della scuola primaria Giovanni XXIII”.

CITTA' DI AVEZZANO



COMUNE DI AVEZZANO

(PROVINCIA DI L'AQUILA)



RELAZIONE DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

COMMITTENTE:

COMUNE DI AVEZZANO

Piazza della Repubblica 8,
Avezzano (AQ).

NOVEMBRE / DICEMBRE 2018

Studio di Geologia - Dott.ssa Geologa Camilla Di Bastiano

Avezzano (AQ)- Via Mons. Bagnoli, 23 - 67051

cel. 328-0861212 e-mail: camilledibastiano@gmail.com



COMUNE DI AVEZZANO
(PROVINCIA DI L'AQUILA)

PROGETTO: *Relazione geologica preliminare per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico in sostituzione della scuola primaria Giovanni XXIII.*

COMMITTENTE: *Comune di Avezzano (AQ).*

CANTIERE: *Avezzano Via F.Parri / Via A.Moro.*

RELAZIONE DI RISPOSTA SISMICA LOCALE



Il Geologo
Dott.ssa Camilla Di Bastiano

1. RELAZIONE DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Si denomina “risposta sismica locale” l’azione sismica quale emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Scopo dello studio è la valutazione degli effetti di sito e la definizione dell’azione sismica di progetto in maniera più accurata rispetto alla procedura semplificata ammessa dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 18. Attraverso lo studio di risposta sismica locale vengono calcolati gli spettri di risposta specifici per il sito in esame.

Elaborare uno studio di risposta sismica locale consiste nel valutare, attraverso un modello numerico, l’azione sismica attesa. L’approccio numerico consiste nelle seguenti fasi:

- Definizione della geometria del problema;
- Caratterizzazione dinamica dei terreni;
- Scelta dei terremoti di input;
- Utilizzo di un codice di calcolo che fornisce come output lo spettro di risposta elastico.

Per il calcolo è stato adottato un modello di comportamento del terreno di tipo lineare equivalente che consiste nella soluzione di un problema non lineare attraverso analisi lineari complete alle quali, al termine di ogni iterazione, vengono aggiornati i parametri di rigidezza e smorzamento dipendenti dallo stato di deformazione del terreno. L’analisi è quindi iterativa fino al raggiungimento di una convergenza dei risultati.

Per quanto riguarda la definizione della geometria del problema, per il sito in esame essendo il sottosuolo dell’area riconducibile ad una geometria monodimensionale, può essere descritto con la sola sismostratigrafia del sito stesso, in quanto si ha la presenza di una successione stratigrafica suborizzontale sufficientemente estesa da non risentire di effetti bidimensionali. Proprio per questo viene portata avanti in questo lavoro un’analisi con modelli 1D: si riconduce il problema allo schema di terreno uniforme o stratificato orizzontalmente, delimitato da piano campagna orizzontale e poggiante su substrato rigido, anch’esso orizzontale. Sono assimilabili ad un substrato rigido strati di terreno molto rigidi caratterizzati da velocità delle onde di taglio maggiori di 700-800m/s.

Nella definizione del modello geotecnico di sottosuolo è necessario specificare, per ciascuno degli strati individuati, i parametri di ingresso all’analisi. Il modello sismostratigrafico del sottosuolo per l’area in esame deriva dall’interpretazione delle prove geofisiche effettuate congiuntamente ai dati derivanti dallo studio di *Microzonazione Sismica di primo livello* del Comune di Avezzano.

Il successivo passo riguarda la definizione delle azioni sismiche di ingresso, costituite da accelerogrammi rappresentativi del moto sismico atteso su sito di riferimento rigido affiorante (sottosuolo categoria A). La normativa non ammette l’uso di accelerogrammi artificiali spettro –

compatibili ma per le analisi di risposta sismica locale è ammesso l'uso di accelerogrammi registrati, la ricerca dei quali può essere effettuata da archivi nazionali e internazionali, a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito. Il primo passo riguarda la definizione dell'input sismico che può essere determinato attraverso una serie di informazioni preliminari:

- 1) Coordinate del sito.
- 2) Classe d'uso.
- 3) Vita di riferimento V_r come moltiplicazione della Vita nominale (V_n) e del Coefficiente d'uso (C_u).
- 4) Stato limite o stati limite del progetto, a cui corrisponderanno differenti a_g in funzione dei differenti periodi di ritorno T_r .

Le suddette caratteristiche relative al presente studio sono riassunte nella seguente tabella (Fig. 1)

COORDINATE DEL SITO (ED50)	<i>Latitudine: 42.048054 Longitudine: 13.428639</i>
VITA NOMINALE (V_n)	<i>50 anni</i>
CLASSE D'USO	<i>III</i>
COEFFICIENTE D'USO (C_u)	<i>1,5</i>
VITA DI RIFERIMENTO (V_r)	<i>75 anni</i>
STATO LIMITE DI RIFERIMENTO	<i>SLV (Salvaguardia della Vita Umana)</i>
PROBABILITA' DI SUPERAMENTO (P_{VR})	<i>10%</i>
PERIODO DI RITORNO (T_r)	<i>712 anni</i>

Figura 1: Tabella riassuntiva delle informazioni relative al sito e all'opera in esame.

Tali informazioni sono utili al fine di stimare la pericolosità sismica di base del sito. Il valore di a_g , relativo allo Stato limite SLV e ad un periodo di ritorno di 712 anni è pari a 0.283 g (Fig. 2).

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	45	0.092	2.347	0.280
SLD	75	0.117	2.314	0.290
SLV	712	0.283	2.385	0.348
SLC	1462	0.363	2.415	0.363

Figura 2: Valore di a_g da normativa relativo al sito in esame e per i differenti Stati Limite, per una classe d'uso IV.

Questi dati nell'ottica di uno studio di risposta sismica locale mediante modellazione numerica sono da intendere come la definizione delle forme spettrali del terremoto di input. I terremoti registrati dovranno avere una forma spettrale compatibile con quella costruita a partire dai dati esposti.

Una volta definita la forma spettrale di riferimento, sono state individuate le caratteristiche sismogenetiche del sito; è stata quindi reperita una coppia di dati magnitudo – distanza epicentrale, necessaria per scegliere i terremoti naturali dai cataloghi. Questa operazione indicata come *disaggregazione sismica* consiste nell'individuare, a partire da uno studio di pericolosità sismica di tipo probabilistico, le coppie di dati che maggiormente concorrono alla stessa pericolosità.

L'analisi di disaggregazione è stata eseguita sui dati di pericolosità sismica elaborati dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nell'ambito del progetto S1 e reperibili nel sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> (Fig. 3a e 3b).

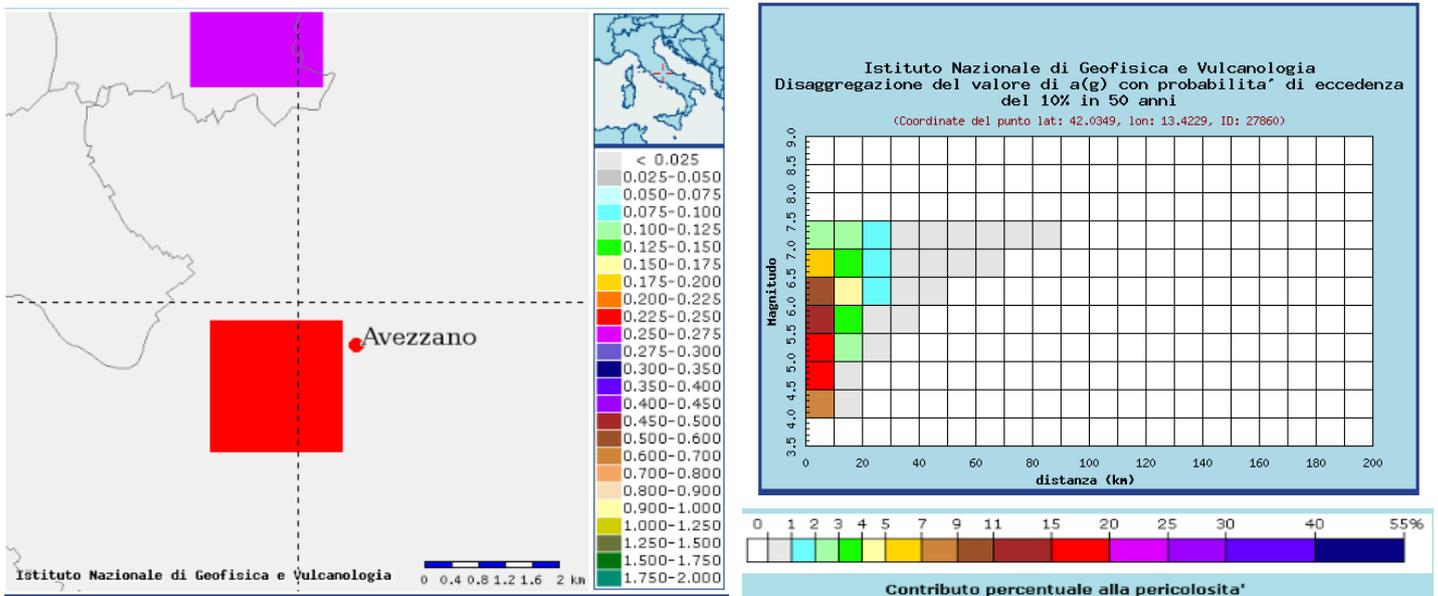


Figura 3a: Mappa interattiva di pericolosità: punto della griglia relativo alla città di Avezzano e relativo grafico di disaggregazione. Da <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 42.0349, lon: 13.4229, ID: 27860)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	7.360	19.900	18.700	14.500	9.620	5.520	2.160	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.056	0.848	2.330	3.470	4.030	3.710	2.060	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.033	0.413	1.010	1.430	1.080	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.208	0.544	0.533	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.177	0.243	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.081	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.024	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Valori medi											
Magnitudo	Distanza	Epsilon									
5.610	7.500	0.890									

Figura 3b: Risultato in forma tabellare della disaggregazione sismica. Da <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

La tabella mostra il contributo percentuale delle diverse coppie magnitudo – distanza. La massima percentuale pari al 19,9% si ha per terremoti di magnitudo tra 4.5 e 5 tra 0 – 10 km di distanza, ma l'intervallo si amplia prendendo in considerazione tutti i contributi. Si arriva così ad avere un range di magnitudo tra 4 e 7.5 a distanza compresa tra 0 e 70 km.

Una volta acquisite tutte le informazioni necessarie sono stati reperiti da specifiche banche dati gli accelerogrammi naturali. Per la selezione delle combinazioni degli accelerogrammi naturali da utilizzare come input sismici compatibili con gli spettri da normativa si è utilizzato il programma REXEL versione 3.5, sviluppato dall'Università degli Studi di Napoli Federico II.

Gli accelerogrammi selezionati sono stati tutti registrati su siti rocciosi affioranti e sono caratterizzati da valori di magnitudo e distanza epicentrale, compatibili con i risultati dello studio di

disaggregazione. La tolleranza adottata sui valori di distanza è tipicamente maggiore di quella sui valori di magnitudo, poiché quest'ultima ha un'influenza maggiore sulle caratteristiche del moto sismico. In Fig. 4 vengono riportate le componenti orizzontali degli accelerogrammi utilizzati nelle analisi. In Fig. 5 sono illustrati gli accelerogrammi naturali.

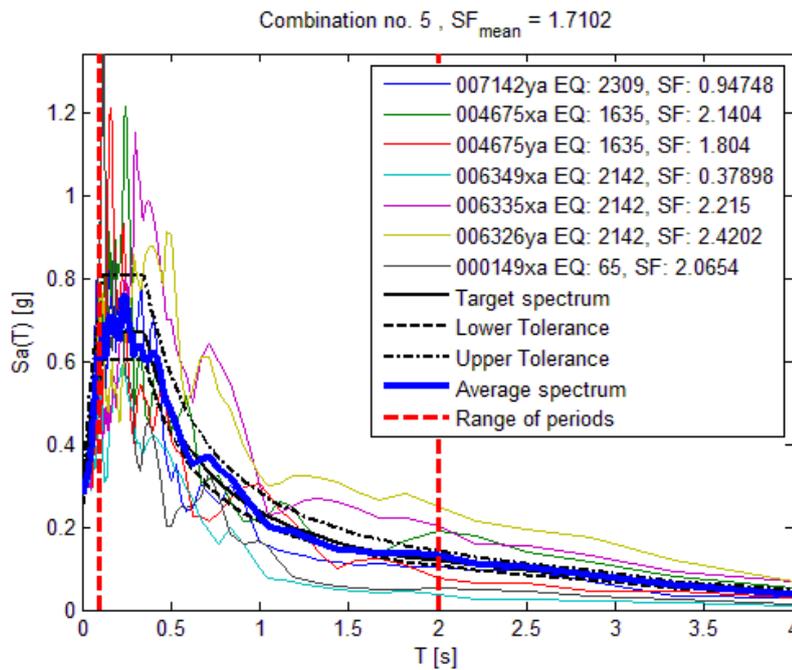


Figura 4: Componenti orizzontali dei 7 accelerogrammi estratti per l'analisi di risposta sismica locale per il sito in esame. La figura mostra la compatibilità spettrale tra lo spettro medio ottenuto e quello di normativa relativo allo spettro di risposta elastico.

Relazione di Risposta Sismica Locale

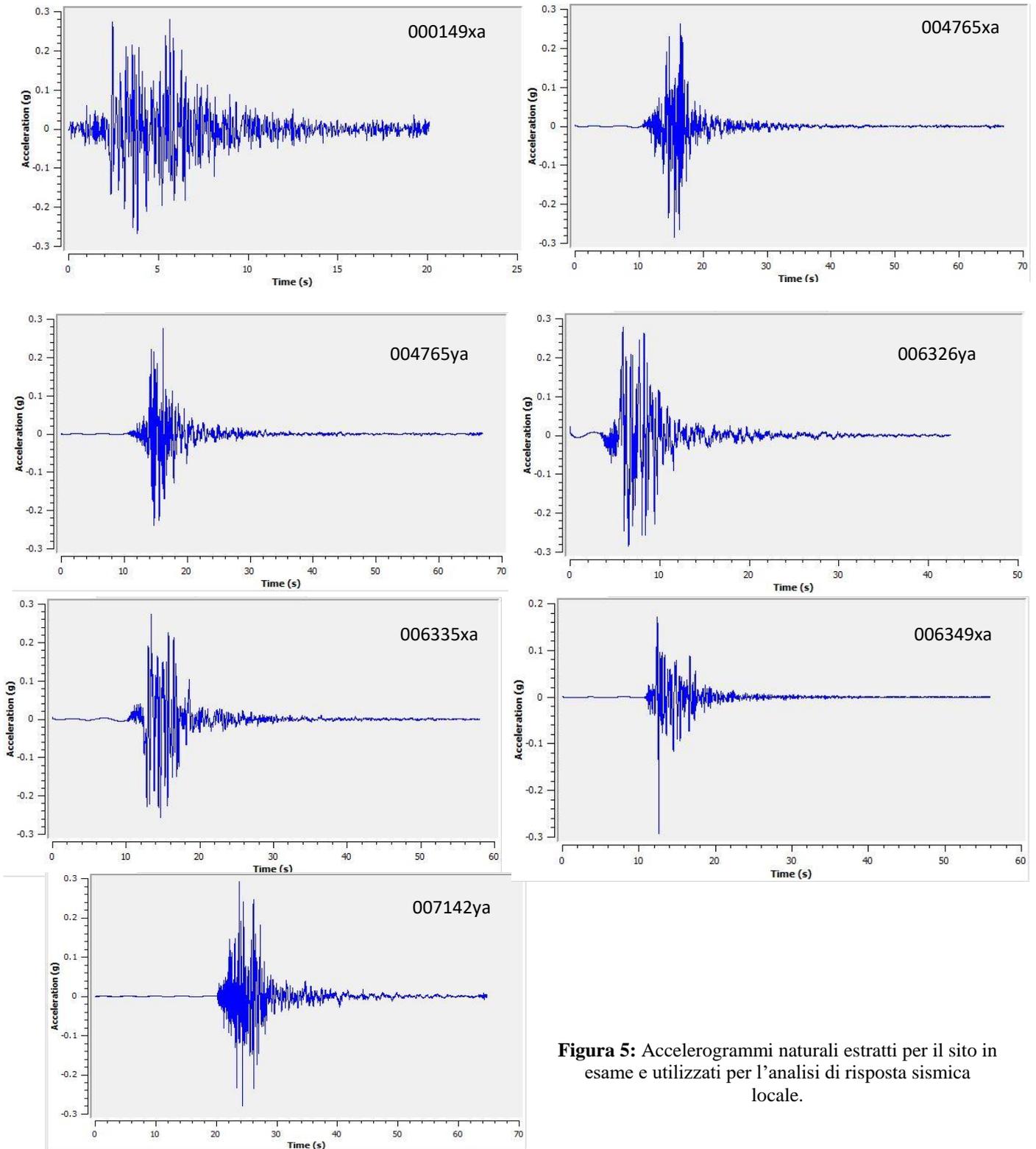
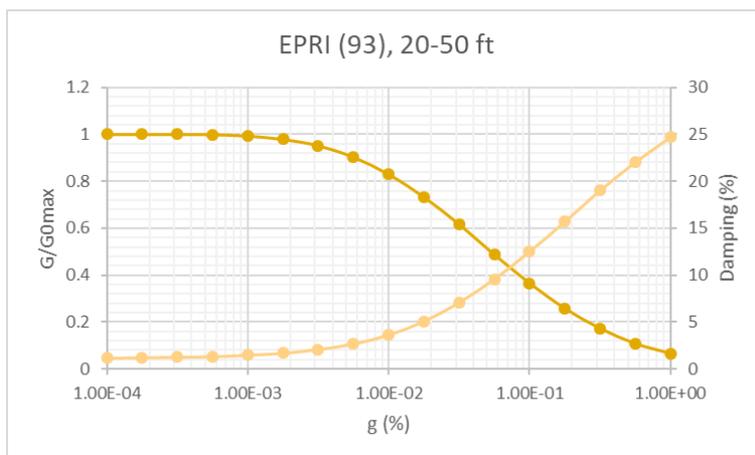
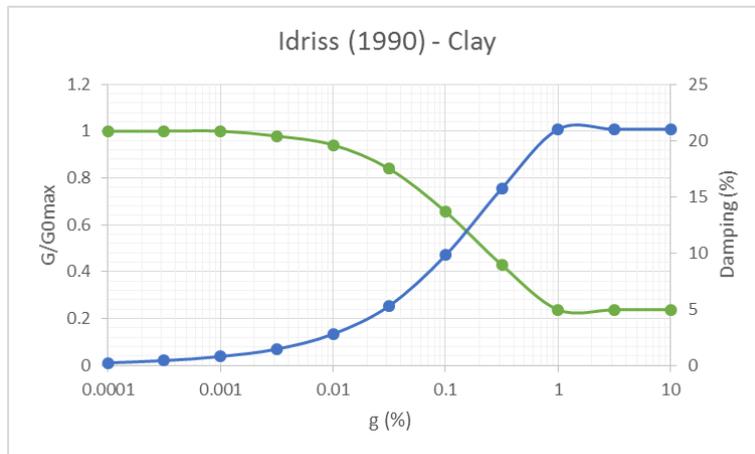


Figura 5: Accelerogrammi naturali estratti per il sito in esame e utilizzati per l'analisi di risposta sismica locale.

Il successivo passo per elaborare l'analisi di risposta sismica locale è stato l'utilizzo del codice di calcolo per la modellazione monodimensionale. In particolare è stato utilizzato il software STRATA,

che permette il calcolo della risposta dinamica monodimensionale di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione delle onde lineare, con proprietà dinamiche del terreno variabili in funzione del livello deformativo. All'interno del software è stata introdotta la geometria del modello suddividendo il sottosuolo nelle diverse unità sismostratigrafiche; ogni strato è contraddistinto dal valore dello spessore H, dalla corrispondente V_{max} , dal peso dell'unità di volume γ e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ($G/G_0 - \gamma$) e le corrispondenti curve di smorzamento ($D - \gamma$). È stato scelto di utilizzare un modello EQL (modello lineare equivalente) dove i valori della rigidità e dello smorzamento sono in funzione del campo tensionale e delle conseguenti deformazioni; tale modello fa uso di curve di degradazione o decadimento del modulo di taglio G e variazione del rapporto di smorzamento. Le curve utilizzate per l'analisi effettuata sono state reperite da specifica bibliografia e sono di seguito riportate (Fig. 6).



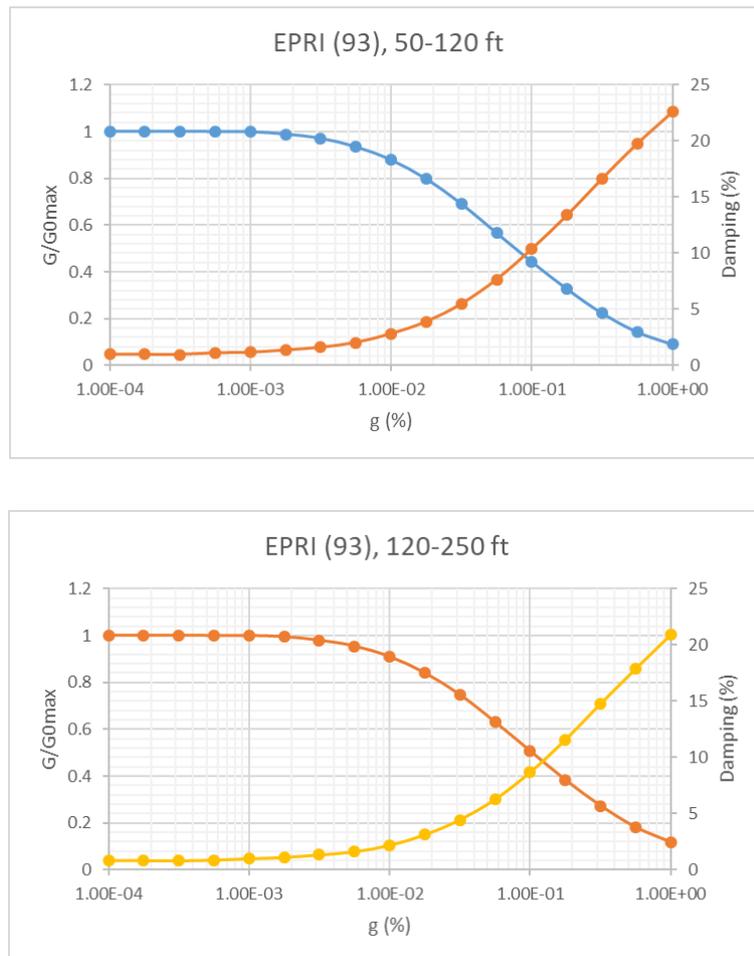


Figura 6: Curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato (G/G_0) e relative curve di smorzamento utilizzate per l'analisi di risposta sismica locale. Le curve sono state reperite da bibliografia. Da Idriss (1990) – Clay; EPRI (93).

È stato quindi effettuato il calcolo dello spettro di risposta di input (utile per un successivo confronto con l'analogo dato finale) e la trasformazione del moto di input dal dominio del tempo al dominio delle frequenze (spettro di Fourier), per poi passare all'esecuzione dell'analisi: sulla base del modello sismostratigrafico e quindi della funzione di trasferimento tipica del sito, lo spettro di input viene modificato nell'attraversare il profilo di terreno. Il modello è iterativo e ciò comporta che all'aumentare della deformazione indotta, i valori di G e D iniziali vengano progressivamente sostituiti con i valori degradati, sulla base delle curve dinamiche inserite per ogni strato.

Mediante antitrasformata di Fourier viene definito l'accelerogramma di output, tramite il quale il programma calcola lo spettro di risposta di output relativo alla modifica dello spettro di input sulla base delle caratteristiche geologico-tecniche del sito. I 7 accelerogrammi di output amplificati sulla base della risposta sismica locale vengono riportati in Fig. 7.

Relazione di Risposta Sismica Locale

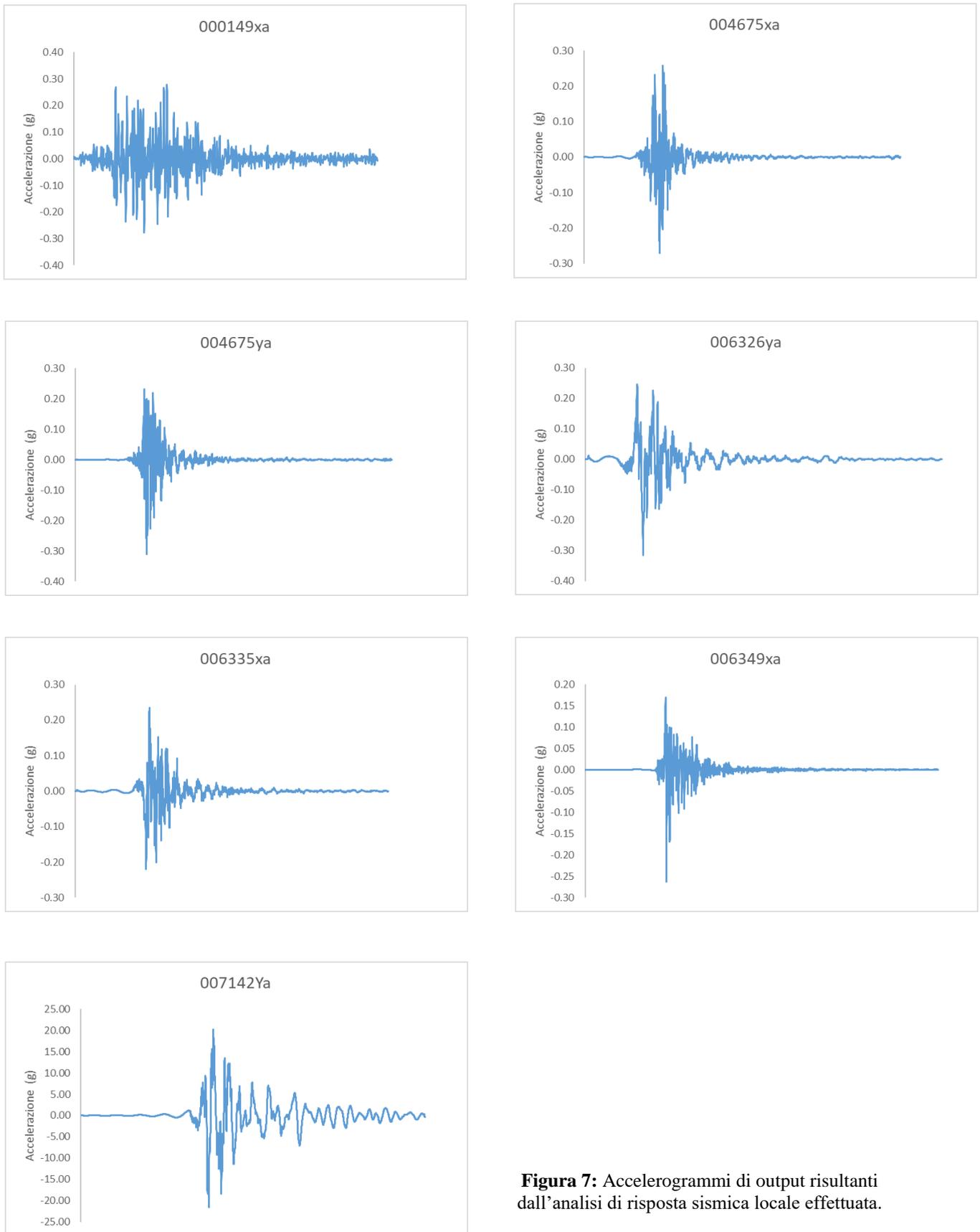


Figura 7: Accelerogrammi di output risultanti dall'analisi di risposta sismica locale effettuata.

Dal rapporto tra spettro di output e spettro di input, viene definita la funzione di trasferimento peculiare del sito attraverso la quale si legge l'effetto del filtraggio ad opera dei terreni costituenti il sottosuolo nei confronti del segnale di input. La funzione di trasferimento risultante dall'analisi effettuata è di seguito riportata (Fig. 8).

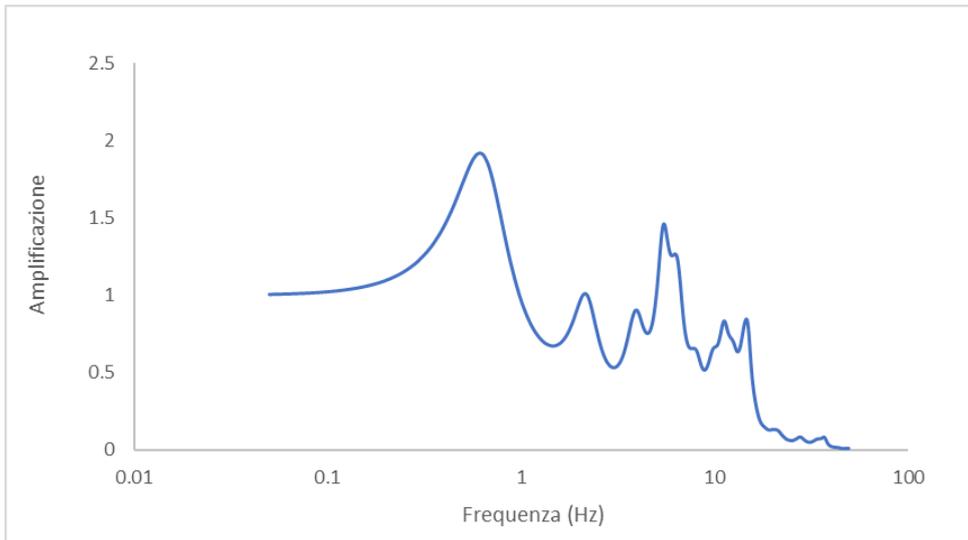


Figura 8: Funzione di trasferimento, indice dell'amplificazione sismica in funzione della frequenza.

Come è possibile osservare risulta evidente l'amplificazione dell'accelerazione in superficie rispetto al bedrock di circa 2 volte alla frequenza di 0.6 Hz

Tale risultato avvala la buona riuscita della modellazione numerica effettuata nel presente lavoro.

La funzione di trasferimento è costituita dal rapporto tra gli spettri di Fourier in accelerazione relativi alla superficie e al bedrock. L'analisi comparativa tra gli spettri viene riportata in Fig. 9.

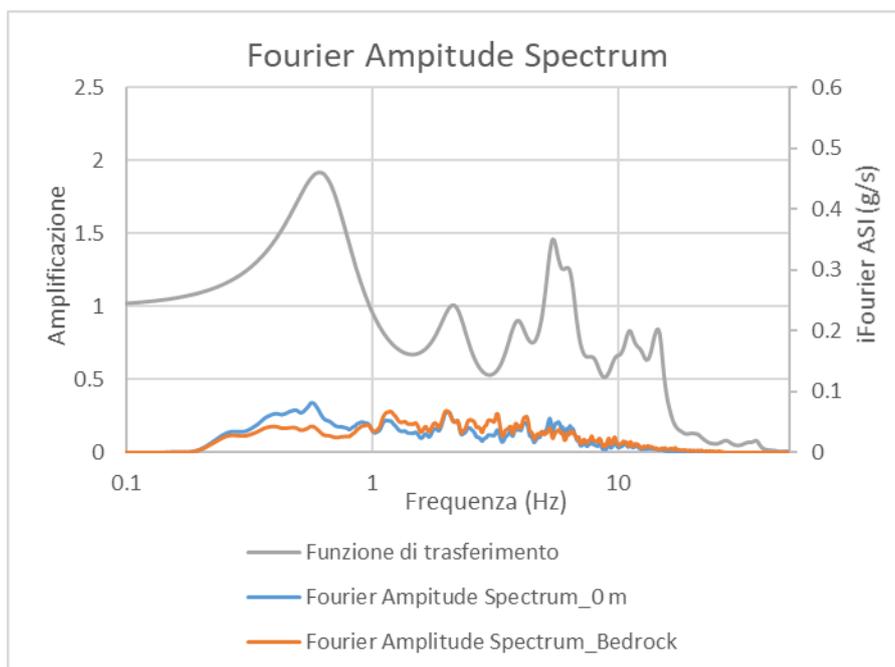


Figura 9: Analisi comparativi tra gli spettri di Fourier al bedrock e in superficie. Viene riportata inoltre la funzione di trasferimento.

Si arriva quindi alla definizione dello spettro di risposta elastico SLE: in Fig.10 viene mostrato lo spettro di risposta elastico medio confrontato con i singoli spettri e con lo spettro normalizzato; in Fig. 11 lo spettro di risposta medio e lo spettro normalizzato sono messi a confronto con gli spettri di normativa.

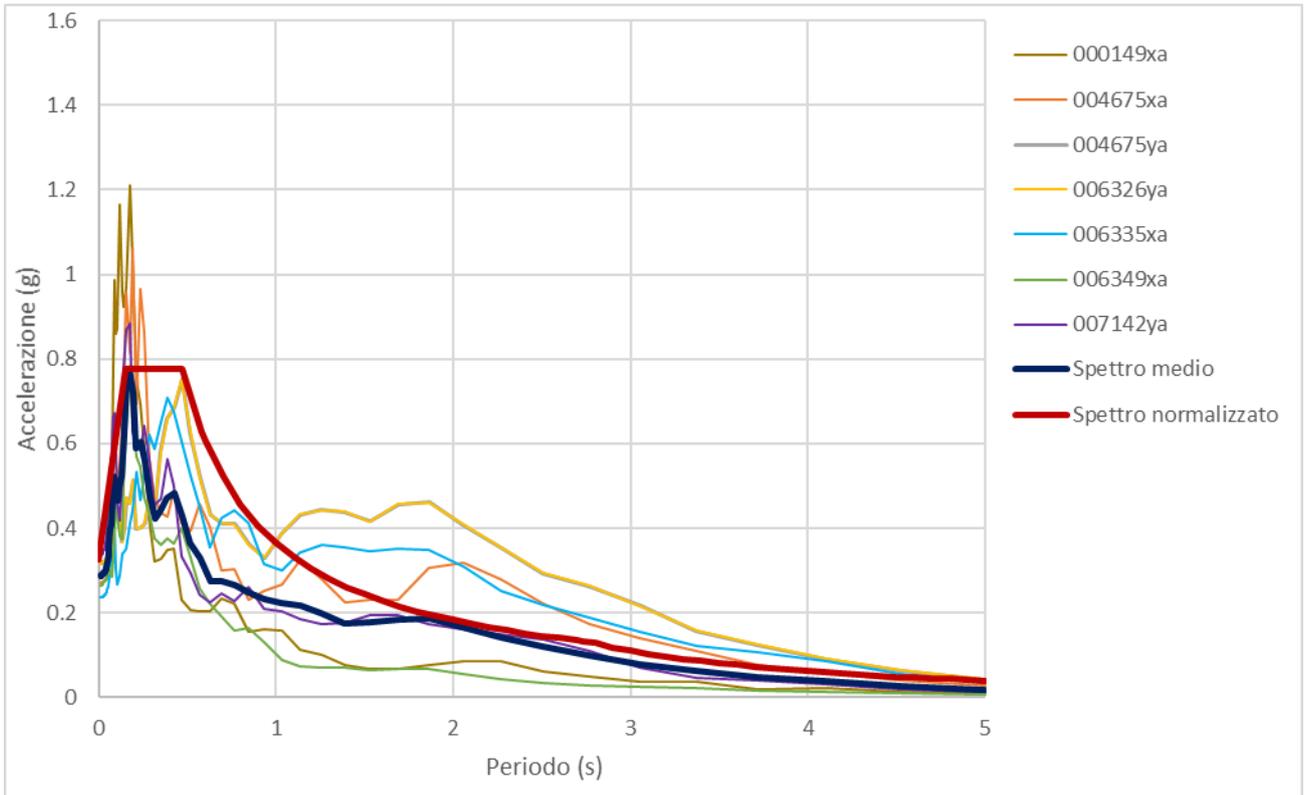


Figura 10: Confronto tra gli spettri, in blu lo spettro medio, in rosso lo spettro normalizzato.

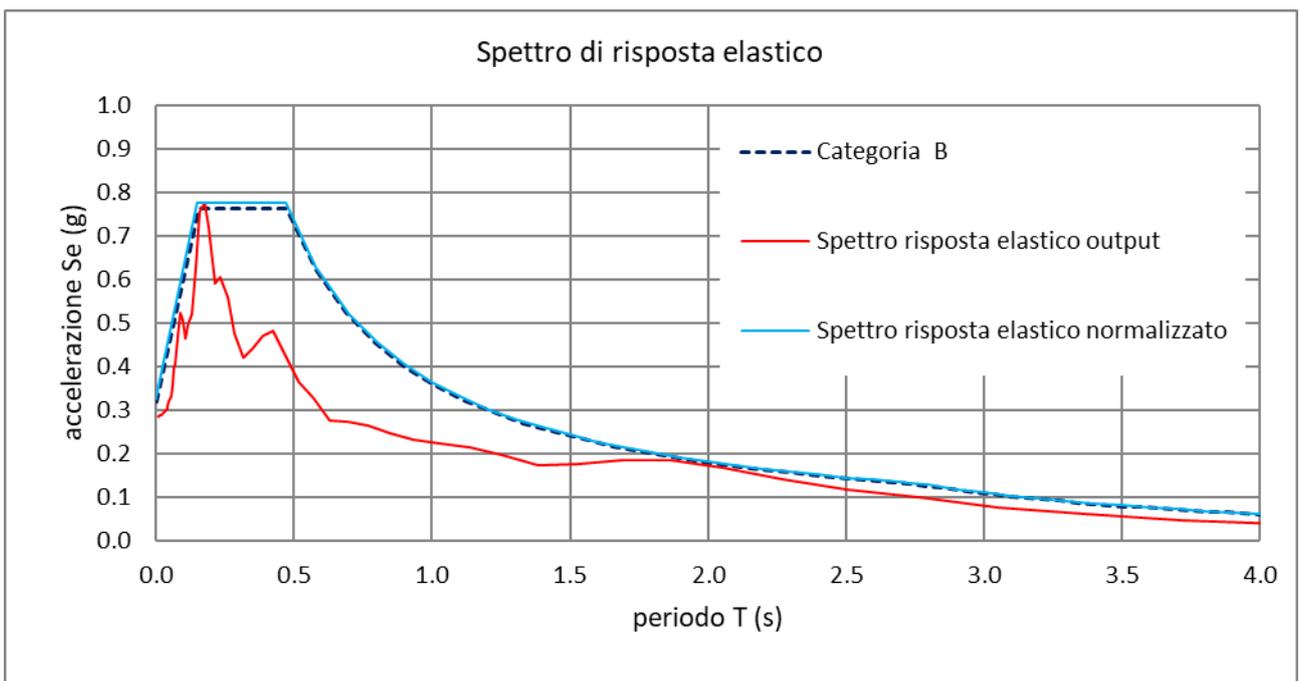


Figura 11: Confronto tra lo spettro medio e lo spettro di risposta normalizzato, con lo spettro di normativa.

Come è possibile osservare dal grafico, rispetto allo spettro di normativa riferito ad un suolo di categoria B, quello di output di risposta sismica locale risulta essere di poco superiore in corrispondenza dei bassi periodi e precisamente tra 0.1-0.5 secondi; a periodi maggiori lo spettro di output risulta molto simile a quello di normativa.

Di seguito vengono riportati i risultati in forma tabellare (Fig. 12).

SPETTRO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE					
T(s)	Se (g)	T(s)	Se (g)	T(s)	Se (g)
0.01	0.286693	0.117766	0.497216	1.386883	0.174347
0.011037	0.286906	0.129975	0.5214	1.530666	0.176335
0.012181	0.28717	0.14345	0.625873	1.689356	0.18421
0.013444	0.287493	0.158322	0.755467	1.864499	0.1865
0.014838	0.287889	0.174736	0.776293	2.057799	0.167014
0.016376	0.288375	0.192852	0.719494	2.271139	0.142013
0.018074	0.28893	0.212846	0.589824	2.506597	0.119472
0.019947	0.289603	0.234912	0.605231	2.766465	0.099686
0.022015	0.290493	0.259266	0.558599	3.053276	0.078074
0.024298	0.291616	0.286146	0.475595	3.369821	0.062932
0.026817	0.293006	0.315811	0.421278	3.719184	0.048143
0.029597	0.294785	0.348553	0.441348	4.104766	0.03807
0.032666	0.296999	0.384689	0.470656	4.530323	0.025928
0.036052	0.300093	0.424571	0.48354	5	0.017578
0.03979	0.303053	0.468588	0.430134		
0.043915	0.308932	0.517168	0.364056		
0.048468	0.319454	0.570785	0.330346		
0.053493	0.33361	0.629961	0.275769		
0.059038	0.356791	0.695271	0.273154		
0.065159	0.397537	0.767353	0.264622		
0.071914	0.406548	0.846907	0.245832		
0.07937	0.468008	0.934709	0.231225		
0.087599	0.522701	1.031614	0.222666		
0.09668	0.505516	1.138566	0.215705		
0.106704	0.464288	1.256605	0.198739		

SPETTRO NORMALIZZATO			
T(s)	Se (g)	T(s)	Se (g)
0	0.32545	2.7	0.135116
0.15	0.776198	2.732	0.133533
0.47	0.776198	2.8	0.13029
0.58	0.628988	2.9	0.11851
0.6	0.608022	3	0.110741
0.7	0.521162	3.1	0.103712
0.8	0.456016	3.2	0.097331
0.9	0.405348	3.3	0.091522
1	0.364813	3.4	0.086217
1.1	0.331648	3.5	0.081361
1.2	0.304011	3.6	0.076904
1.3	0.280626	3.7	0.072803
1.4	0.260581	3.8	0.069021
1.5	0.243209	3.9	0.065527
1.6	0.228008	4	0.062292
1.7	0.214596	4.1	0.05929
1.8	0.202674	4.2	0.056501
1.9	0.192007	4.3	0.053903
2	0.182407	4.4	0.051481
2.1	0.173721	4.5	0.049218
2.2	0.165824	4.6	0.047102
2.3	0.158614	4.7	0.045119
2.4	0.152005	4.8	0.043258
2.5	0.145925	4.9	0.041511
2.6	0.140313	5	0.039867

PARAMETRI DELLO SPETTRO NORMALIZZATO				
TB (s)	TC (s)	TD (s)	Se ₀ (g)	Se _{TB} (s)
0.15	0.47	2.732	0.32545	0.776198

Figura 12: Risultati in forma tabellare degli spettri elastici e parametri dello spettro normalizzato.

Avezzano 07/12/2018

Il Geologo

Dott.ssa Geol. Camilla Di Bastiano



Via Mons. Bagnoli, 23

67051- Avezzano (AQ)

Iscr. AP sez. A Geologi dell'Abruzzo n. 575