



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

MISSIONE 4: ISTRUZIONE E RICERCA



PROVINCIA DI
MATERA

PROGETTO UNIFICATO DEFINITIVO - ESECUTIVO

Lavori di ampliamento per la costruzione di aule speciali ed auditorium e manutenzione straordinaria finalizzati a garantire l'agibilità e il diritto allo studio del liceo umanistico/musicale/coreutico "Pitagora" di Montalbano Jonico (MT).

C.U.P.: H31B21002120001

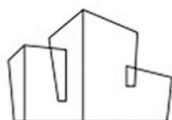
IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Francesco Tagliente

STUDIO GEOLOGICO

ELABORATO 1.D.6: MICROZONAZIONE SISMICA DI III LIVELLO

REDATTO DA:



COVING S.R.L.
SERVIZI DI INGEGNERIA E COSTRUZIONI

COVING S.R.L. – Servizi di Ingegneria
Via Nazario Sauro n.102 – POTENZA (PZ)
P.IVA 02113980763

Legale Rappresentante
Dott. Ing. Giovanni Corallo

IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Paolo Montanari

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Antonio De Carlo

I COLLABORATORI

Dott.ssa Geol. Annagrazia Mancini
Dott. Geol. Bartolo Romaniello



Studio di Geologia e GeoIngegneria
Dott. Geol. Antonio De Carlo

INDICE ANALITICO

1. PREMESSA	2
2. SISMICITA' STORICA DELL'AREA.....	3
3. CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA	6
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE DELL'AREA	8
5. INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO DELL'AREA	8
4.1 Materiale di riporto (Attuale).....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.2 Substrato: Piroclastiti con blocchi del M. Vulture (Pleistocene-Olocene).....	Errore. Il segnalibro non è definito.
6. RISPOSTA SISMICA LOCALE	11
5.1 Definizione della pericolosità di base.....	11
5.1.1 Accelerogrammi per lo stato limite ultimo SLC.....	18
5.1.2 Accelerogrammi per lo stato limite ultimo SLV	21
5.1.3 Accelerogrammi per lo stato limite di esercizio SLD	24
5.1.4 Accelerogrammi per lo stato limite di esercizio SLO	27
5.2 Modello litostratigrafico e sismostratigrafico dell'area	30
5.3 Analisi numerica monodimensionale	32
5.3.1 Analisi per lo stato limite ultimo di salvaguardia della vita SLV	33
5.3.1.1 Calcolo dei coefficienti Kh e Kv per lo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV).....	39
5.3.2 Analisi per lo stato limite di esercizio di collasso SLC	40
5.3.3 Analisi per lo stato limite di esercizio di danno SLD.....	45
5.3.4 Analisi per lo stato limite di esercizio di operatività SLO.....	50
7. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI III LIVELLO E CONCLUSIONI	55

1. PREMESSA

Per incarico ricevuto dalla provincia di Matera, lo scrivente ha provveduto a condurre lo studio sulla pericolosità sismica locale mediante un approccio di tipo quantitativo della Risposta Sismica Locale relativamente all'areale interessato dai **"Lavori di ampliamento per la costruzione di aule speciali ed auditorium e manutenzione straordinaria finalizzati a garantire l'agibilità e il diritto allo studio del liceo umanistico/musicale/coreutico "Pitagora" di Montalbano Jonico (MT)"**.

Tale studio ha, dunque, lo scopo di fornire quantificazioni numeriche di tipo 1D (non sono state riscontrate particolari condizioni stratigrafiche o geomorfologiche sepolte da trattare con analisi numeriche 2D) delle amplificazioni locali ottenute mediante l'utilizzo di specifici codici di calcolo; in particolare sarà definito lo spettro di scuotimento e di risposta a partire dalle caratteristiche della sorgente e del sottosuolo e saranno effettuate stime probabilistiche della pericolosità sismica, trattati gli spettri di risposta a pericolosità costante e definito il moto di riferimento.

Il presente studio è redatto secondo le direttive della vigente normativa nazionale emanate nel **D. M. del 17-01-2018 "Norme tecniche per le costruzioni"** e **Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 del C. S. LL. PP.** – Istruzioni per l'applicazione dell' *"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"*; e regionale emanate nella **Delibera Consiglio Regionale n. 575 del 4 agosto 2009** -Istruzioni tecniche per l'applicazione del *"Regolamento per l'esecuzione dei controlli – Regolamento di attuazione della L.R. n. 38 del 06 agosto 1997 – Norme per esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico"* e **L.R. n. 9 del 07 giugno 2011 "Disposizioni urgenti in materia di microzonazione sismica"**.

2. SISMICITA' STORICA DELL'AREA

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, un'approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali. La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale dal passato all'attuale. In particolare, sono stati consultati i seguenti database:

✓Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Tale catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 o con magnitudo (M_w) ≥ 4.0 d'interesse relativi al territorio italiano

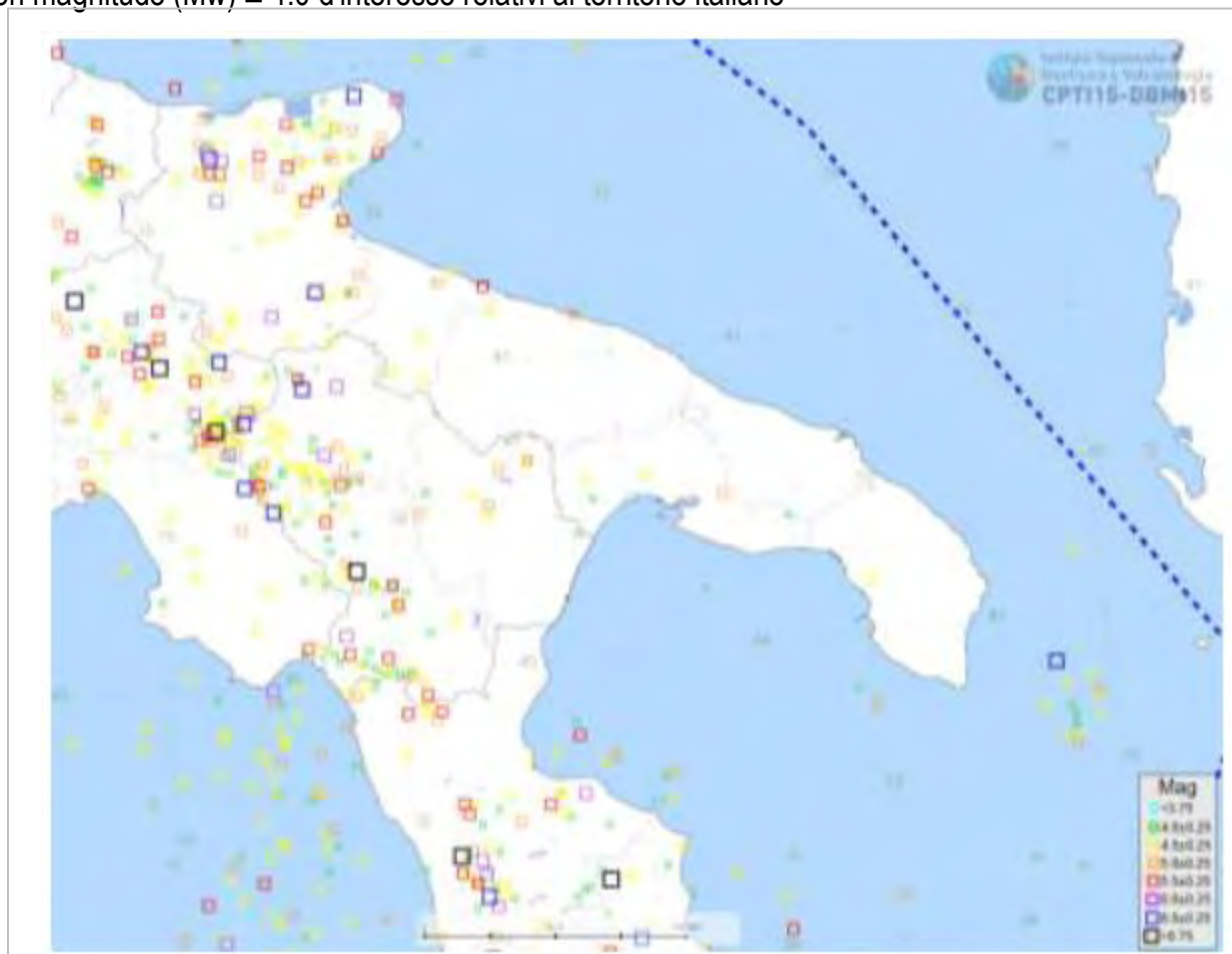


Fig. 01: Mappa con localizzazione degli eventi sismici storici avvenuti in Basilicata (Fonte DBMI15)

✓ DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 avvenuti nel

territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia). La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali. Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato. In Figura 1 è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi alla regione Basilicata, mentre in figura 2 è riportata una lista di tutti gli eventi sismici catalogati. In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta una sismicità storica medio-bassa. In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 (Fig. 1) e dal database DBMI15 (Fig. 2), dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità medio-basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

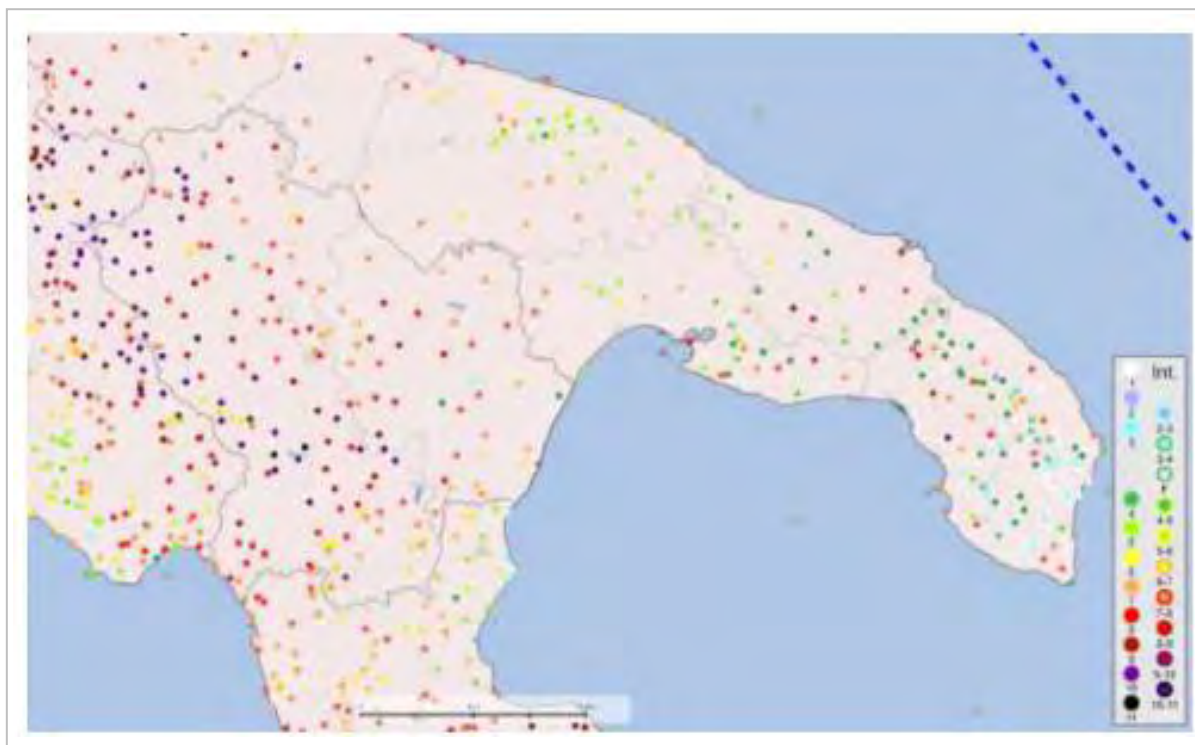


Fig. 02: Mappa delle intensità degli eventi sismici storici avvenuti in Basilicata (Fonte DBMI15)

La tabella e il grafico che seguono, riassumono la sismicità storica che ha interessato direttamente il Comune di Montalbano Jonico. I dati sono stati reperiti al seguente indirizzo: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>.

Montalbano Jonico

PlaceID IT_63436
Coordinate (lat, lon) 40.290, 16.567
Comune (ISTAT 2015) Montalbano Jonico
Provincia Matera
Regione Basilicata
Numero di eventi riportati 14

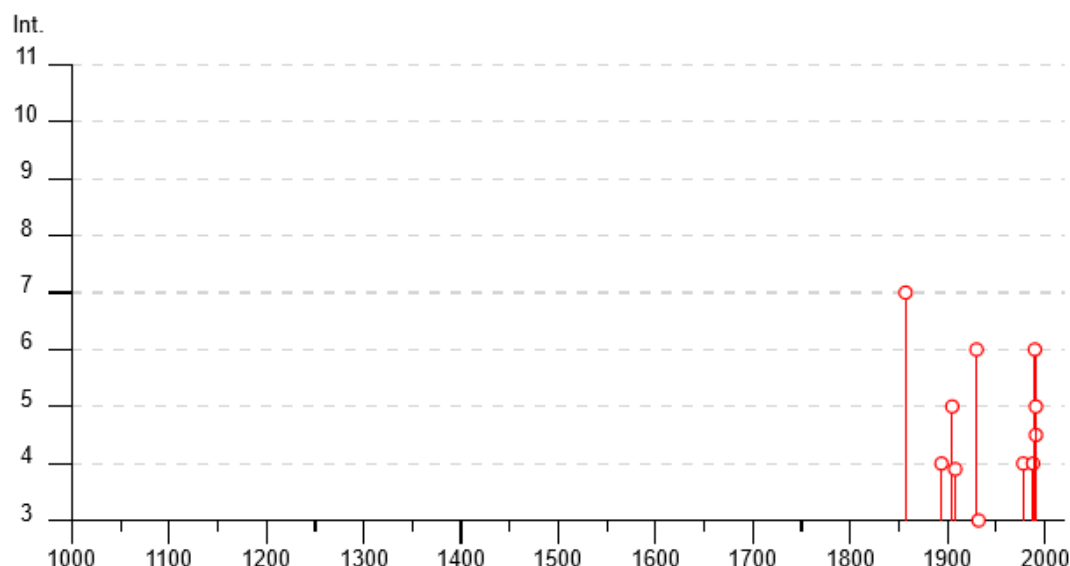


Fig. 03: Diagramma della storia sismica di Montalbano Jonico (Fonte DBMI15)

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7		1857	12	16	21	15	Basilicata	340	11	7.12
4		1894	05	28	20	15	Pollino	122	7	5.01
5		1905	09	08	01	43	Calabria centrale	895	10-11	6.95
F		1908	03	26	13	49	Materano	21	5	4.31
6		1930	07	23	00	08	Irpinia	547	10	6.67
3		1932	03	30	09	56 2	Bassa Murgia	28	5	4.54
NF		1963	02	13	12	45	Potentino	31	7	5.19
4		1978	09	24	08	07 4	Materano	121	6	4.75
4		1988	04	13	21	28 2	Golfo di Taranto	272	6-7	4.86
6		1990	05	05	07	21 2	Potentino	1375		5.77
4-5		1991	04	18	19	24 0	Piana di Metaponto	26		4.13
5		1991	05	26	12	25 5	Potentino	597	7	5.08
NF		1994	01	05	13	24 1	Tirreno meridionale	148		5.82
NF		1994	01	07	18	30 1	Golfo di Taranto	26		4.03

Fig. 04: Valori tabellari della storia sismica di Montalbano Jonico (Fonte DBMI15)

3. CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA

La caratterizzazione sismoγενetica dell'area in studio è stata elaborata considerando la recente Zonazione Sismoγενetica, denominata ZS9, prodotta dall' INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004). Questa zonazione è considerata, nella recente letteratura scientifica, il lavoro più completo e aggiornato a livello nazionale. Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9 si può evidenziare che l'area di progetto non è caratterizzata da nessuna area sorgente di particolare rilievo.

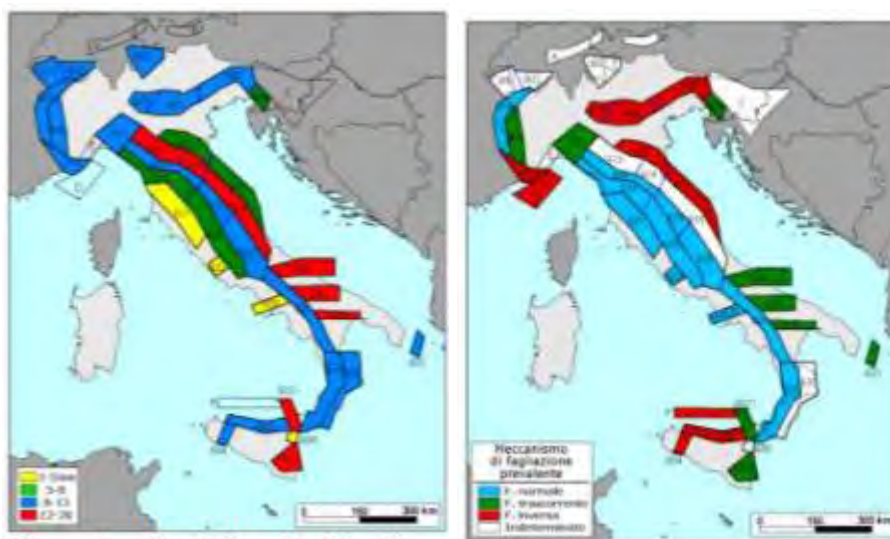


Fig. 05: Classi di profondità efficace e meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismoγενetiche)

3.1 FAGLIE ATTIVE E CAPACI

In generale per faglia attiva e capace, si intende una Faglia Attiva e Capace di rompere la superficie topografica (FAC).

In accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

Le FAC possono essere classificate in due categorie in funzione delle incertezze nella loro identificazione:

CATEGORIA (FAC_x)	DEFINIZIONE DELLA FAC_x	NOTE ESPLICATIVE
FAC_a	Certa e definita	Il piano di rottura principale e fenomeni cosismici ad essa collegati sono riconosciuti con certezza. In questa categoria sono comprese anche le strutture tettoniche secondarie e le zone di trasferimento tra segmenti distinti di una faglia attiva e capace.
FAC_b	Incerta	Gli elementi che compongono una faglia attiva e capace e i fenomeni cosismici collegati non sono cartografabili con certezza e/o dettaglio, per assenza di dati o perché non possono essere identificati (zone di trasferimento, gap, erosione, coperture, ecc.).

Fig. 06: Definizioni di Faglie Attive e capaci (Fonte ICMS,2008)

È da sottolineare che una stessa faglia attiva e capace può avere dei tratti differenziati e classificati come FAC_a e FAC_b.

Le Faglie Potenzialmente Attive e Capaci (FPAC), sono identificate con l'ausilio di dati di letteratura o durante i rilievi di terreno per la redazione della carta geologico tecnica, non è prevista alcuna zonazione nella carta MS1.

Nel livello 3 tali faglie verranno investigate con indagini appropriate al fine di identificarne l'eventuale attività negli ultimi 40.000 anni, oltre che definirne con certezza la geometria. Dal database delle sorgenti sismiche, l'istituto di geofisica e vulcanologia ha redatto una mappa con le ubicazioni delle diverse sorgenti sismiche distribuite per tipologia per un ampio raggio intorno all'area oggetto di studio.

Nell'intera area vasta non sono presenti Faglie definite attive e capaci.



Fig. 06: Faglie del progetto ITHACA - Faglie attive e capaci

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE DELL'AREA

L'area in esame ricade nel settore esterno dell'Appennino Meridionale, al bordo occidentale della Fossa Bradanica, generata mediante la propagazione di thrusts a progradazione normale, con geometrie di tipo flat-ramp e di thrusts fuori sequenza.

Lo stile tettonico della catena è riferibile ad un sistema duplex, in cui un complesso di thrust sheets carbonatici, derivanti dalla deformazione dell'avampaese apulo, è sepolto al di sotto di una serie di coltri di ricoprimento, derivanti dalla deformazione dei domini di piattaforma e di bacino in posizione interna (occidentale) rispetto alla piattaforma apula.

Il segmento di catena in esame è dissecato da sistemi di faglie (dirette e inverse) prevalentemente ad andamento NW-SE, NE-SW e W-E.

I principali sistemi di faglie dirette ad andamento NW-SE che dissecano i settori occidentali della catena si sono attivati, prevalentemente, come risposta all'apertura del Bacino tirrenico, mentre quelli che dissecano il margine esterno della catena si sono attivati probabilmente per effetto del rebound della litosfera della placca adriatica a seguito del distacco dello slab in subduzione con conseguente sollevamento dei settori esterni della catena. In corrispondenza di questi sistemi di faglia si concentrano gli epicentri dei terremoti che in epoca storica e recente hanno colpito l'Italia meridionale.

Per quel che riguarda i sistemi di faglie ad andamento W-E si ipotizza che si siano attivati in un regime tettonico distensivo connesso all'apertura dell'oceano tetideo e che oggi siano attivi come risposta alla convergenza tra le placche adriatico-africana ed europea.

5. INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO DELL'AREA

L'area del territorio comunale di Montalbano Jonico si sviluppa su un'ampia collina, posta ad una quota media di 250 metri circa s.l.m., prevalentemente costituita da sedimenti argillosi pleistocenici noti in letteratura con il nome di Argille Subappennine. Tale unità disposta secondo una monoclinale inclinata di circa 5-10° verso SE è troncata in sommità da più superfici terrazzate costituite da sedimenti conglomeratici-sabbiosi. Il territorio in esame ricade nella porzione meridionale di una ampia depressione tettonico-morfologica nota in letteratura col nome di Fossa Bradanica; verso E è delimitata dall'Avampaese Apulo, mentre verso W la stessa è delimitata dalla Catena Appenninica.

La definizione litologica e stratigrafica dei terreni affioranti nell'area di studio ha necessitato, quindi, di un rilevamento geologico di campagna più ampio rispetto ai settori di versante interessati dall'opera in progetto. Ciò in quanto tali terreni risultano poco esposti per la sistematica presenza di opere di

urbanizzazione e di una coltre di alterazione. Dal rilevamento geomorfologico dell'area d'interesse, dalla verifica diretta in sito, è stato possibile individuare, dall'alto verso il basso, i seguenti litotipi:

a) **MATERIALE ELUVIO-COLLUVIALE** (*Pleistocene*)

Sono composti da sabbie medio-fini di colore giallastro, da ciottoli poligenici ed eterometrici arrotondati immersi in una matrice essenzialmente sabbiosa e da sabbie e limi sabbiosi di colore variabile dal grigio giallastro al rossastro. Si tratta di terreni rimaneggiati, poco consistenti, caotici e, quindi, con caratteri di eterogeneità ed anisotropia, sia da un punto di vista litologico che fisico-meccanico. Inoltre, l'elevato tenore sabbioso e lo scarso preconsolidamento, fanno ascrivere a tali materiali caratteri di pessimi terreni di fondazione e, di conseguenza, assolutamente se ne sconsiglia l'utilizzo per qualsiasi tipo di edificazione se non con l'impiego di idonee strutture fondali. Nell'area di sedime tali materiali assumono uno spessore di circa 3.00/4.00 m.

b) **ARGILLE SUBAPPENNINE** (*Pleistocene inferiore-medio*)

Sono caratterizzati da una grande omogeneità laterale e verticale e sono costituiti da alternanze di strati e livelli di limo argilloso, di argille limose grigio-chiare e di sabbie-argillose sottilmente stratificate e generalmente laminate, cui si intercalano straterelli siltosi o argilloso-siltosi caratterizzati di norma da una laminazione parallela. Da un punto di visto litotecnico si può fare una suddivisione in **Litofacies Sabbioso-Limosa** e **Litofacies Argilloso-Limosa**. La prima è costituita da sabbie di colore giallo-ocra, a stratificazione incrociata e piano parallela e con intercalazioni verso l'alto di lenti di ghiaia. In rapporti di eteropia, sono sabbie medie e fini, massive e a laminazione piano-parallela e con piccole lenti conglomeratiche. Si presentano da addensate fino a litificate e non plastiche. La **Litofacies Argilloso-Limosa** è costituita da alternanze di strati e livelli di limo argilloso, di argille limose grigio-chiare e di sabbie-argillose sottilmente stratificate e generalmente laminate, cui si intercalano straterelli siltosi o argilloso-siltosi caratterizzati di norma da una laminazione parallela. Si presentano da consistenti a molto consistenti e poco plastiche.

Di seguito si riporta stralcio del Foglio n°212 "Montalbano Jonico" della Carta Geologica d'Italia:

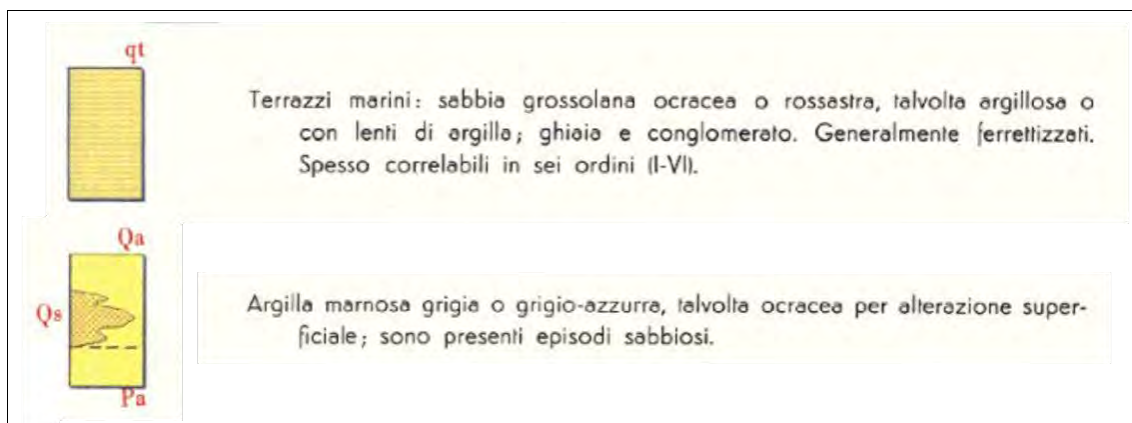
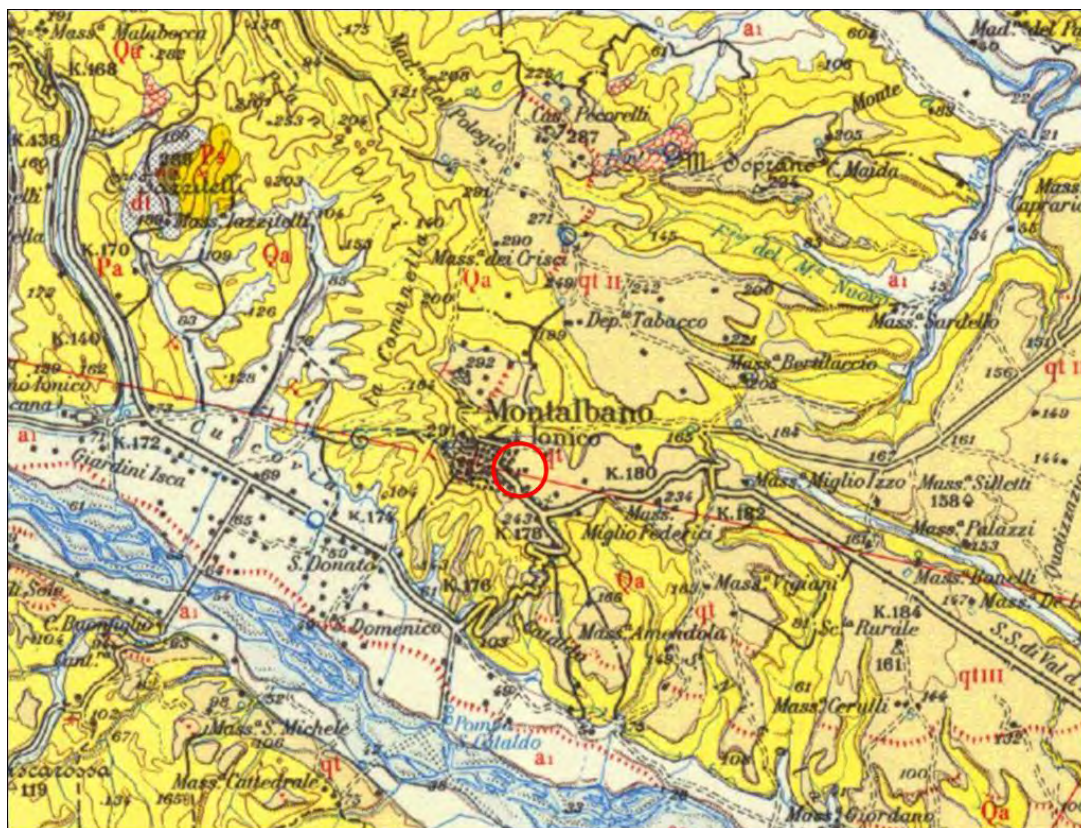


Fig.07: Stralcio del Foglio n°212 "Montalbano Jonico" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 con l'individuazione dell'area in esame (cerchio rosso)

6. RISPOSTA SISMICA LOCALE

5.1 Definizione della pericolosità di base

La valutazione della risposta sismica locale mediante analisi numerica permette di definire una realistica risposta sismico-stratigrafica dei terreni. Questo approccio è ritenuto la via ufficiale delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018) che al Cap. 3.2.2 riportano: *“La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A** quale definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.”*

In determinati contesti sismostratigrafici e mediante il confronto con la relativa categoria di sottosuolo (Cap.3.2.2 delle NTC 2018), esso consente di individuare elementi di risparmio rispetto all'approccio semplificato di normativa (categorie di sottosuolo), poiché identifica l'amplificazione di sito per intervalli di periodi solitamente più limitati rispetto a quelli indicati dalla normativa.

Ai fini delle presenti norme, l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti. Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie (serve per analisi semplificate eseguite utilizzando abachi semplificati);
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie (è il risultato standard delle analisi di risposta sismica locale);
- accelerogramma (è un possibile risultato delle analisi di risposta sismica locale).

Sulla base di apposite analisi di risposta sismica locale si può passare dai valori in superficie, ai valori sui piani di riferimento definiti al punto 3.2.2 delle NTC 2018; in assenza di tali analisi l'azione in superficie può essere assunta come agente su tali piani.

Ogni struttura soggetta a moto sismico è fortemente influenzata dal suo contenuto in frequenza, cioè dalla distribuzione delle ampiezze in termini di frequenza, pertanto l'informazione derivante dalla rappresentazione in termini di spettro di una sollecitazione sismica è molto importante. Inoltre,

utilizzando la rappresentazione in termini di serie di Fourier, è possibile trasformare agevolmente uno spettro di accelerazione in spettro in velocità e successivamente in spettro di spostamento, mediante processi di integrazione. Nello spettro di risposta, infatti, è presente l'indicazione del comportamento delle strutture (il fattore di smorzamento che per lo spettro di risposta elastico è convenzionalmente pari al 5% (ξ), mentre uno spettro di Fourier rappresenta il contenuto spettrale di una sollecitazione solitamente riferita al terreno.

Di seguito verrà illustrata nel dettaglio l'analisi di risposta sismica locale per il sito oggetto di progetto, elaborata per lo **stato limite ultimo SLV e SLC e di esercizio SLD e SLO**.

Verranno esaminati tutti i passaggi necessari sia per la preliminare acquisizione dei parametri di input (sismici e geologico-tecnici), sia per la successiva analisi di risposta sismica locale.

Il progetto prevede l'ampliamento del Liceo Pitagora di Montalbano J. Trattandosi di opere con affollamento significativo, la classe d'uso è III (secondo la definizione del cap.2.4.2 del D.M. 17.01.2018), da cui deriva il coefficiente d'uso $C_u = 1,5$; la vita nominale V_N (numero di anni nei quali le opere devono poter essere utilizzate per lo scopo al quale sono destinate) è ≥ 50 anni; il periodo di riferimento V_r in base al quale vengono valutate le azioni sismiche sulle opere è di 75 anni:

Coordinate del sito (WGS84)	40.28757°; 16.57070°
Vita nominale	≥ 50 anni
Classe d'uso	III
Coefficiente d'uso	1,50
Periodo di riferimento	≥ 75 anni

Tabella 1: Parametri di riferimento per la definizione dell'azione sismica

I dati di base per l'analisi numerica della RSL sono i seguenti:

- a) moto sismico di riferimento (accelerogramma) in corrispondenza della formazione rocciosa (bedrock sismico, alla base o affiorante) e parametri della pericolosità di base (PGA_{base} , Magnitudo, Distanza);
- b) modello geometrico del sottosuolo (stratigrafia, morfologia superficiale e sepolta, eventuali discontinuità);
- c) parametri geotecnici e geofisici dei terreni costituenti le varie unità omogenee (proprietà fisico-meccaniche da prove specifiche di laboratorio, profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo).

Per la definizione del "moto sismico di riferimento" relativo agli stati limite considerati (SLV, SLD, SLO) sono stati selezionati i parametri descrittivi dell'azione sismica di base (pericolosità di base) necessari per la definizione del terremoto di progetto (accelerogramma di input).

La pericolosità di base del Comune di Montalbano Jonico, espressa in termini di accelerazione di input (a_g) e dei parametri indipendenti dello spettro risposta elastico orizzontale associato a ciascun tempo di ritorno, è stata definita mediante l'utilizzo del foglio di calcolo Spettri - NTC vers. 1.0.3 rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0.041	2.433	0.307
SLD	75	0.050	2.470	0.346
SLV	712	0.097	2.771	0.468
SLC	1462	0.116	2.879	0.502

Tabella 2: Valori dei parametri indipendenti dello spettro per i periodi di ritorno associati

I dati di disaggregazione (o legge di attenuazione) del valore a_g espressa in termini di variabilità della coppia Magnitudo-Distanza è stata ottenuta mediante la procedura riportata nel sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004)

Informazioni sul nodo con ID: 35456 - Latitudine: 40.293 - Longitudine: 16.570

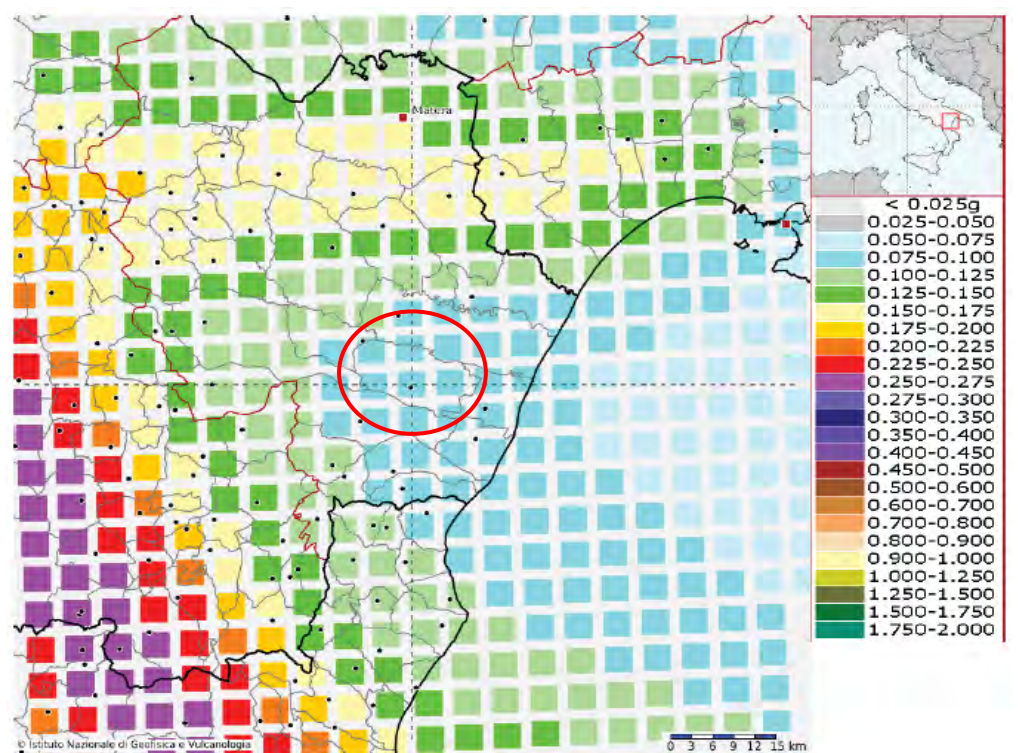


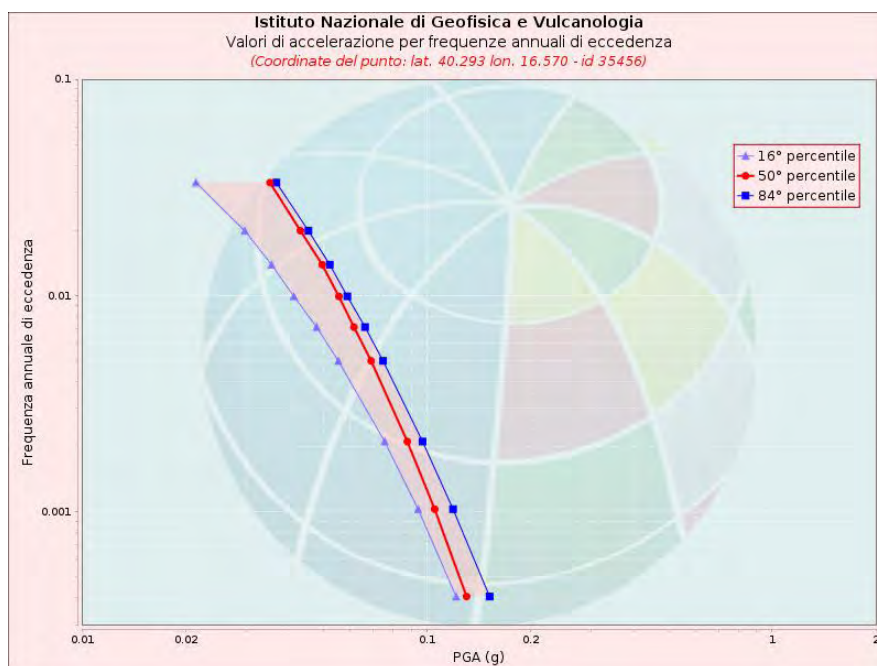
Fig. 08: Modello di pericolosità del territorio nazionale con individuazione del Comune di Montalbano J.

La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A, $V_{s30} > 800$ m/s) e pianeggiante.

Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'**ID 35456** (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.

Curva di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.



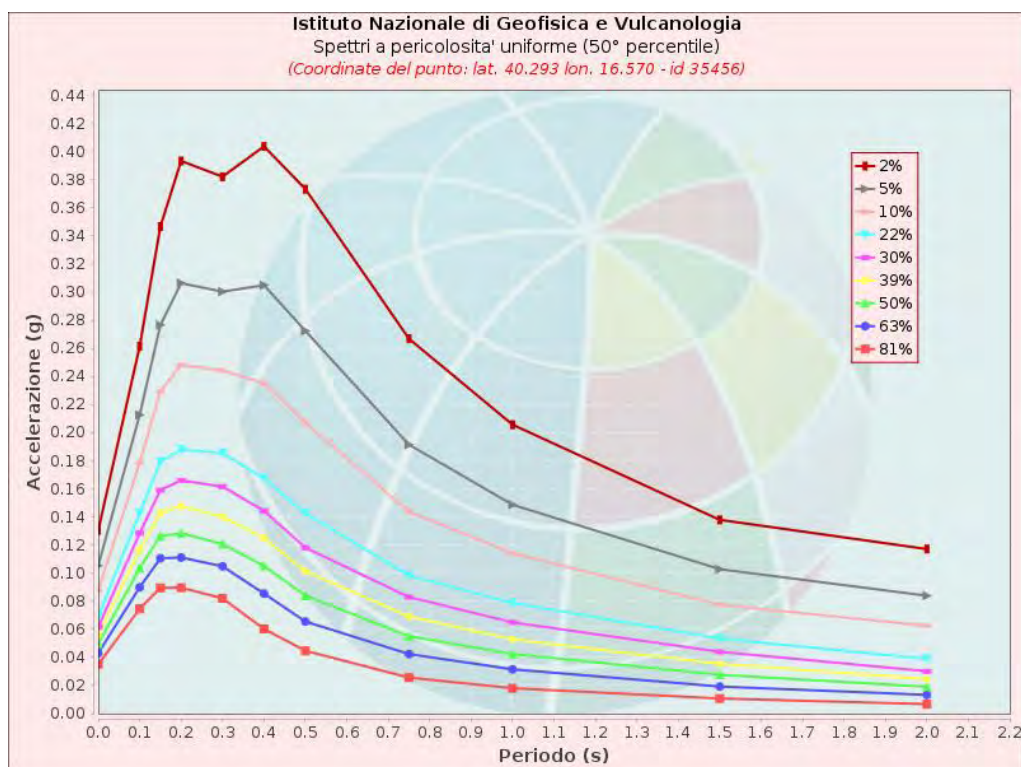
Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza			
Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.122	0.130	0.152
0.0010	0.094	0.105	0.119
0.0021	0.075	0.088	0.097
0.0050	0.055	0.069	0.075
0.0071	0.048	0.061	0.066
0.0099	0.041	0.056	0.059
0.0139	0.035	0.050	0.052
0.0199	0.030	0.043	0.045
0.0332	0.021	0.035	0.037

Fig. 9: Curve di pericolosità in termini di ag per diverse frequenze di eccedenza Comune di Montalbano J.

Spettri a pericolosità uniforme

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità.

I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.



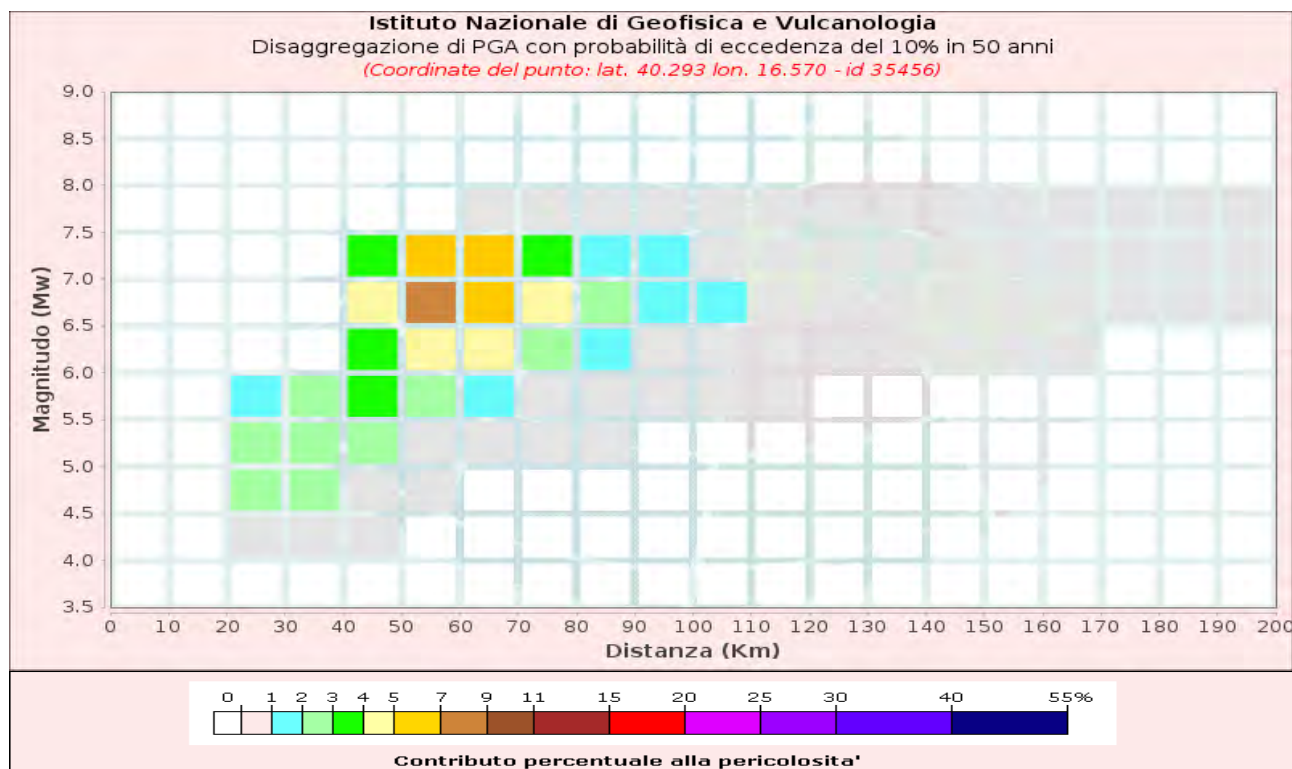
Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)											
PoE in 50 anni	Accelerazione (g)										
	Periodo (s)										
	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.130	0.261	0.347	0.393	0.382	0.404	0.373	0.267	0.206	0.138	0.117
5%	0.105	0.213	0.277	0.306	0.300	0.305	0.272	0.191	0.149	0.103	0.084
10%	0.088	0.178	0.229	0.248	0.244	0.235	0.207	0.144	0.114	0.078	0.062
22%	0.069	0.143	0.179	0.188	0.185	0.167	0.142	0.098	0.079	0.053	0.039
30%	0.061	0.128	0.159	0.166	0.162	0.144	0.118	0.083	0.065	0.044	0.030
39%	0.056	0.116	0.143	0.148	0.140	0.125	0.101	0.069	0.053	0.035	0.025
50%	0.050	0.103	0.126	0.128	0.121	0.105	0.084	0.055	0.042	0.028	0.019
63%	0.043	0.090	0.111	0.111	0.105	0.085	0.066	0.042	0.032	0.019	0.013
81%	0.035	0.075	0.090	0.090	0.082	0.060	0.045	0.026	0.018	0.011	0.007

Fig. 10: Spettri a pericolosità uniforme per diverse probabilità di eccedenza in 50 anni

Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni												
Distanza in Km	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	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
10-20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
20-30	0.0000	0.9110	2.8400	2.8800	1.6600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
30-40	0.0000	0.3400	2.0500	2.9200	2.0400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
40-50	0.0000	0.0003	0.5000	2.0100	3.0100	3.2700	4.1800	3.0400	0.0000	0.0000	0.0000	
50-60	0.0000	0.0000	0.0194	0.9500	2.8600	4.9400	7.1200	5.6600	0.0000	0.0000	0.0000	
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.2260	1.7900	4.0600	6.4000	5.6000	0.0248	0.0000	0.0000	
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0330	0.9340	2.7200	4.3100	3.9600	0.1980	0.0000	0.0000	
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.2950	1.3000	2.1800	1.8600	0.2200	0.0000	0.0000	
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0862	0.7690	1.5400	1.2400	0.1630	0.0000	0.0000	
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0158	0.4380	1.1100	0.8760	0.1180	0.0000	0.0000	
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014	0.2120	0.7250	0.6270	0.0874	0.0000	0.0000	
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0821	0.4160	0.4470	0.0651	0.0000	0.0000	
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0268	0.2380	0.3150	0.0486	0.0000	0.0000	
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0071	0.1370	0.2250	0.0366	0.0000	0.0000	
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0760	0.1600	0.0268	0.0000	0.0000	
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0375	0.1080	0.0176	0.0000	0.0000	
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0173	0.0780	0.0133	0.0000	0.0000	
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0073	0.0574	0.0109	0.0000	0.0000	
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0055	0.0395	0.0082	0.0000	0.0000	

Fig. 11: Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di Magnitudo-Distanza

I parametri descrittivi medi di input dell'azione sismica sono i seguenti

Magnitudo = 6.39 ; Distanza = 61.6 ; Epsilon = 1.58

Individuati tali parametri è necessario selezionare accelerogrammi *"spettro-compatibili e sismo-compatibili"* registrati, il cui uso è ammesso, come disposto dalla normativa (D.M. 17/01/2018), con le seguenti prescrizioni:

1. L'uso di accelerogrammi è ammesso a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito;
2. Gli accelerogrammi registrati devono essere selezionati e scalati in modo da approssimare spettri di risposta nel campo di periodi di interesse per il problema in esame;
3. Gli accelerogrammi possono essere scalati linearmente in ampiezza limitando il fattore di scala nel caso di segnali provenienti da eventi di piccola magnitudo;
4. Gli effetti sulla struttura sono rappresentati dai valori medi degli effetti più sfavorevoli ottenuti dalle analisi, se si utilizzano almeno 7 diversi gruppi di accelerogrammi, dai valori più sfavorevoli degli effetti, in caso contrario;
5. In nessun caso si possono adottare meno di tre gruppi di accelerogrammi.

Gli accelerogrammi presi in considerazione sono stati scelti mediante il software *REXEL v 3.3 beta* elaborato nel 2009 da Iervolino I. *et al.*, che permette di consultare banche dati relative a registrazioni accelerometriche in Italia ed in Europa e di selezionare automaticamente gruppi di accelerogrammi spettro compatibili da utilizzare per studi di RSL.

Inserendo le condizioni di sito di classe **"A"** (le condizioni *free-field* sono imposte dalla normativa, cfr. par. 7.11.3.2. del D.M. 17/01/2018), l'accelerazione al suolo, la magnitudo e la distanza della sorgente sismogenetica per la "disaggregazione" dei dati, si ottengono 7 coppie di accelerogrammi per le due componenti orizzontali ortogonali le quali approssimano al meglio lo spettro di normativa.

Il gruppo dei sette accelerogrammi e le principali caratteristiche, per ogni stato limite considerato, sono riportati nei paragrafi seguenti.

5.1.1 Accelerogrammi per lo stato limite ultimo SLC

Gli accelerogrammi utilizzati nell'analisi lineari per lo stato limite ultimo SLC, selezionati attraverso il software Rexel, si riferiscono ad eventi sismici le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella:

SLC										
Waveform ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	EC8 Site class
006326ya	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6,4	strike slip	14	1,7476	1,1423	0,0966	0,1765	A
006335xa	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6,4	strike slip	15	1,2481	1,1322	0,1659	0,1083	A
004675xa	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	13	1,2916	1,5325	0,1611	0,101	A
006335xa	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6,4	strike slip	15	1,2481	1,1322	0,1659	0,1083	A
000287ya	Campano Lucano	23/11/1980	6,9	normal	23	1,3633	1,7756	0,2056	0,3044	A
006274ya	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	78	0,277	0,3804	0,0186	0,0233	A
000055ya	Friuli	06/05/1976	6,5	thrust	23	3,4985	3,0968	0,2061	0,3262	A

Tabella 3: Caratteristiche degli eventi sismici selezionati mediante il software Rexel per lo stato SLC

Analizzando le componenti spettrali degli eventi selezionati, ed il relativo spettro medio risultante (Average spectrum), si nota una buona corrispondenza con lo spettro di normativa (Target spectrum):

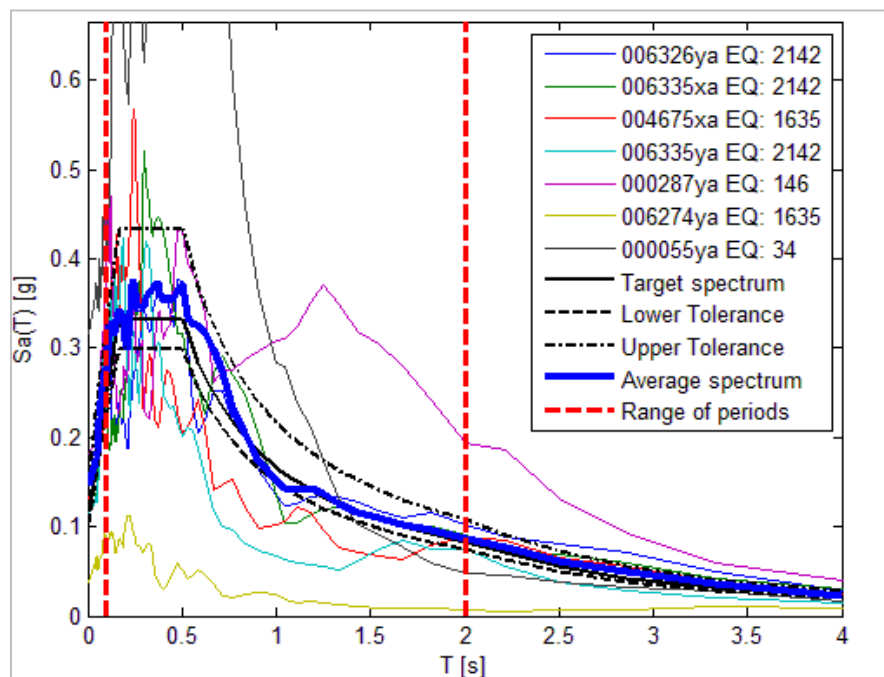
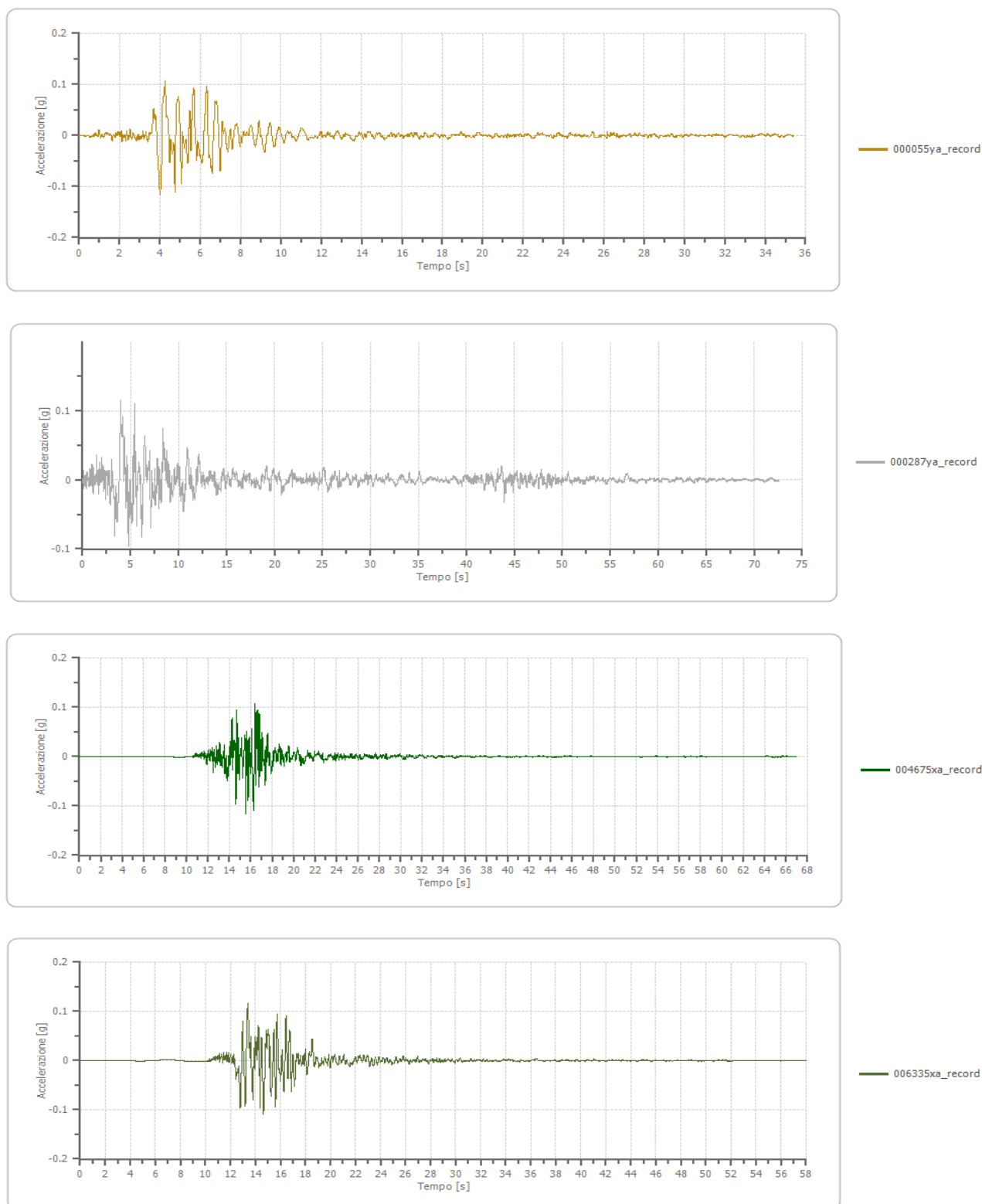
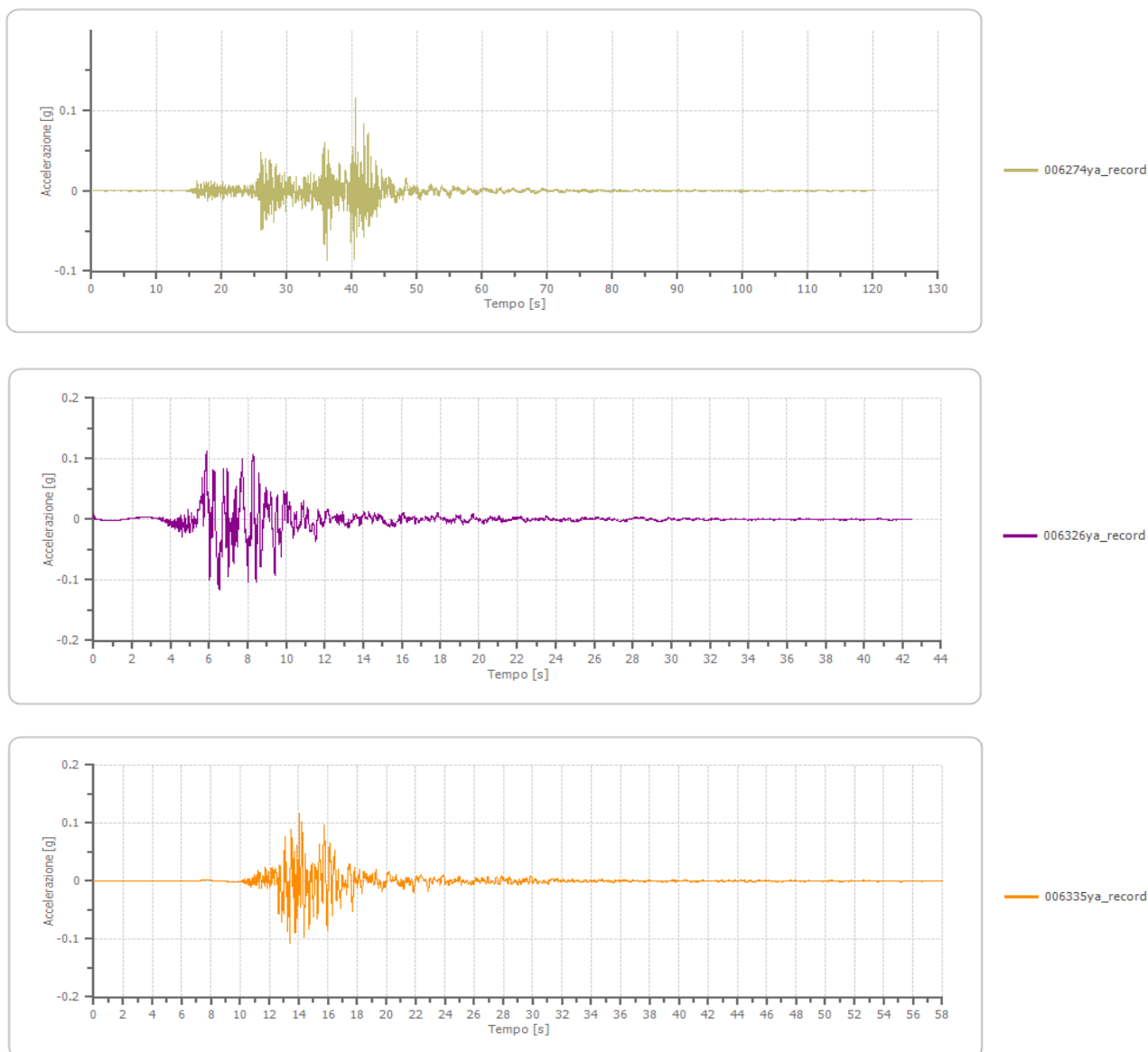


Fig. 12: Componenti spettrali degli eventi selezionati per lo stato SLV

Gli accelerogrammi di input, opportunamente scalati al valore di a_g di progetto (0,116 g), e utilizzati nelle analisi numeriche sono di seguito riportati:





5.1.2 Accelerogrammi per lo stato limite ultimo SLV

Gli accelerogrammi utilizzati nell'analisi lineari per lo stato limite ultimo SLV, selezionati attraverso il software Rexel, si riferiscono ad eventi sismici le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella:

SLV										
Waveform ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	EC8 Site class
006326ya	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6,4	strike slip	14	1,7476	1,1423	0,0966	0,1765	A
006761ya	Vrancea	30/08/1986	7,2	thrust	49	0,8233	1,4077	0,1509	0,1322	A
006335xa	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6,4	strike slip	15	1,2481	1,1322	0,1659	0,1083	A
006342xa	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6,4	strike slip	20	1,0426	0,8446	0,0941	0,1217	A
006335ya	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6,4	strike slip	15	1,2481	1,1322	0,1659	0,1083	A
000294ya	Campano Lucano	23/11/1980	6,9	normal	26	0,9032	0,7783	0,1605	0,146	A
005079xa	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5,4	strike slip	6	1,702	1,332	0,1091	0,0506	A

Tabella 4: Caratteristiche degli eventi sismici selezionati mediante il software Rexel per lo stato SLV

Analizzando le componenti spettrali degli eventi selezionati, ed il relativo spettro medio risultante (Average spectrum), si nota una buona corrispondenza con lo spettro di normativa (Target spectrum):

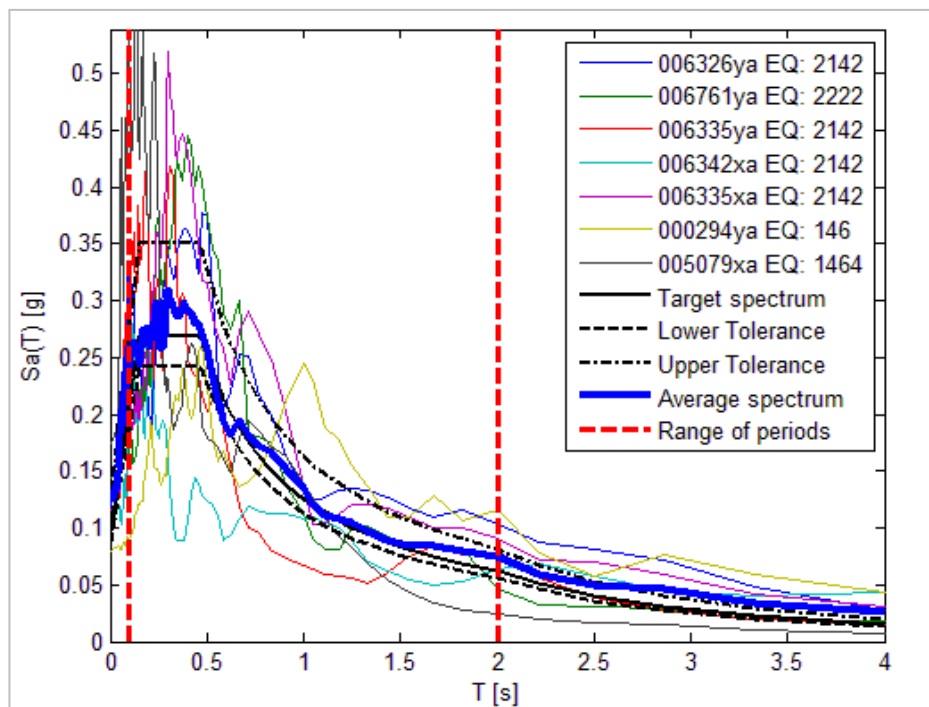
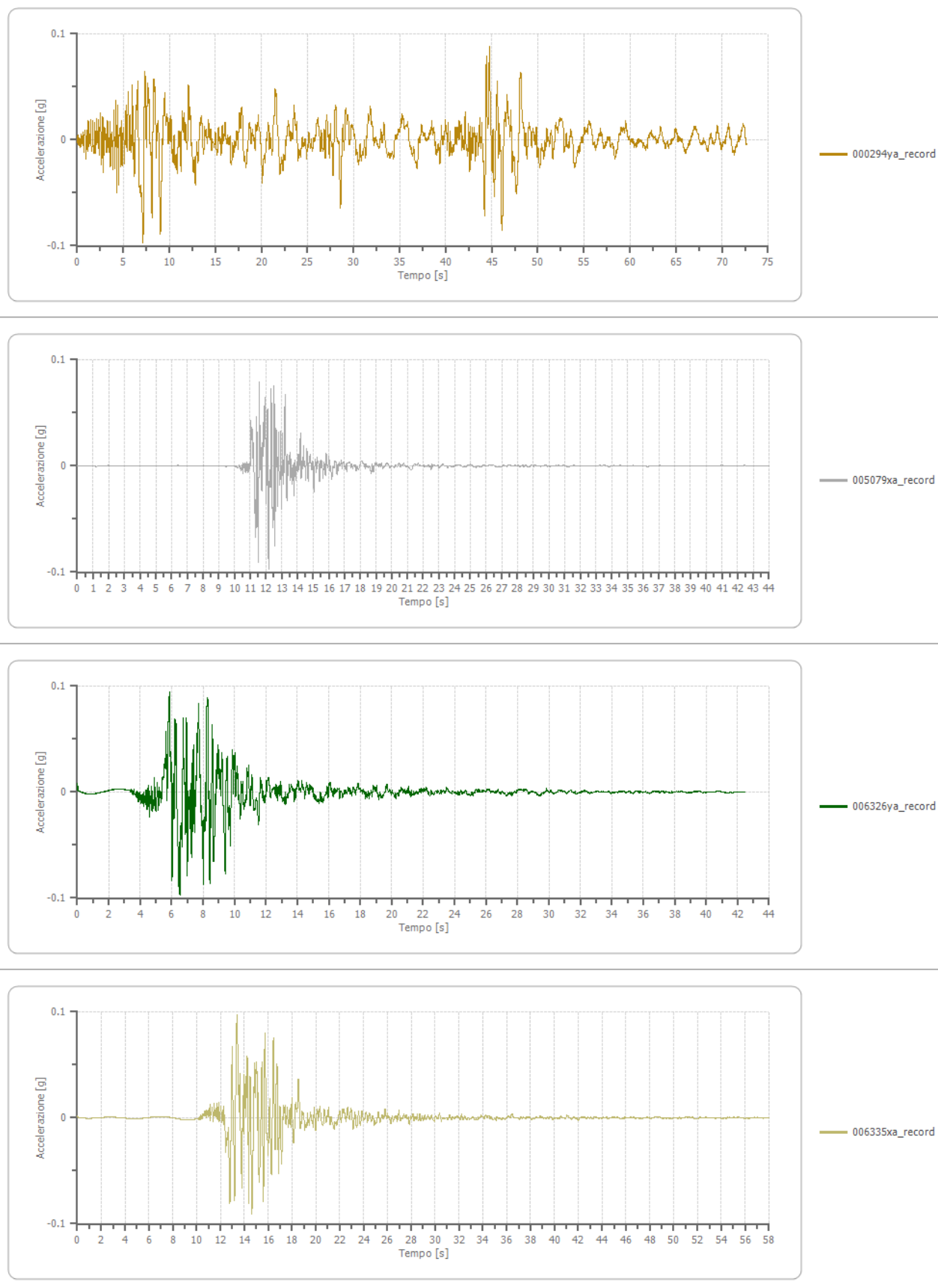
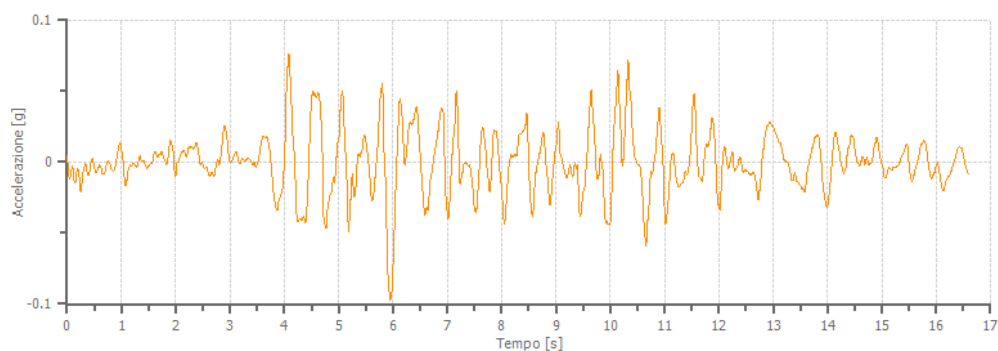
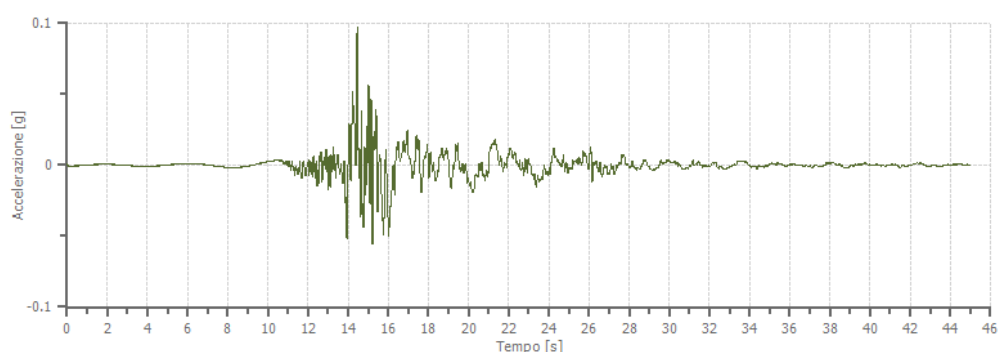
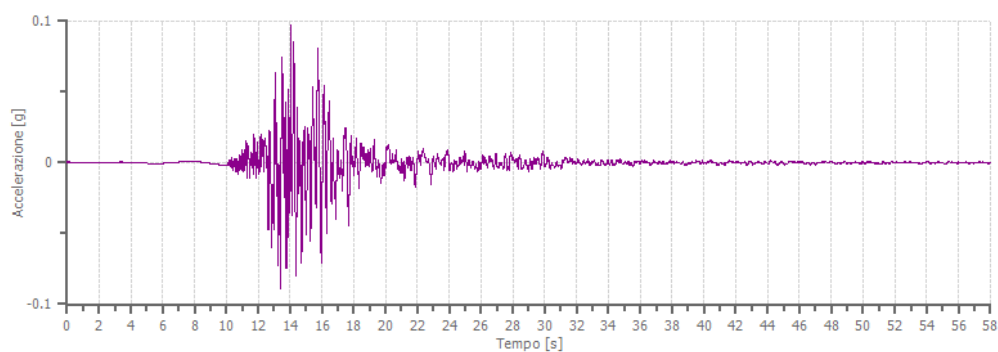


Fig. 13: Componenti spettrali degli eventi selezionati per lo stato SLV

Gli accelerogrammi di input, opportunamente scalati al valore di a_g di progetto (0,097 g), e utilizzati nelle analisi numeriche sono di seguito riportati:





5.1.3 Accelerogrammi per lo stato limite di esercizio SLD

Gli accelerogrammi utilizzati nell'analisi lineari per lo stato limite di esercizio SLD, selezionati attraverso il software Rexel, si riferiscono ad eventi sismici le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella:

SLD										
Waveform ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	EC8 Site class
000368ya	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5,9	normal	22	0,628	0,6706	0,0563	0,0385	A
006270ya	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	35	0,6535	0,5228	0,0572	0,0405	A
006262xa	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	31	0,54	0,6615	0,0394	0,0779	A
000292xa	Campano Lucano	23/11/1980	6,9	normal	25	0,5878	0,5876	0,0436	0,0585	A
006275ya	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	72	0,4363	0,4539	0,0243	0,0305	A
000368ya	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5,9	normal	22	0,628	0,6706	0,0563	0,0385	A
000961ya	Sicilia-Orientale	13/12/1990	5,6	strike slip	51	0,6358	0,8852	0,033	0,0543	A

Tabella 4: Caratteristiche degli eventi sismici selezionati mediante il software Rexel per lo stato SLD

Analizzando le componenti spettrali degli eventi selezionati, ed il relativo spettro medio risultante (Average spectrum), si nota una buona corrispondenza con lo spettro di normativa (Target spectrum):

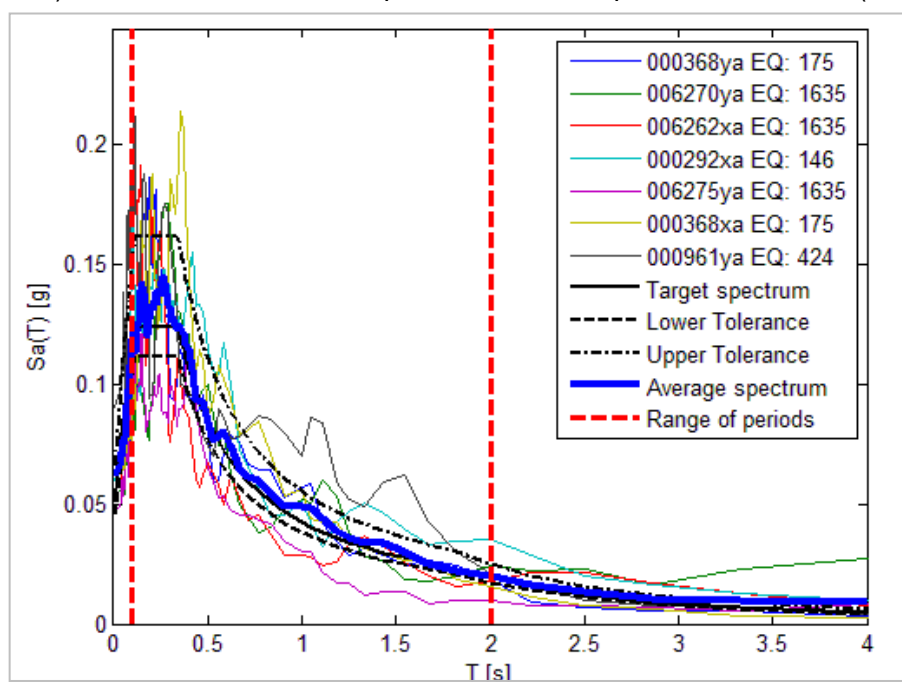
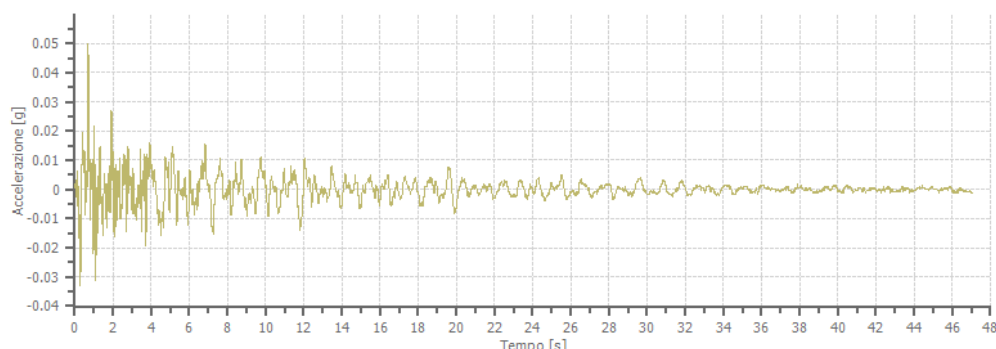
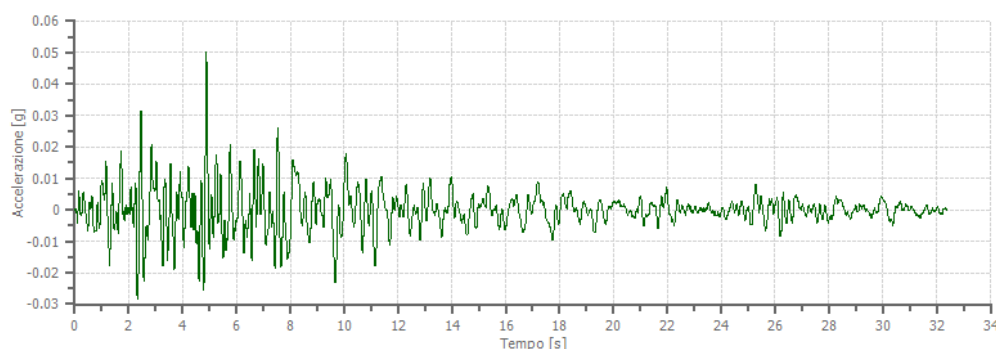
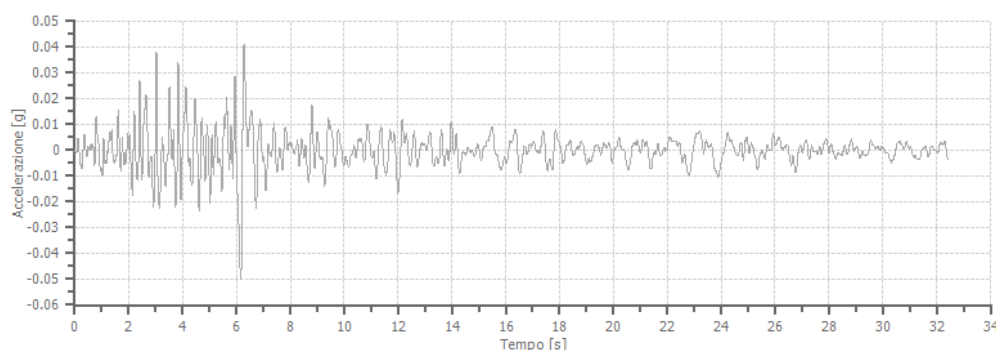
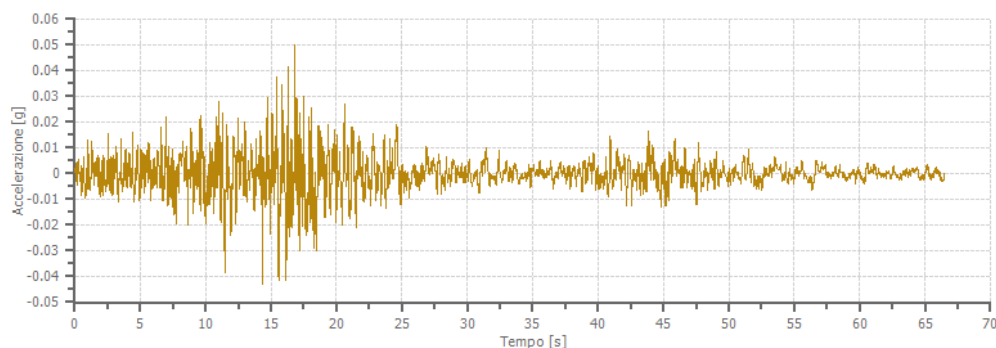
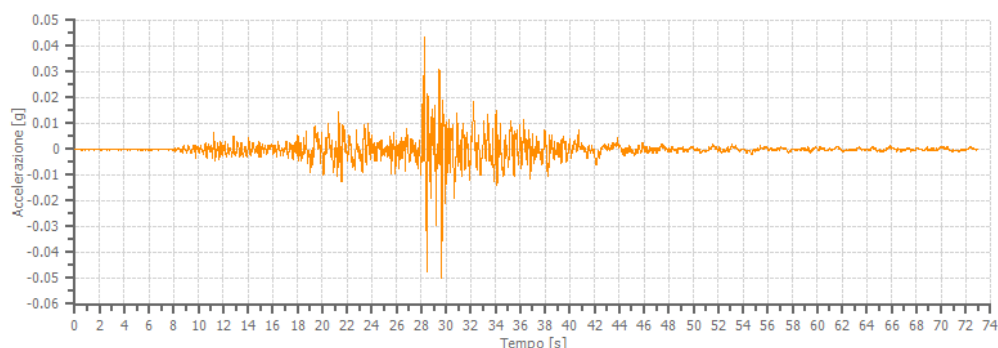
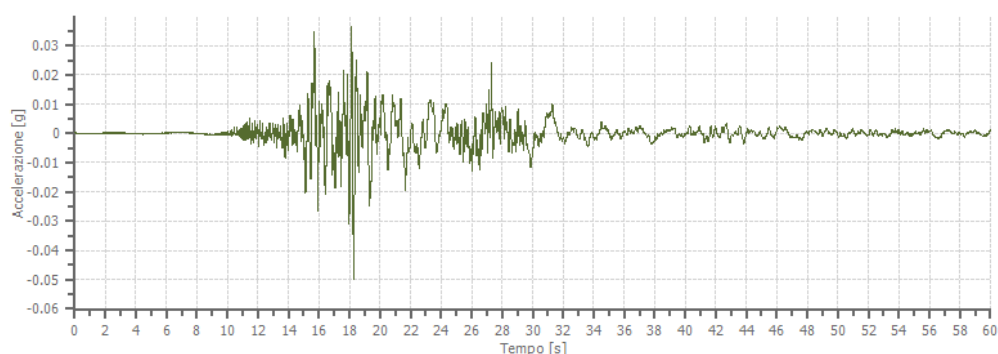
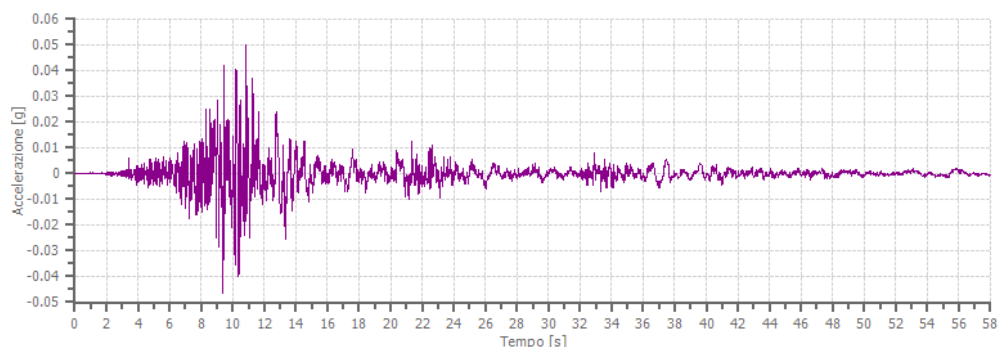


Fig. 14: Componenti spettrali degli eventi selezionati per lo stato SLD

Gli accelerogrammi di input, opportunamente scalati al valore di a_g di progetto (0,050 g), e utilizzati nelle analisi numeriche sono di seguito riportati:





5.1.4 Accelerogrammi per lo stato limite di esercizio SLO

Gli accelerogrammi utilizzati nell'analisi lineari per lo stato limite di esercizio SLO, selezionati attraverso il software Rexel, si riferiscono ad eventi sismici le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella:

SLO										
Waveform ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	EC8 Site class
006275ya	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	72	0,4363	0,4539	0,0243	0,0305	A
000467xa	Chenoua	29/10/1989	5,9	thrust	50	0,3601	0,3433	0,0265	0,0266	A
006269xa	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	34	0,3856	0,4192	0,0386	0,0436	A
000467xa	Chenoua	29/10/1989	5,9	thrust	50	0,3601	0,3433	0,0265	0,0266	A
006274ya	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	78	0,277	0,3804	0,0186	0,0233	A
006274xa	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	78	0,277	0,3804	0,0186	0,0233	A
000292ya	Campano Lucano	23/11/1980	6,9	normal	25	0,5878	0,5876	0,0436	0,0585	A

Tabella 5: Caratteristiche degli eventi sismici selezionati mediante il software Rexel per lo stato SLO

Analizzando le componenti spettrali degli eventi selezionati, ed il relativo spettro medio risultante (Average spectrum), si nota una buona corrispondenza con lo spettro di normativa (Target spectrum):

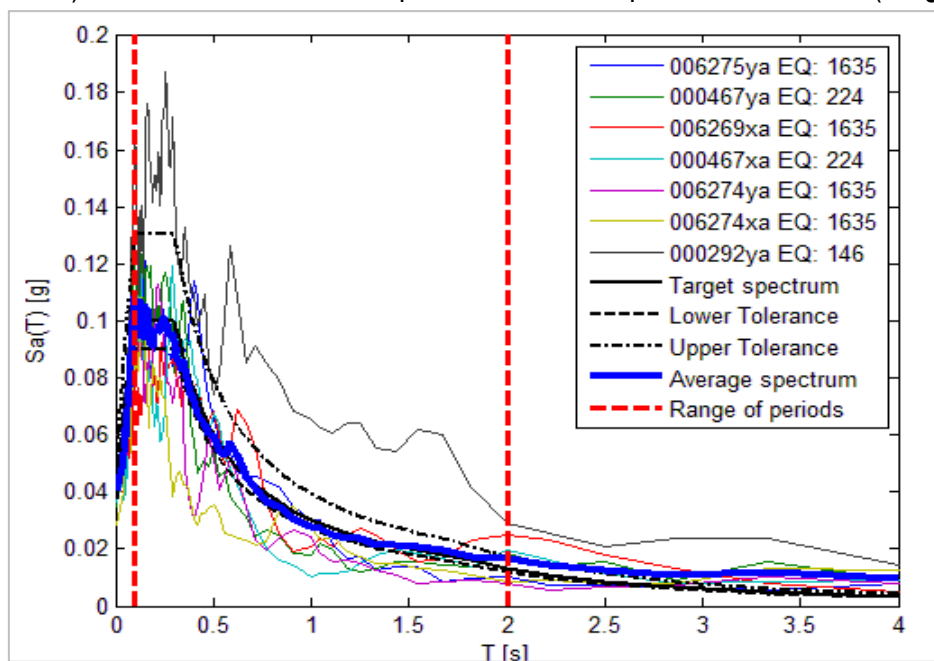
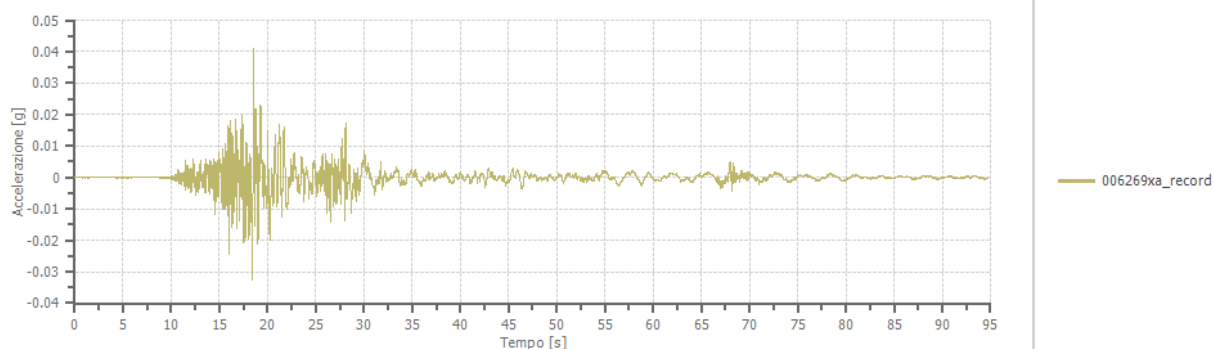
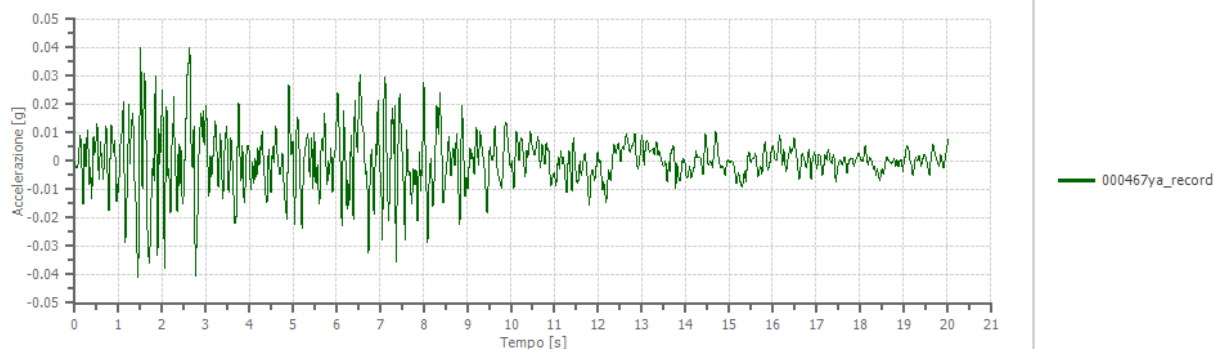
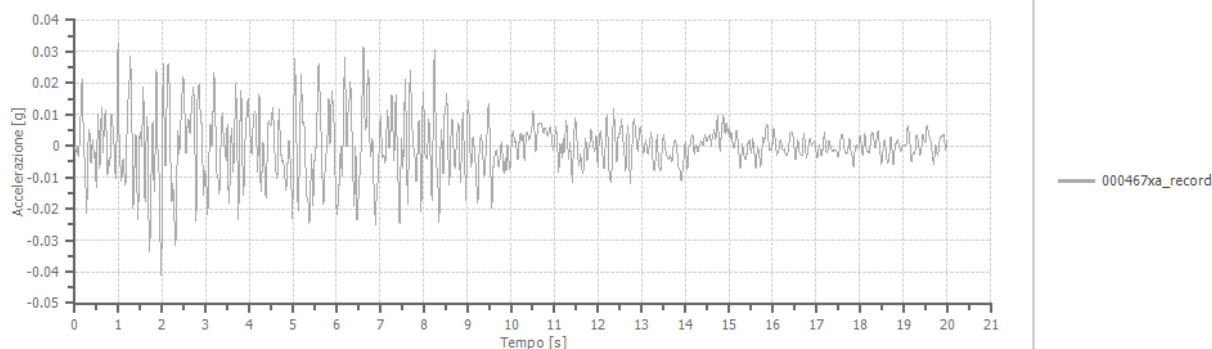
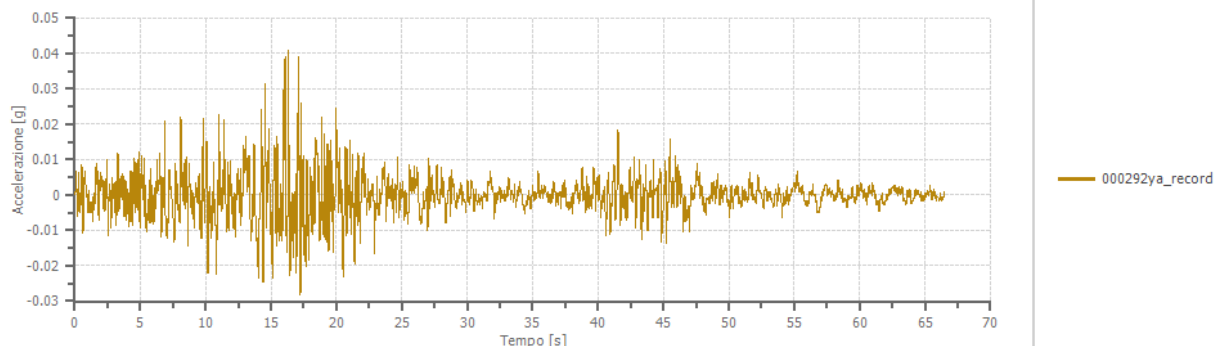
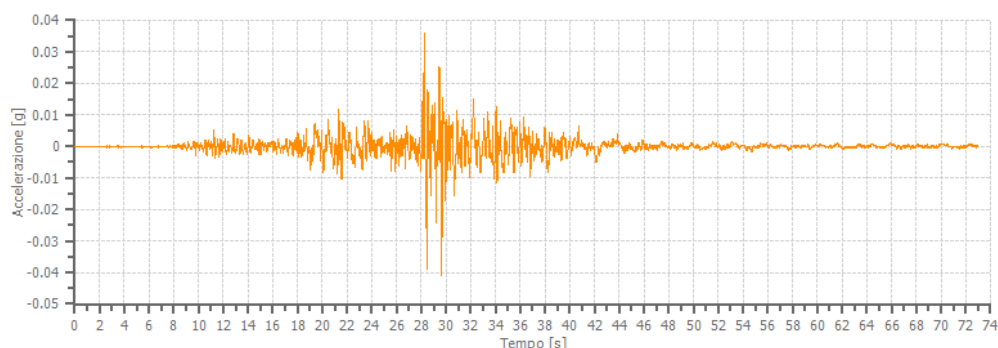
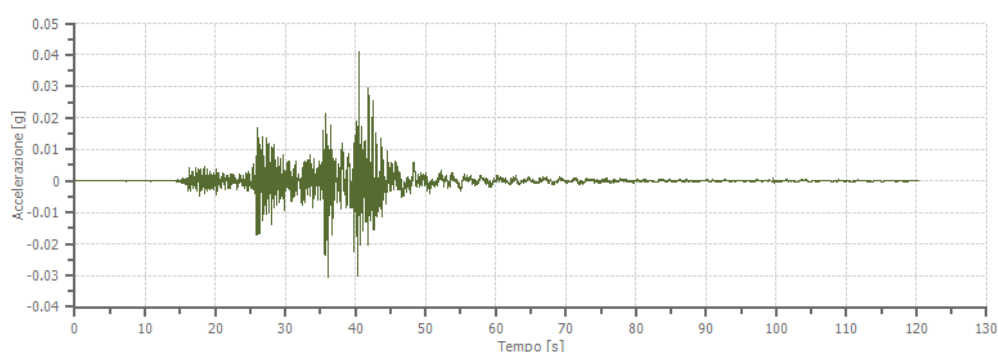
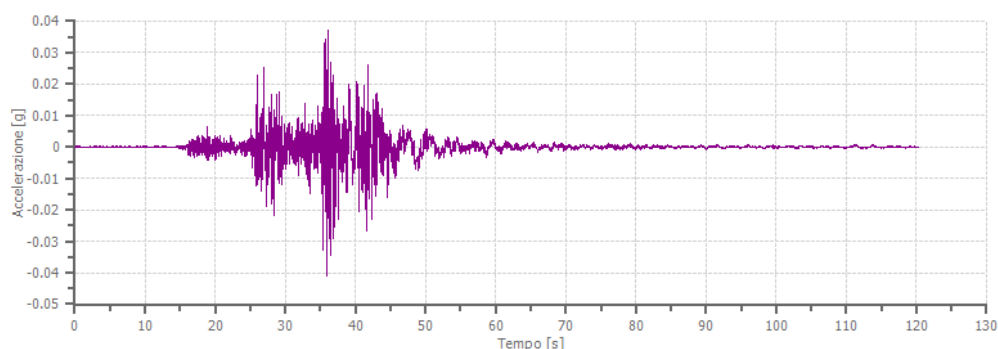


Fig. 15: Componenti spettrali degli eventi selezionati per lo stato SLD

Gli accelerogrammi di input, opportunamente scalati al valore di a_g di progetto (0,041 g), e utilizzati nelle analisi numeriche sono di seguito riportati:





5.2 Modello litostratigrafico e sismostratigrafico dell'area

Definito l'input in termini di eventi sismici da sottoporre a simulazione numerica, mediante i risultati delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite (cfr. Relazione Geologica, Indagini geofisiche), sono state determinate le caratteristiche litotecniche e sismiche del volume di terreno interessato dall'opera ed oggetto della possibile amplificazione, definendo il modello sismostratigrafico del sottosuolo così come schematizzato nella seguente tabella:

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (gm/s)	Peso di volume (KN/m ³)	Litotipo
1	0.70	133	18.00	Terreno vegetale
2	20.90	221	18.50	Limi argillosi mediamente consistenti
3	11.10	347	19.00	Argille limose consistenti
4	42.00	568	19.50	Argille marnose molto consistenti
5	-	>800	20.00	Substrato: Coesivo sovraconsolidato

Tabella 7: Modello sismo-stratigrafico del lotto in studio

Il modello sismostratigrafico è stato ricostruito sulla base di indagini geofisiche di tipo MASW e Re.Mi. appositamente eseguite, che hanno permesso la definizione del profilo verticale della Vs nel sottosuolo. Il parametro **Vs, eq** nell'intervallo 0-30 m dal p.c. così come definito dal paragrafo 3.2.2 dell'Aggiornamento 2018 delle NTC è risultato pari **236 m/s** a cui corrisponde, secondo l'approccio semplificato la **categoria di sottosuolo C**, i cui spettri corrispondenti per ciascun stato limite sono stati confrontati con gli spettri emersi dalle analisi numeriche di tipo 1D delle amplificazioni locali (analisi di Risposta Simica Locale).

Dai risultati ottenuti dalle indagini puntuali e lineari all'uopo eseguiti, è stato possibile definire per il lotto in oggetto, la carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) che rappresenta l'operazione propedeutica alla redazione della carta di Microzonazione sismica di III livello. In tal senso, nel lotto di interesse è stata è stata perimetrata un'unica microzona omogenea (zona 1) definita come **zona stabile suscettibile di amplificazione locale**, nella quale sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto dell'assetto litostratigrafico locale.

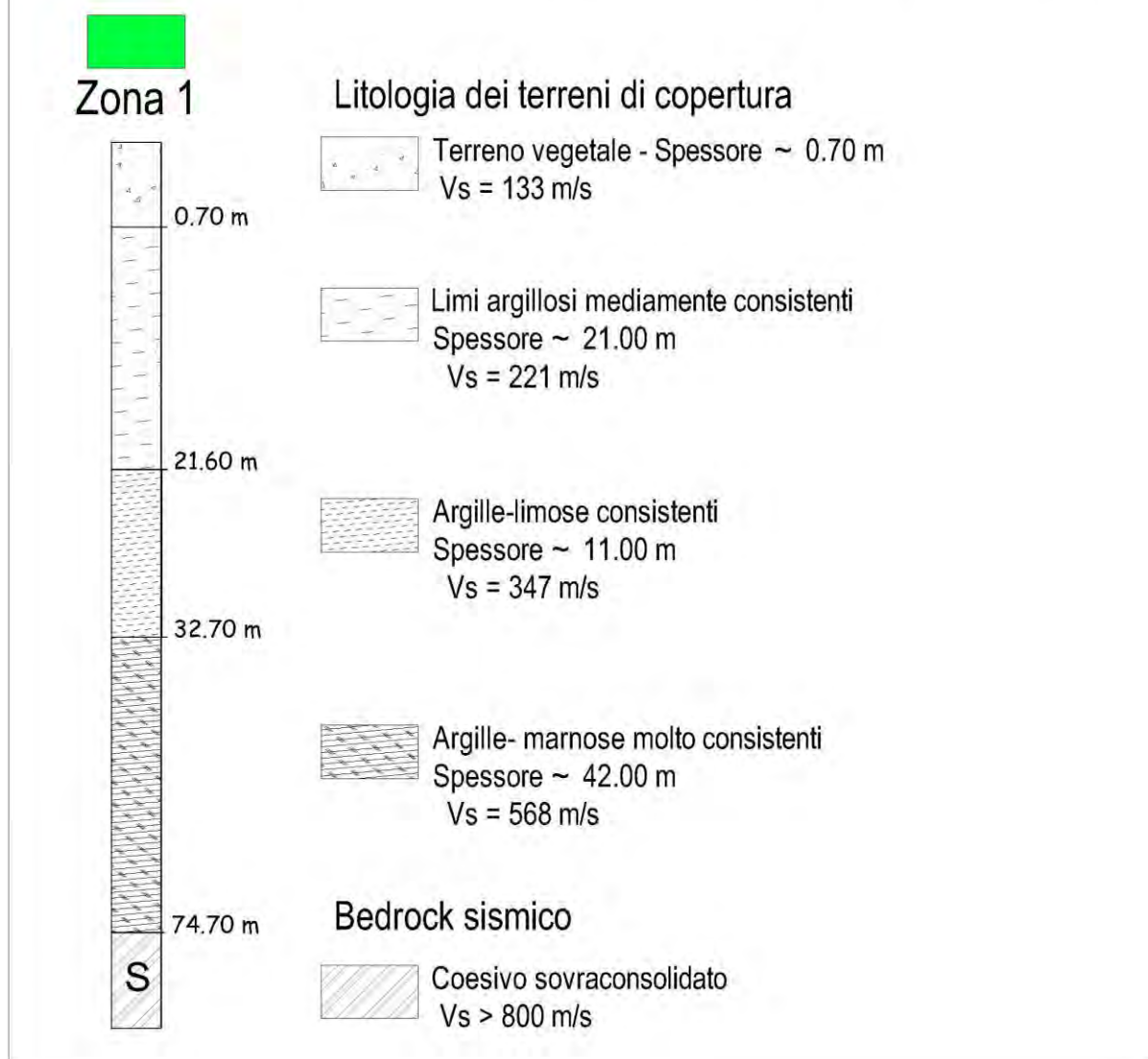
ZONA STABILE SUSCETTIBILE DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Fig. 16: Colonna sismo-stratigrafica della Microzona Sismica individuata

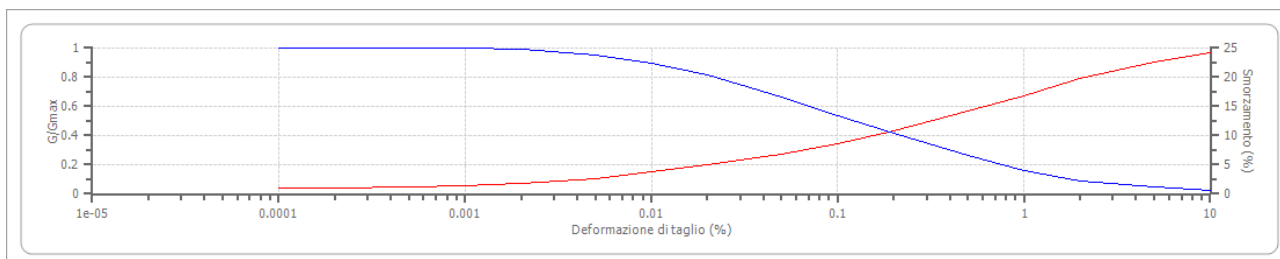
Come detto, la definizione della microzona è avvenuta sulla base dell'assetto litostratigrafico ricostruito a partire dalla stratigrafia dei sondaggi eseguiti (S1, S2 ed S3) dell'individuazione del bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) e della velocità media delle onde elastiche (di tipo P ed S) nei terreni di copertura sovrastanti il bedrock sismico, ottenuta dall'interpretazione delle prove sismiche eseguite.

Per ciascun sismostrato sono state inoltre definite le curve di degrado del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento (dumping), derivanti da bibliografia e/o da apposite prove di laboratorio eseguite su campioni prelevati nel corso di sondaggi geognostici eseguiti su terreni con caratteristiche simili a quelli in oggetto. Più in dettaglio per i terreni di copertura sono state utilizzate le curve degli

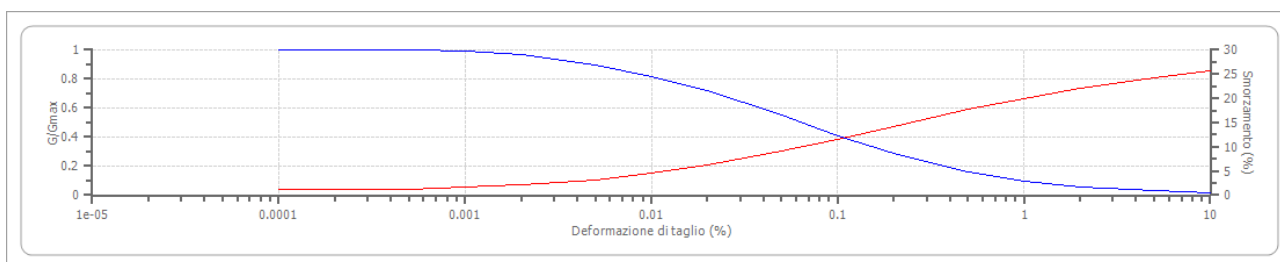
autori **Vucetic & Dorby, 1991** per depositi di natura limoso-sabbiosa mentre per il substrato è stato considerato uno modello di smorzamento costante.

Terreni di copertura

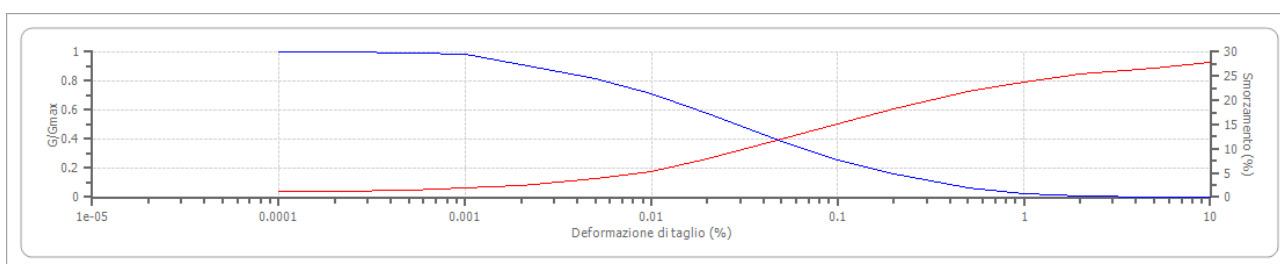
- **Limi argillosi mediamente consistenti: 1.00 – 21.00 m (I.P.=30)**



- **Conglomerati mediamente addensati: 21.00 - 32.00 m (I.P.=15)**



- **Conglomerati addensati: 32.00 - 74.00 m (I.P.=0)**



5.3 Analisi numerica monodimensionale

Definito il modello litostratigrafico, sismostratigrafico e assegnato ad ogni strato individuato le curve di degradazione del modulo di taglio e dello smorzamento sotto l'azione di sollecitazioni cicliche, si può passare, utilizzando gli accelerogrammi precedentemente selezionati, all'analisi numerica monodimensionale eseguita secondo un modello equivalente lineare utilizzato dal software *RSLIII* della *Geostru*.

Lo scopo principale dell'analisi di risposta sismica locale è, in breve, quello di prevedere come e quanto il movimento del suolo superficiale sia influenzato dal movimento del bedrock in profondità.

Le premesse per un'analisi monodimensionale di tipo Equivalente Lineare sono:

1. la stratigrafia del suolo sub-orizzontale;
2. le onde sismiche si propagano dal basso, verticalmente, polarizzate orizzontalmente;
3. le deformazioni del suolo sono funzione delle proprietà dinamiche dei litotipi.

Gli spettri di output, in accordo con quanto contenuto nel D.M. 17.01.2018, sono riferiti al piano di imposta delle fondazioni del manufatto che si colloca ad una profondità di circa 1,50 m dal p.c., pertanto le analisi numeriche sono state condotte tenendo conto della reale stratigrafia fino a tale piano.

5.3.1 Analisi per lo stato limite ultimo di salvaguardia della vita SLV

Definiti tutti i parametri di input precedentemente descritti si è passati al calcolo della funzione del moto sismico dal bedrock alla superficie. Per rendere possibile tale operazione sono necessari dei passaggi intermedi, in quanto il moto sismico (accelerogrammi utilizzati) sono stati registrati in superficie in condizioni di campo libero (free field). Attraverso la funzione di deconvoluzione, è possibile trasferire il moto sismico dalla superficie alla base della colonna di riferimento, per poi calcolare mediante la funzione di trasferimento il moto all'intradosso del sistema fondale della struttura, per ciascun accelerogramma considerato.

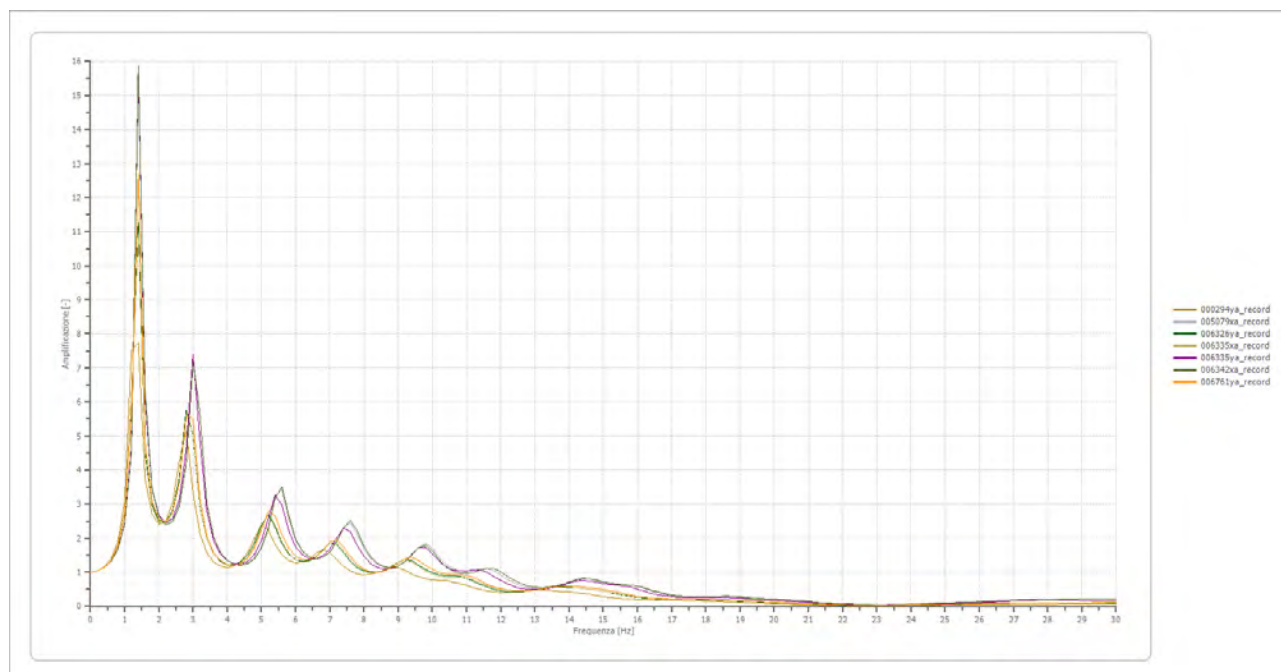


Fig.17: Amplificazione in frequenza degli accelerogrammi di input per lo stato SLV

Il software lavora nel dominio delle frequenze, pertanto per poter valutare gli effetti in superficie dello spettro di input bisogna passare dal dominio del tempo al dominio delle frequenze, utilizzando funzione matematica nota come trasformata di Fourier. Tale operazione è ripetuta per ogni accelerogramma selezionato.

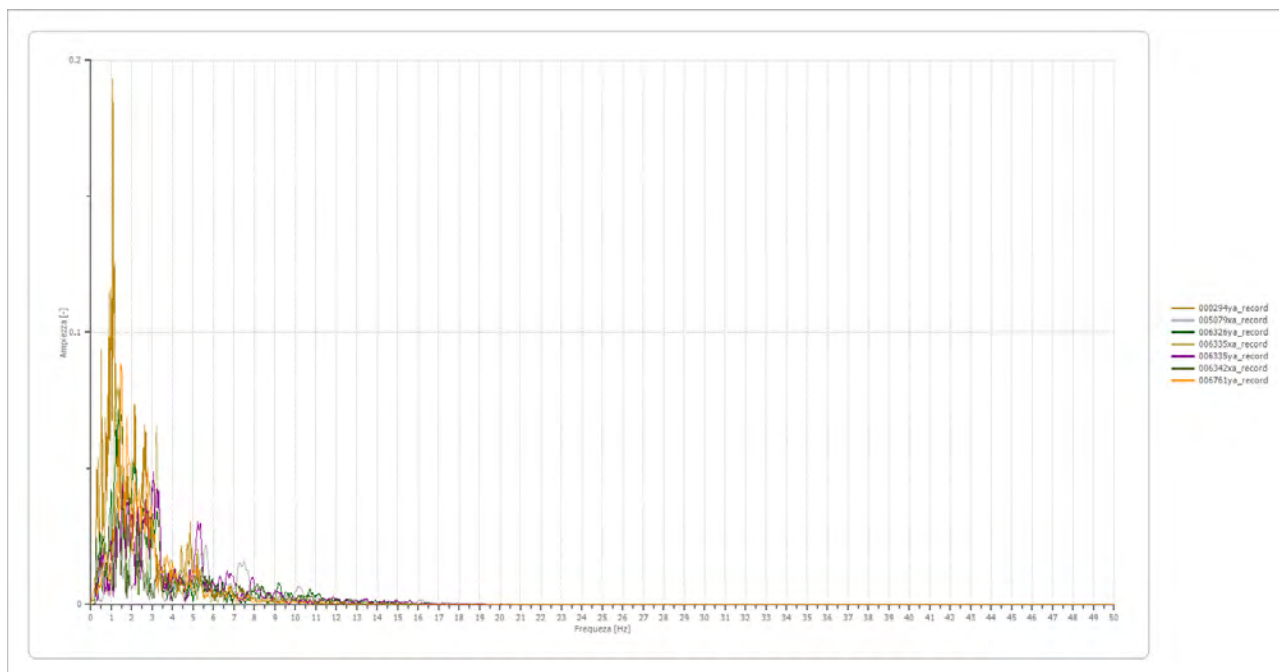


Fig.18: Trasformata di Fourier degli accelerogrammi di input (SLV)

Il codice di calcolo considera ogni componente (armonica) con la sua ampiezza e frequenza e la “trasmette” attraverso il sistema di strati del modello sismo-stratigrafico costruito, assumendo che questa corrisponda al moto alla base del sistema. L'operazione è ripetuta per tutte le frequenze ed alla fine del processo genera un nuovo spettro (nel dominio delle frequenze). Mediante l'anti trasformata di Fourier (somma di armoniche) di questo spettro si ottiene lo scuotimento atteso alla superficie (spettro in accelerazione di output).

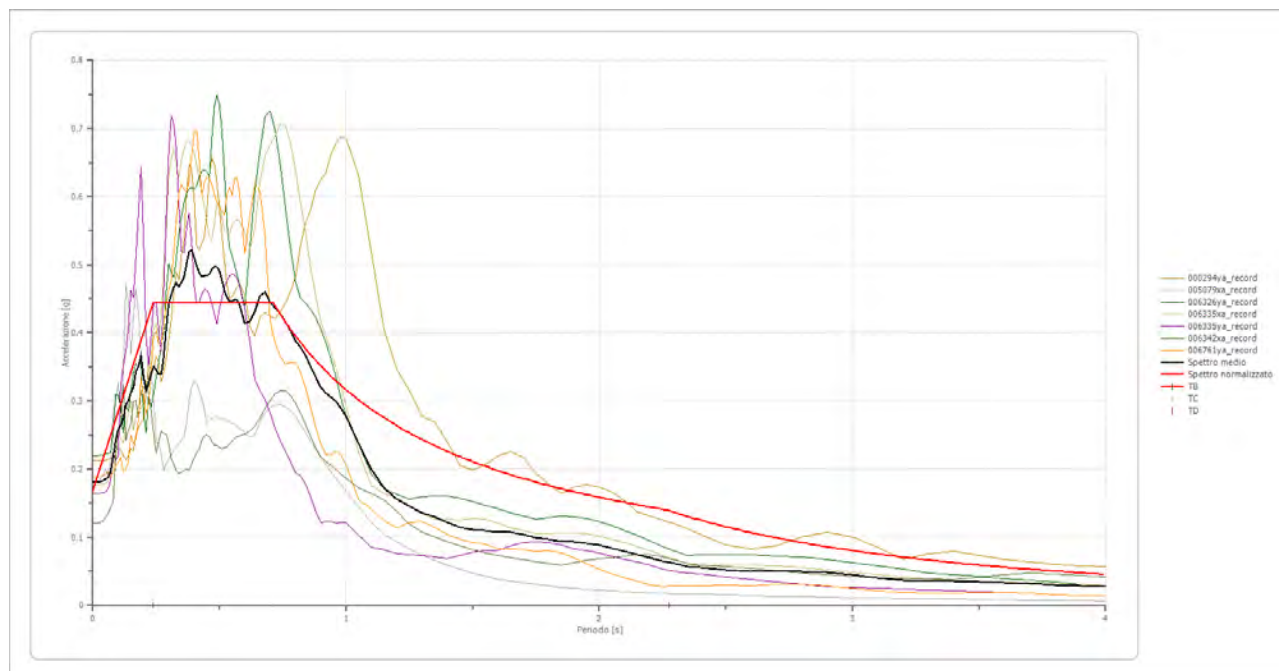


Fig.19: Spettri di output per ciascun accelerogramma considerato (SLV)

Pertanto l'analisi di RSL eseguita con tale metodologia ha restituito gli spettri in accelerazione delle componenti orizzontali per ogni accelerogramma preso in riferimento. Lo spettro medio di accelerazione al suolo (output) e lo spettro normalizzato, confrontato con lo spettro di normativa su categoria di sottosuolo C è riportato nella figura seguente:

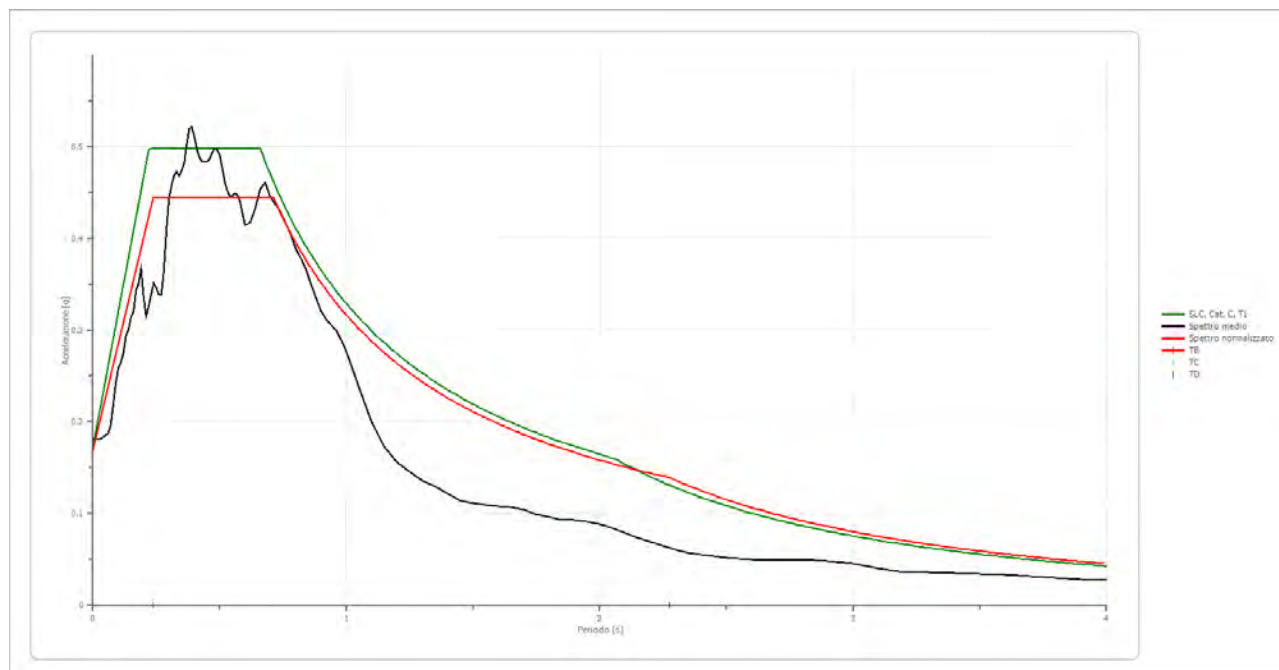


Fig.20: Confronto tra spettro medio di output e spettro normalizzato con gli spettri di normativa di cat. C (SLV)

Per la definizione di **FA** e di **FV**, si è proceduti secondo quanto definito negli ICMS (2008):

- Si determina il periodo di massimo valore dello spettro di input (TAi) e di quello di output (TAo);
- Si calcolano il valori medi degli spettri di input (SA_{m,i}) e di output (SA_{m,o}) nell'intorno di TAi e TAo

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0.5 \cdot TA}^{1.5 \cdot TA} SA(T) dT$$

dove:

SA_m è il valore medio dello spettro e può essere SA_{m,i} o SA_{m,o}

SA(T) è lo spettro di risposta elastico in accelerazione pari a SAi per l'input, SAo per l'output
TA vale TAi per l'input TAo per l'output;

- Si determinano i periodi (TVi) e (TVo) di massimo valore degli spettri di pseudovelocità così definiti:

$$SV(T) = SA(T) * \frac{T}{2\pi}$$

dove:

SV(T) corrisponde rispettivamente a SVi(T) per l'input e SVo(T) per l'output

- Si calcolano i valori medi degli spettri (SV_{m,i}) e (SV_{m,o}) nell'intorno di TVi e TVo:

$$SV_m = \frac{1}{0.4 \cdot TV} \int_{0.8 \cdot TV}^{1.2 \cdot TV} SV(T) dT$$

dove:

SV_m è il valore medio dello spettro e può essere può essere SV_{m,i} o SV_{m,o}

TV può essere TVi e TVo rispettivamente per l'input e l'output.

Tai [s]	Tvi [s]	Tao [s]	Tvo [s]	Sami [m/s ²]	Svmi [m/s ²]	Samo [m/s ²]	Svmo [m/s ²]
0.300	2.050	0.390	0.840	2.201	0.217	4.353	0.494

E' stato possibile determinare:

- il valore di **FA** pari al rapporto SA_{m,o} / SA_{m,i} = **1.978**
- il valore di **FV** è pari al rapporto SV_{m,o} / SV_{m,i} = **2.280**

I parametri tabellati dello **spettro normalizzato** sono i seguenti:

ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.169	2.627	0.713	0.238	0.713	2.276	0.169	0.444

Spettro normalizzato di risposta elastico (SLV)

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1689	0.26	0.4437	0.52	0.4437	0.98	0.3229	2.25	0.1406
0.01	0.1805	0.27	0.4437	0.53	0.4437	1.00	0.3164	2.30	0.1376
0.02	0.1920	0.28	0.4437	0.54	0.4437	1.05	0.3013	2.35	0.1346
0.03	0.2036	0.29	0.4437	0.55	0.4437	1.10	0.2876	2.40	0.1318
0.04	0.2152	0.30	0.4437	0.56	0.4437	1.15	0.2751	2.50	0.1266
0.05	0.2267	0.31	0.4437	0.57	0.4437	1.20	0.2637	2.60	0.1217
0.06	0.2383	0.32	0.4437	0.58	0.4437	1.25	0.2531	2.70	0.1172
0.07	0.2498	0.33	0.4437	0.60	0.4437	1.30	0.2434	2.80	0.1130
0.08	0.2614	0.34	0.4437	0.62	0.4437	1.35	0.2344	2.90	0.1091
0.09	0.2730	0.35	0.4437	0.64	0.4437	1.40	0.2260	3.00	0.1055
0.10	0.2845	0.36	0.4437	0.66	0.4437	1.45	0.2182	3.10	0.1021
0.11	0.2961	0.37	0.4437	0.68	0.4437	1.50	0.2109	3.20	0.0989
0.12	0.3077	0.38	0.4437	0.70	0.4437	1.55	0.2041	3.30	0.0959
0.13	0.3192	0.39	0.4437	0.72	0.4395	1.60	0.1978	3.40	0.0931
0.14	0.3308	0.40	0.4437	0.74	0.4276	1.65	0.1918	3.50	0.0904
0.15	0.3423	0.41	0.4437	0.76	0.4163	1.70	0.1861	3.60	0.0879
0.16	0.3539	0.42	0.4437	0.78	0.4057	1.75	0.1808	3.70	0.0855
0.17	0.3655	0.43	0.4437	0.80	0.3955	1.80	0.1758	3.80	0.0833
0.18	0.3770	0.44	0.4437	0.82	0.3859	1.85	0.1710	3.90	0.0811
0.19	0.3886	0.45	0.4437	0.84	0.3767	1.90	0.1665	4.00	0.0791
0.20	0.4002	0.46	0.4437	0.86	0.3679	1.95	0.1623		
0.21	0.4117	0.47	0.4437	0.88	0.3596	2.00	0.1582		
0.22	0.4233	0.48	0.4437	0.90	0.3516	2.05	0.1543		
0.23	0.4348	0.49	0.4437	0.92	0.3439	2.10	0.1507		
0.24	0.4437	0.50	0.4437	0.94	0.3366	2.15	0.1472		
0.25	0.4437	0.51	0.4437	0.96	0.3296	2.20	0.1438		

Tabella 8: Valori tabellari dello spettro normalizzato

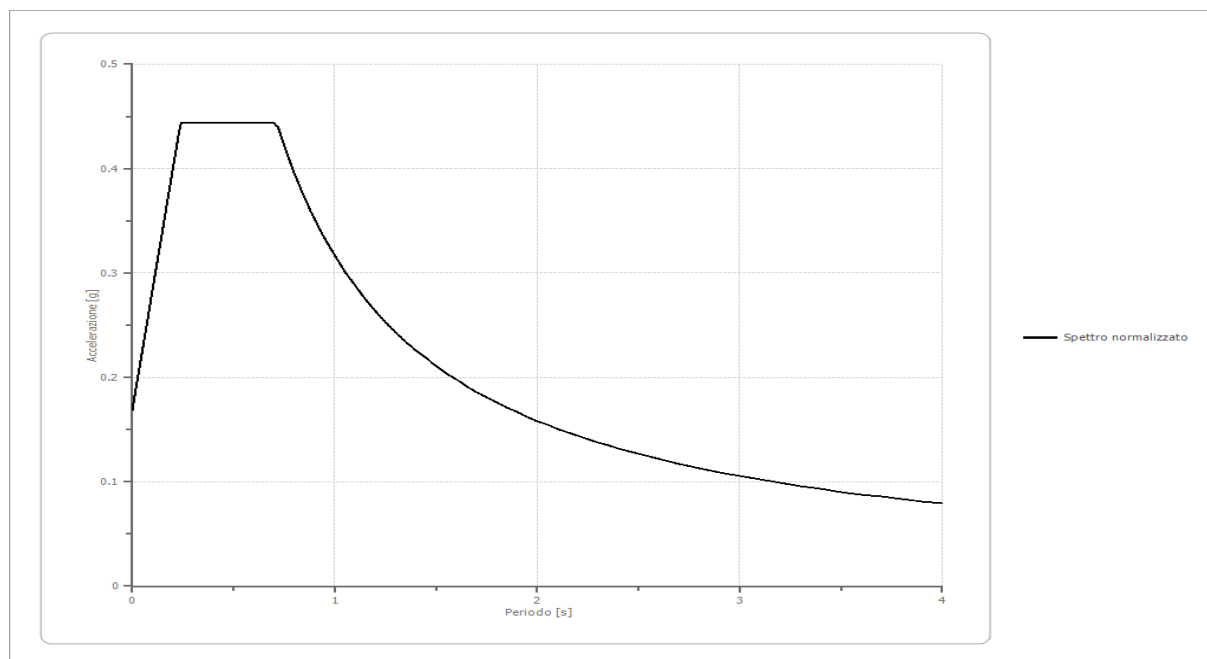


Fig.21: Spettro normalizzato di output

Spettro medio di risposta elastico (SLV)

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1805	0.26	0.3383	0.52	0.4618	0.98	0.2891	2.25	0.0649
0.01	0.1805	0.27	0.3384	0.53	0.4517	1.00	0.2768	2.30	0.0608
0.02	0.1805	0.28	0.3656	0.54	0.4462	1.05	0.2376	2.35	0.0571
0.03	0.1816	0.29	0.4082	0.55	0.4457	1.10	0.1998	2.40	0.0550
0.04	0.1830	0.30	0.4432	0.56	0.4495	1.15	0.1722	2.50	0.0520
0.05	0.1856	0.31	0.4569	0.57	0.4478	1.20	0.1557	2.60	0.0499
0.06	0.1874	0.32	0.4677	0.58	0.4407	1.25	0.1450	2.70	0.0494
0.07	0.1958	0.33	0.4730	0.60	0.4140	1.30	0.1355	2.80	0.0497
0.08	0.2183	0.34	0.4678	0.62	0.4169	1.35	0.1297	2.90	0.0484
0.09	0.2413	0.35	0.4738	0.64	0.4318	1.40	0.1214	3.00	0.0451
0.10	0.2585	0.36	0.4820	0.66	0.4541	1.45	0.1141	3.10	0.0406
0.11	0.2648	0.37	0.5017	0.68	0.4606	1.50	0.1110	3.20	0.0362
0.12	0.2739	0.38	0.5193	0.70	0.4452	1.55	0.1097	3.30	0.0356
0.13	0.2933	0.39	0.5216	0.72	0.4367	1.60	0.1077	3.40	0.0351
0.14	0.3007	0.40	0.5114	0.74	0.4288	1.65	0.1071	3.50	0.0339
0.15	0.3132	0.41	0.4974	0.76	0.4171	1.70	0.1044	3.60	0.0330
0.16	0.3194	0.42	0.4890	0.78	0.4040	1.75	0.0989	3.70	0.0318
0.17	0.3434	0.43	0.4831	0.80	0.3887	1.80	0.0963	3.80	0.0301
0.18	0.3506	0.44	0.4834	0.82	0.3786	1.85	0.0931	3.90	0.0283
0.19	0.3674	0.45	0.4833	0.84	0.3670	1.90	0.0929	4.00	0.0269
0.20	0.3366	0.46	0.4861	0.86	0.3500	1.95	0.0912		
0.21	0.3150	0.47	0.4932	0.88	0.3352	2.00	0.0882		
0.22	0.3254	0.48	0.4979	0.90	0.3202	2.05	0.0841		
0.23	0.3392	0.49	0.4964	0.92	0.3116	2.10	0.0793		
0.24	0.3510	0.50	0.4908	0.94	0.3060	2.15	0.0740		
0.25	0.3458	0.51	0.4771	0.96	0.2992	2.20	0.0695		

Tabella 9: Valori tabellari dello spettro medio di output

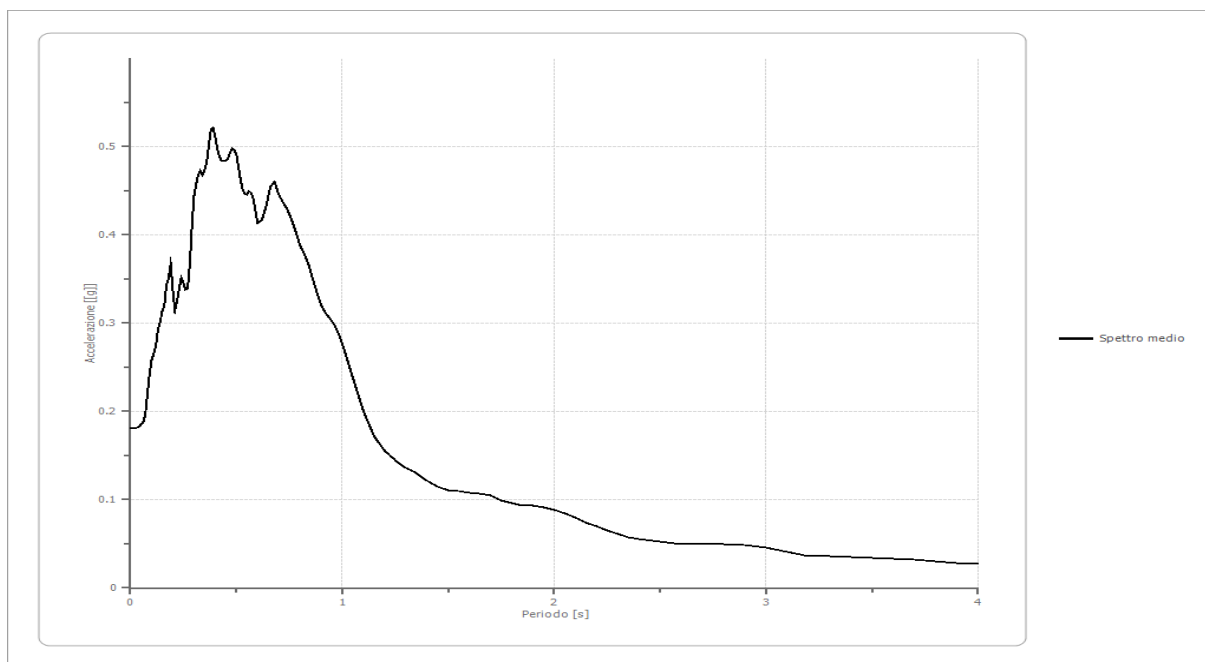


Fig. 22: Spettro medio di output

5.3.1.1 Calcolo dei coefficienti K_h e K_v per lo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV)

Considerando i valori dei coefficienti sismici ottenuti nello Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV). I valori di K_h e K_v vengono determinati con le seguenti formule:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 \times K_h$$

dove

- β_s = è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (cfr. tab. 7.11.1 delle NTC 2018);

- a_{max} (m/s^2) = 1,658 m/s^2

da cui si ottiene:

con $\beta_s=0.28$ $K_h = 0.047$ $K_v = 0.024$

con $\beta_s=0.38$ $K_h = 0.064$ $K_v = 0.032$

5.3.2 Analisi per lo stato limite di esercizio di collasso SLC

Per definire il moto sismico in superficie allo stato limite di esercizio di danno SLC si è seguita la stessa procedura descritta nel precedente paragrafo, adottata per lo stato limite SLV, con l'unica differenza che come moto di input sono stati presi in riferimento gli accelerogrammi selezionati con una probabilità di superamento del 5% in 50 anni.

Definiti gli accelerogrammi e i tutti i parametri di input, è stata calcolata la funzione di trasferimento:

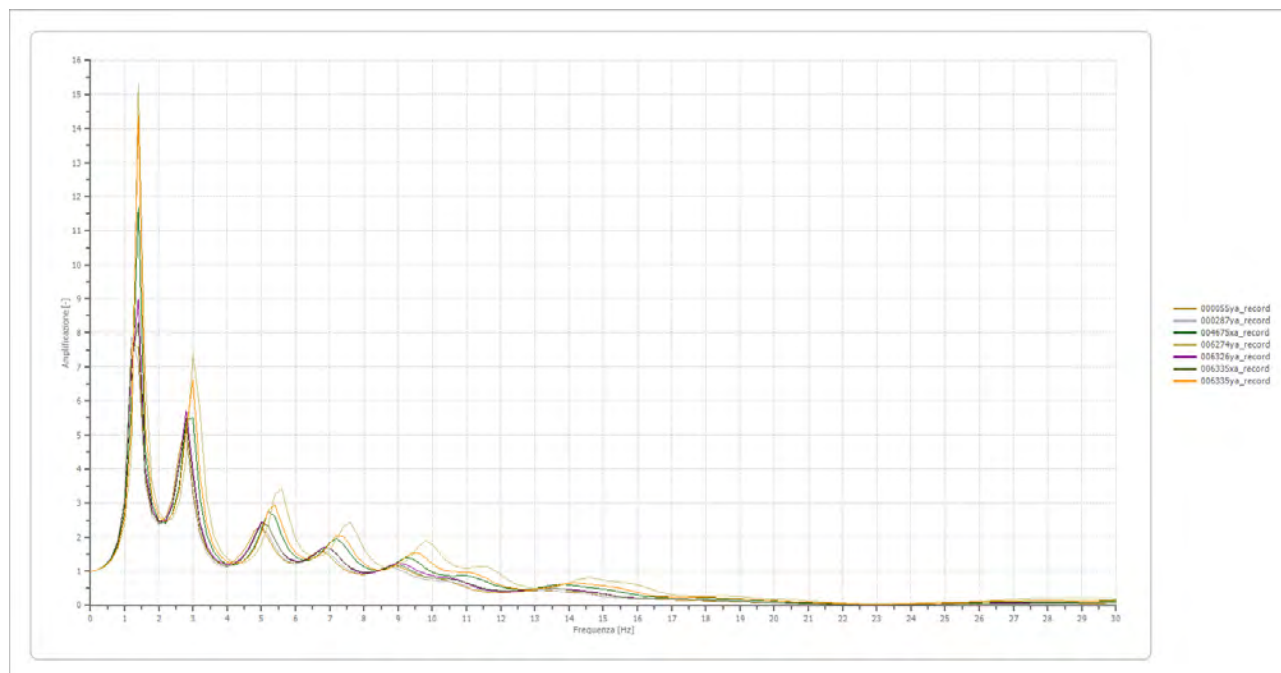


Fig. 23: Amplificazione in frequenza degli accelerogrammi di input (SLC)

Come precedentemente detto, il software lavora nel dominio delle frequenze, pertanto per poter valutare gli effetti in superficie dello spettro di input bisogna passare dal dominio del tempo al dominio delle frequenze, utilizzando funzione matematica nota come trasformata di Fourier. Tale operazione è ripetuta per ogni accelerogramma selezionato.

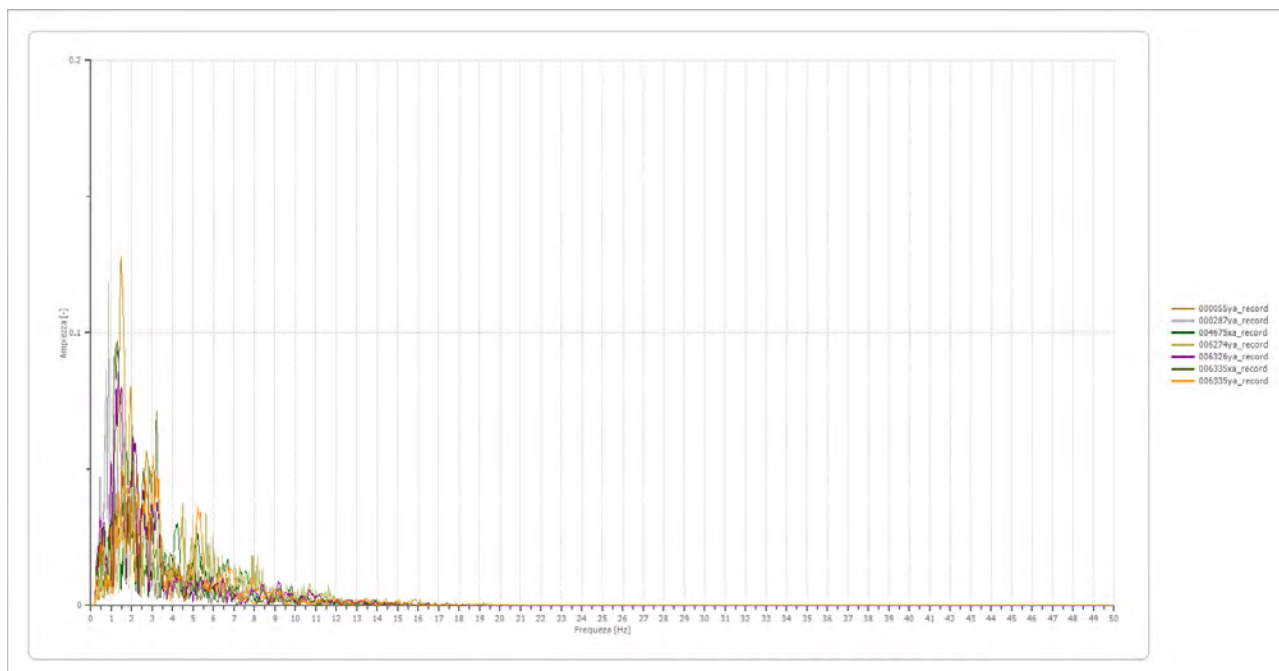


Fig. 24: Trasformata di Fourier degli accelerogrammi di input (SLC)

Il codice di calcolo considera ogni componente (armonica) con la sua ampiezza e frequenza e la “trasmette” attraverso il sistema di strati del modello sismo-stratigrafico assumendo che questa corrisponda al moto alla base del sistema. L'operazione è ripetuta per tutte le frequenze ed alla fine del processo genera un nuovo spettro (nel dominio delle frequenze). Mediante l'anti trasformata di Fourier (somma di armoniche) di questo spettro si ottiene lo scuotimento atteso alla superficie (spettro in accelerazione di output).

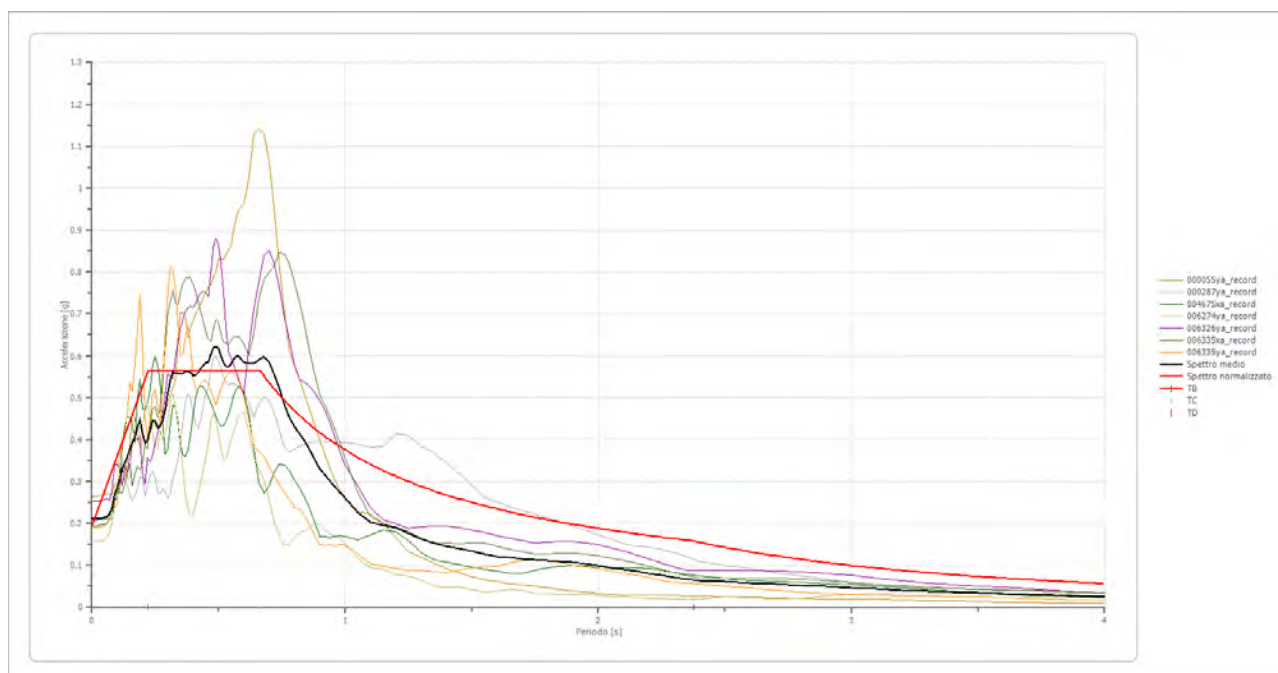


Fig. 25: Spettri di output per ciascun accelerogramma considerato (SLC)

Pertanto l'analisi di RSL eseguita con tale metodologia ha restituito gli spettri in accelerazione delle componenti orizzontali per ogni accelerogramma preso in riferimento. Lo spettro medio di accelerazione al suolo (output) e lo spettro normalizzato, confrontato con lo spettro di normativa su categoria di sottosuolo C è riportato nella figura seguente:

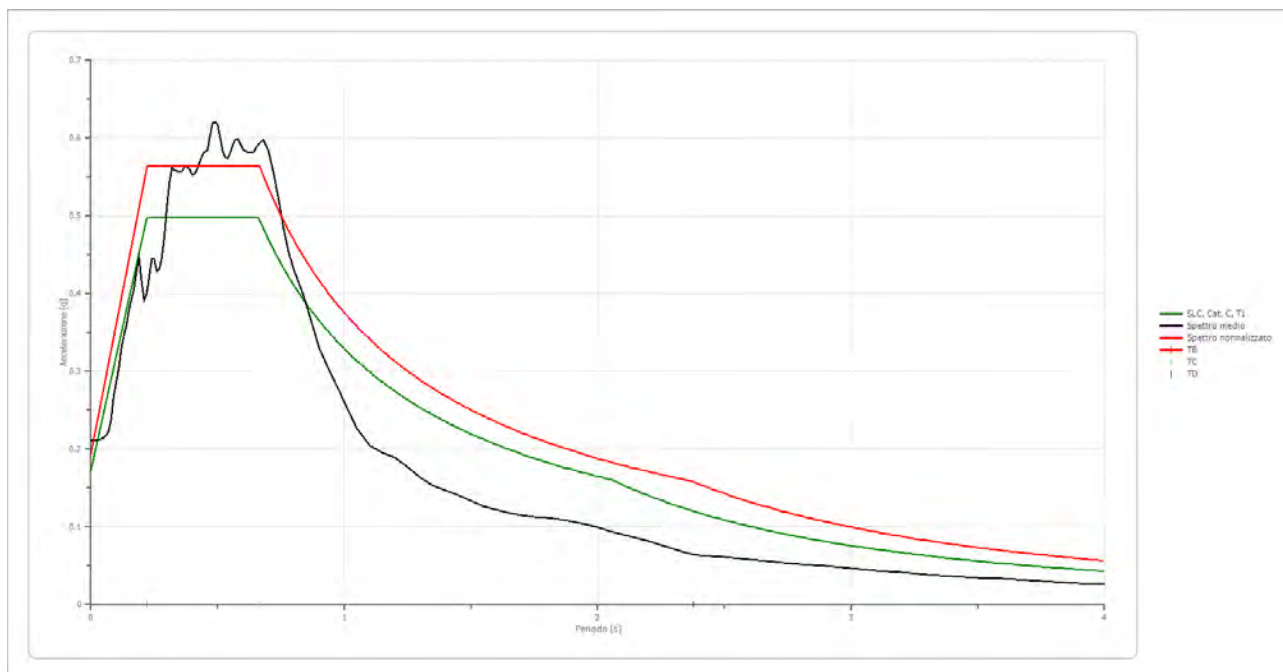


Fig.26: Confronto tra spettro medio di output e spettro normalizzato con gli spettri di normativa di cat. C (SLC)

I parametri tabellati dello **spettro normalizzato** sono i seguenti:

ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.194	2.902	0.666	0.222	0.666	2.377	0.194	0.564

con:

FA= 2.038 FV 2.302

Spettro normalizzato di risposta elastico (SLC)

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1941	0.26	0.5635	0.52	0.5635	0.98	0.3830	2.25	0.1668
0.01	0.2108	0.27	0.5635	0.53	0.5635	1.00	0.3753	2.30	0.1632
0.02	0.2274	0.28	0.5635	0.54	0.5635	1.05	0.3574	2.35	0.1597
0.03	0.2441	0.29	0.5635	0.55	0.5635	1.10	0.3412	2.40	0.1564
0.04	0.2607	0.30	0.5635	0.56	0.5635	1.15	0.3263	2.50	0.1501
0.05	0.2773	0.31	0.5635	0.57	0.5635	1.20	0.3127	2.60	0.1443
0.06	0.2940	0.32	0.5635	0.58	0.5635	1.25	0.3002	2.70	0.1390
0.07	0.3106	0.33	0.5635	0.60	0.5635	1.30	0.2887	2.80	0.1340
0.08	0.3273	0.34	0.5635	0.62	0.5635	1.35	0.2780	2.90	0.1294
0.09	0.3439	0.35	0.5635	0.64	0.5635	1.40	0.2681	3.00	0.1251
0.10	0.3605	0.36	0.5635	0.66	0.5635	1.45	0.2588	3.10	0.1211
0.11	0.3772	0.37	0.5635	0.68	0.5519	1.50	0.2502	3.20	0.1173
0.12	0.3938	0.38	0.5635	0.70	0.5361	1.55	0.2421	3.30	0.1137
0.13	0.4105	0.39	0.5635	0.72	0.5212	1.60	0.2346	3.40	0.1104
0.14	0.4271	0.40	0.5635	0.74	0.5072	1.65	0.2275	3.50	0.1072
0.15	0.4437	0.41	0.5635	0.76	0.4938	1.70	0.2208	3.60	0.1042
0.16	0.4604	0.42	0.5635	0.78	0.4811	1.75	0.2145	3.70	0.1014
0.17	0.4770	0.43	0.5635	0.80	0.4691	1.80	0.2085	3.80	0.0988
0.18	0.4937	0.44	0.5635	0.82	0.4577	1.85	0.2029	3.90	0.0962
0.19	0.5103	0.45	0.5635	0.84	0.4468	1.90	0.1975	4.00	0.0938
0.20	0.5269	0.46	0.5635	0.86	0.4364	1.95	0.1925		
0.21	0.5436	0.47	0.5635	0.88	0.4265	2.00	0.1876		
0.22	0.5602	0.48	0.5635	0.90	0.4170	2.05	0.1831		
0.23	0.5635	0.49	0.5635	0.92	0.4079	2.10	0.1787		
0.24	0.5635	0.50	0.5635	0.94	0.3992	2.15	0.1746		
0.25	0.5635	0.51	0.5635	0.96	0.3909	2.20	0.1706		

Tabella 10: Valori tabellari dello spettro normalizzato

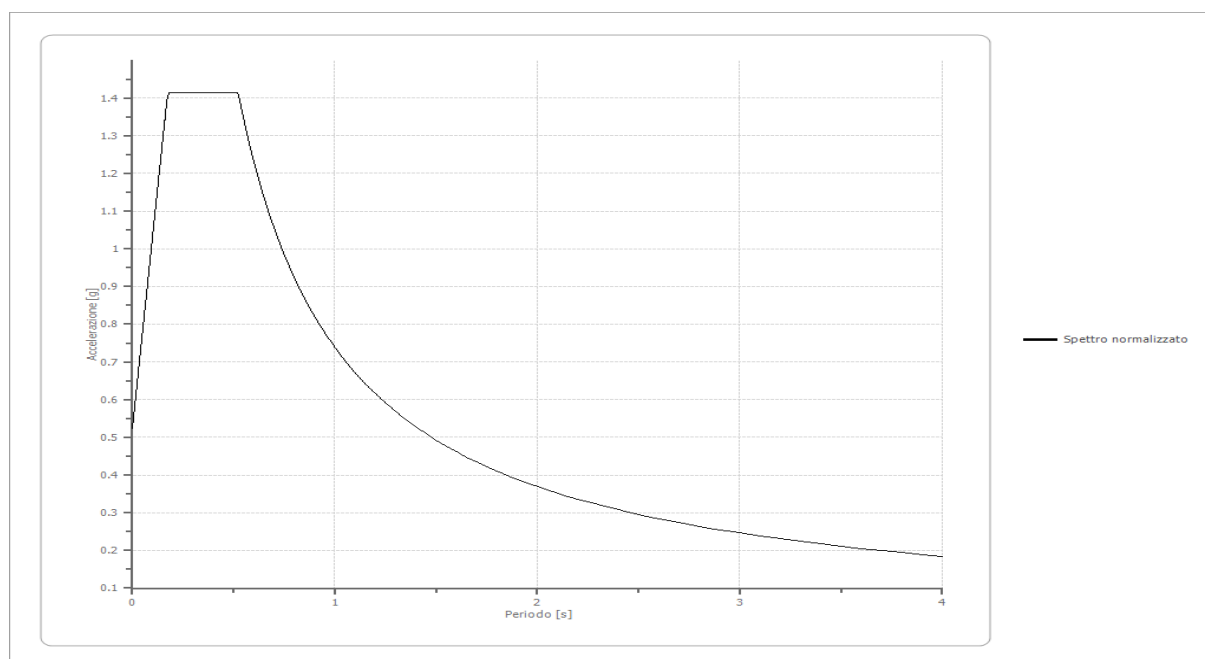


Fig.27: Spettro normalizzato di output (SLC)

Spettro medio di risposta elastico (SLC)

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2108	0.26	0.4284	0.52	0.5837	0.98	0.2741	2.25	0.0763
0.01	0.2108	0.27	0.4316	0.53	0.5746	1.00	0.2602	2.30	0.0713
0.02	0.2108	0.28	0.4457	0.54	0.5737	1.05	0.2266	2.35	0.0662
0.03	0.2117	0.29	0.4737	0.55	0.5813	1.10	0.2040	2.40	0.0631
0.04	0.2129	0.30	0.5117	0.56	0.5915	1.15	0.1949	2.50	0.0608
0.05	0.2144	0.31	0.5434	0.57	0.5973	1.20	0.1892	2.60	0.0580
0.06	0.2175	0.32	0.5612	0.58	0.5988	1.25	0.1765	2.70	0.0551
0.07	0.2230	0.33	0.5586	0.60	0.5849	1.30	0.1636	2.80	0.0518
0.08	0.2383	0.34	0.5579	0.62	0.5809	1.35	0.1528	2.90	0.0493
0.09	0.2699	0.35	0.5564	0.64	0.5816	1.40	0.1462	3.00	0.0467
0.10	0.2856	0.36	0.5577	0.66	0.5911	1.45	0.1402	3.10	0.0438
0.11	0.3038	0.37	0.5640	0.68	0.5983	1.50	0.1334	3.20	0.0411
0.12	0.3290	0.38	0.5623	0.70	0.5842	1.55	0.1263	3.30	0.0385
0.13	0.3455	0.39	0.5595	0.72	0.5560	1.60	0.1214	3.40	0.0365
0.14	0.3592	0.40	0.5520	0.74	0.5226	1.65	0.1180	3.50	0.0345
0.15	0.3785	0.41	0.5541	0.76	0.4843	1.70	0.1151	3.60	0.0326
0.16	0.3932	0.42	0.5607	0.78	0.4531	1.75	0.1122	3.70	0.0306
0.17	0.4056	0.43	0.5701	0.80	0.4311	1.80	0.1110	3.80	0.0290
0.18	0.4290	0.44	0.5777	0.82	0.4139	1.85	0.1097	3.90	0.0272
0.19	0.4458	0.45	0.5828	0.84	0.3964	1.90	0.1068	4.00	0.0253
0.20	0.4152	0.46	0.5844	0.86	0.3749	1.95	0.1035		
0.21	0.3915	0.47	0.6031	0.88	0.3531	2.00	0.0992		
0.22	0.3991	0.48	0.6195	0.90	0.3300	2.05	0.0941		
0.23	0.4220	0.49	0.6208	0.92	0.3164	2.10	0.0895		
0.24	0.4444	0.50	0.6175	0.94	0.3018	2.15	0.0853		
0.25	0.4439	0.51	0.6004	0.96	0.2877	2.20	0.0813		

Tabella 11: Valori tabellari dello spettro medio

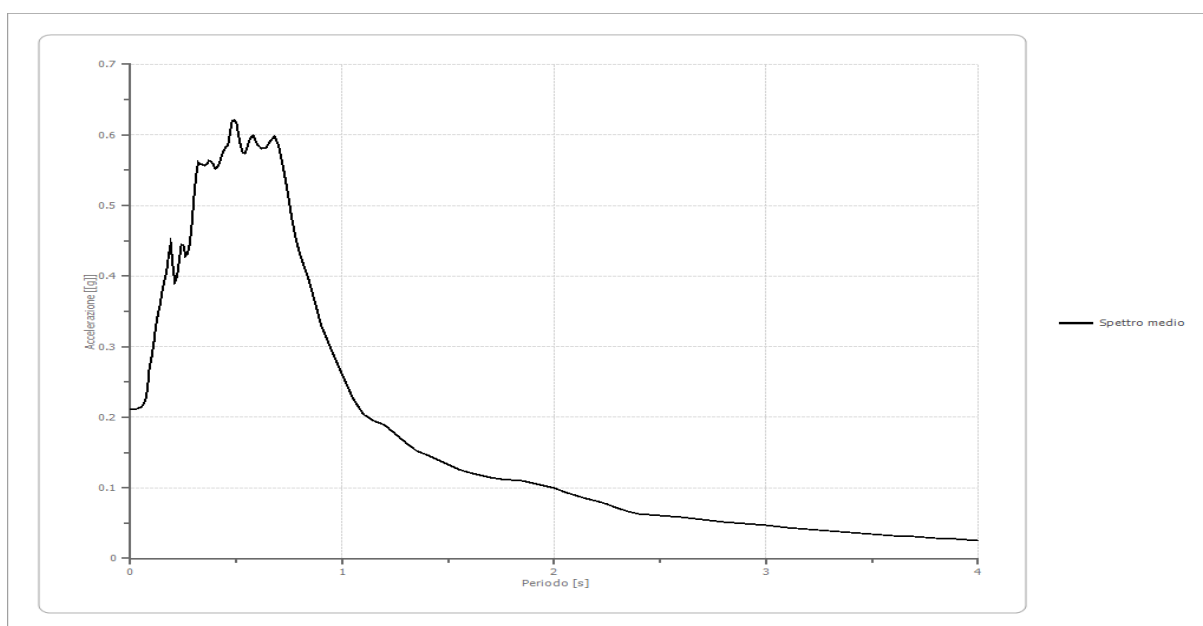


Fig.28: Spettro medio di output (SLC)

5.3.3 Analisi per lo stato limite di esercizio di danno SLD

Per definire il moto sismico in superficie allo stato limite di esercizio di danno SLD si è seguita la stessa procedura descritta nel precedente paragrafo, con l'unica differenza che come moto di input sono stati presi in riferimento gli accelerogrammi selezionati con una probabilità di superamento del 63% in 50 anni.

Definiti gli accelerogrammi e i tutti i parametri di input, è stata calcolata la funzione di trasferimento:

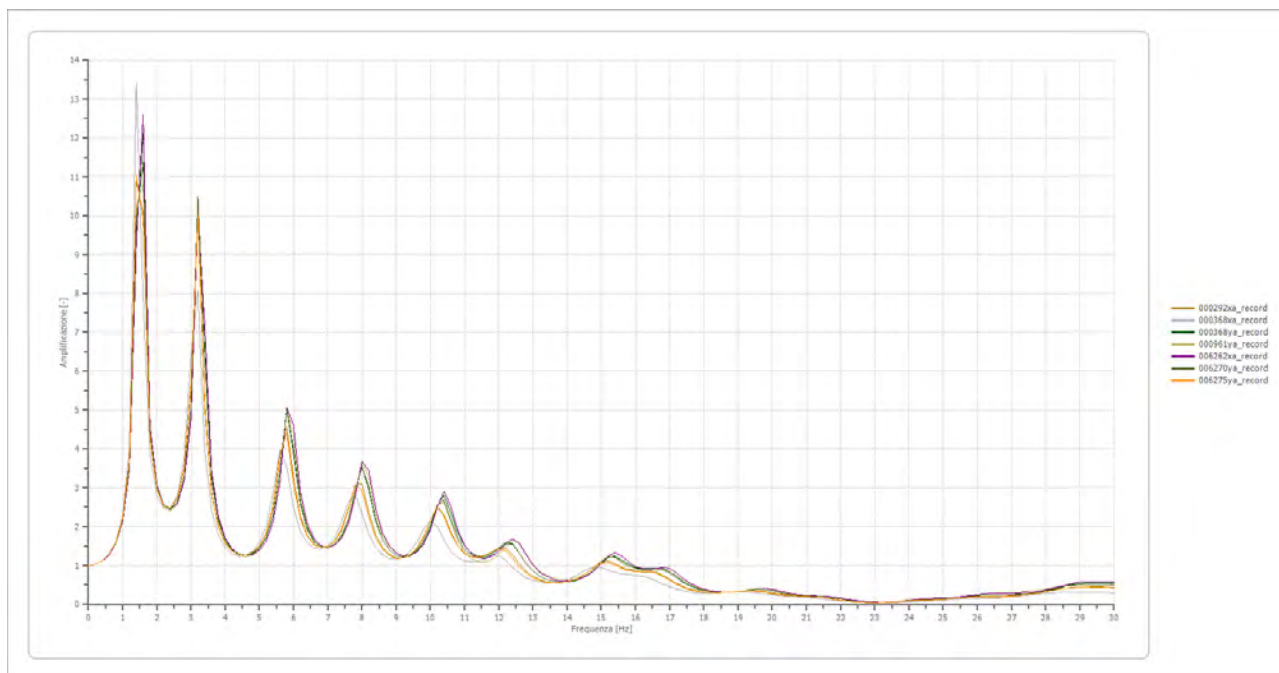


Fig.29: Amplificazione in frequenza degli accelerogrammi di input (SLD)

Come precedentemente detto, il software lavora nel dominio delle frequenze, pertanto per poter valutare gli effetti in superficie dello spettro di input bisogna passare dal dominio del tempo al dominio delle frequenze, utilizzando funzione matematica nota come trasformata di Fourier. Tale operazione è ripetuta per ogni accelerogramma selezionato.

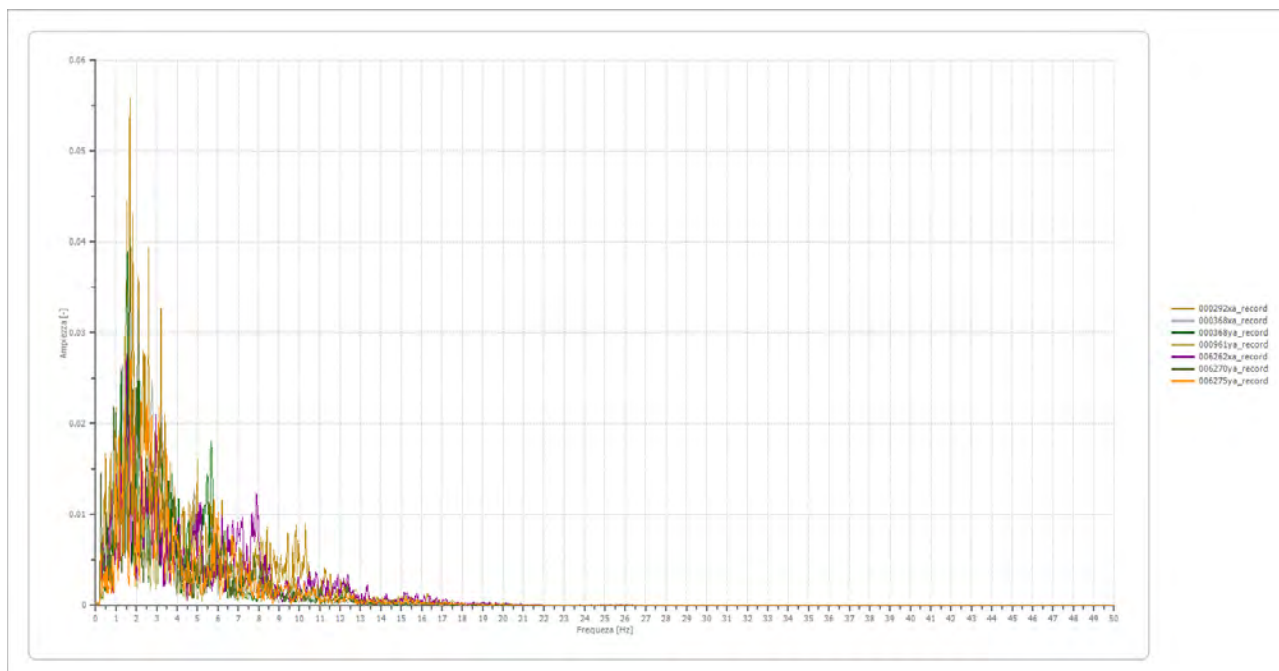


Fig.30: Trasformata di Fourier degli accelerogrammi di input (SLD)

Il codice di calcolo considera ogni componente (armonica) con la sua ampiezza e frequenza e la “trasmette” attraverso il sistema di strati del modello sismo-stratigrafico assumendo che questa corrisponda al moto alla base del sistema. L'operazione è ripetuta per tutte le frequenze ed alla fine del processo genera un nuovo spettro (nel dominio delle frequenze). Mediante l'anti trasformata di Fourier (somma di armoniche) di questo spettro si ottiene lo scuotimento atteso alla superficie (spettro in accelerazione di output).

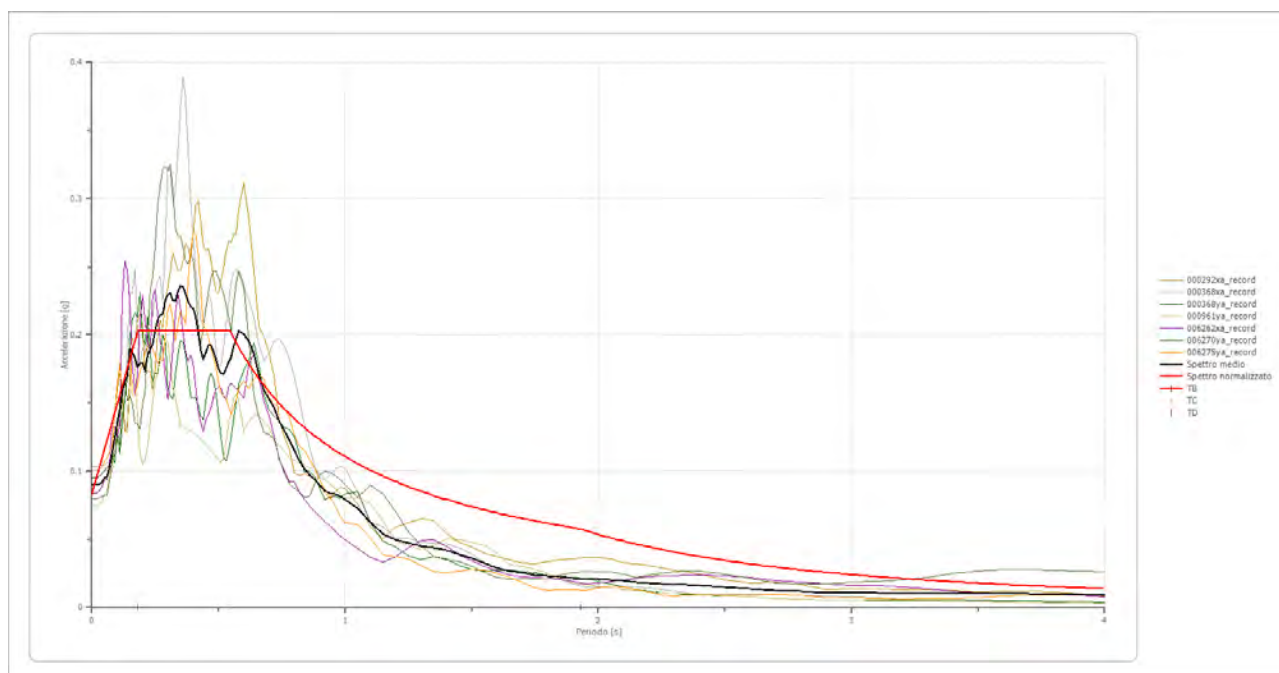


Fig.31: Spettri di output per ciascun accelerogramma considerato (SLD)

Pertanto l'analisi di RSL eseguita con tale metodologia ha restituito gli spettri in accelerazione delle componenti orizzontali per ogni accelerogramma preso in riferimento. Lo spettro medio di accelerazione al suolo (output) e lo spettro normalizzato, confrontato con lo spettro di normativa su categoria di sottosuolo C è riportato nella figura seguente:

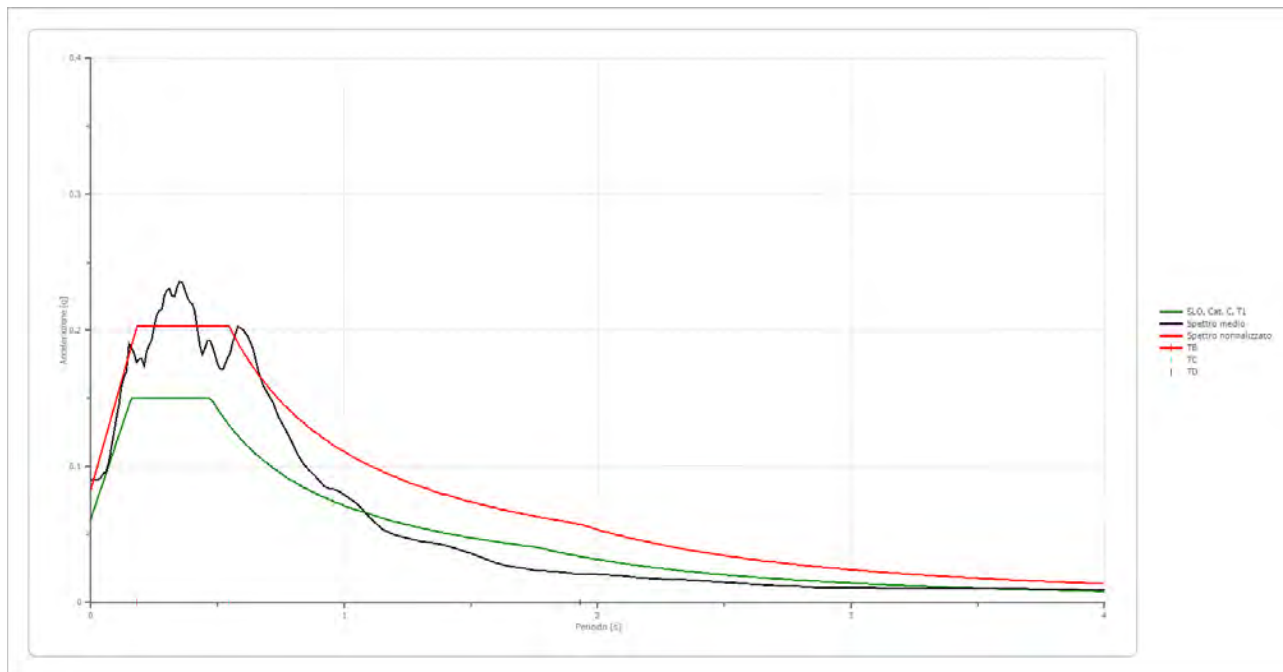


Fig.32: Confronto tra spettro medio di output e spettro normalizzato con gli spettri di normativa di cat. C (SLD)

I parametri tabellati dello **spettro normalizzato** sono i seguenti:

ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.083	2.447	0.546	0.182	0.546	1.932	0.083	0.203

FA= 1.898 FV 2.811

Spettro normalizzato di risposta elastico (SLD)

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0829	0.26	0.2029	0.52	0.2029	0.98	0.1130	2.25	0.0492
0.01	0.0895	0.27	0.2029	0.53	0.2029	1.00	0.1107	2.30	0.0481
0.02	0.0961	0.28	0.2029	0.54	0.2029	1.05	0.1055	2.35	0.0471
0.03	0.1027	0.29	0.2029	0.55	0.2013	1.10	0.1007	2.40	0.0461
0.04	0.1093	0.30	0.2029	0.56	0.1977	1.15	0.0963	2.50	0.0443
0.05	0.1159	0.31	0.2029	0.57	0.1943	1.20	0.0923	2.60	0.0426
0.06	0.1225	0.32	0.2029	0.58	0.1909	1.25	0.0886	2.70	0.0410
0.07	0.1291	0.33	0.2029	0.60	0.1845	1.30	0.0852	2.80	0.0395
0.08	0.1357	0.34	0.2029	0.62	0.1786	1.35	0.0820	2.90	0.0382
0.09	0.1423	0.35	0.2029	0.64	0.1730	1.40	0.0791	3.00	0.0369
0.10	0.1489	0.36	0.2029	0.66	0.1678	1.45	0.0764	3.10	0.0357
0.11	0.1555	0.37	0.2029	0.68	0.1628	1.50	0.0738	3.20	0.0346
0.12	0.1621	0.38	0.2029	0.70	0.1582	1.55	0.0714	3.30	0.0336
0.13	0.1687	0.39	0.2029	0.72	0.1538	1.60	0.0692	3.40	0.0326
0.14	0.1753	0.40	0.2029	0.74	0.1496	1.65	0.0671	3.50	0.0316
0.15	0.1819	0.41	0.2029	0.76	0.1457	1.70	0.0651	3.60	0.0308
0.16	0.1885	0.42	0.2029	0.78	0.1420	1.75	0.0633	3.70	0.0299
0.17	0.1951	0.43	0.2029	0.80	0.1384	1.80	0.0615	3.80	0.0291
0.18	0.2017	0.44	0.2029	0.82	0.1350	1.85	0.0599	3.90	0.0284
0.19	0.2029	0.45	0.2029	0.84	0.1318	1.90	0.0583	4.00	0.0277
0.20	0.2029	0.46	0.2029	0.86	0.1288	1.95	0.0568		
0.21	0.2029	0.47	0.2029	0.88	0.1258	2.00	0.0554		
0.22	0.2029	0.48	0.2029	0.90	0.1230	2.05	0.0540		
0.23	0.2029	0.49	0.2029	0.92	0.1204	2.10	0.0527		
0.24	0.2029	0.50	0.2029	0.94	0.1178	2.15	0.0515		
0.25	0.2029	0.51	0.2029	0.96	0.1153	2.20	0.0503		

Tabella 12: Valori tabellari dello spettro normalizzato

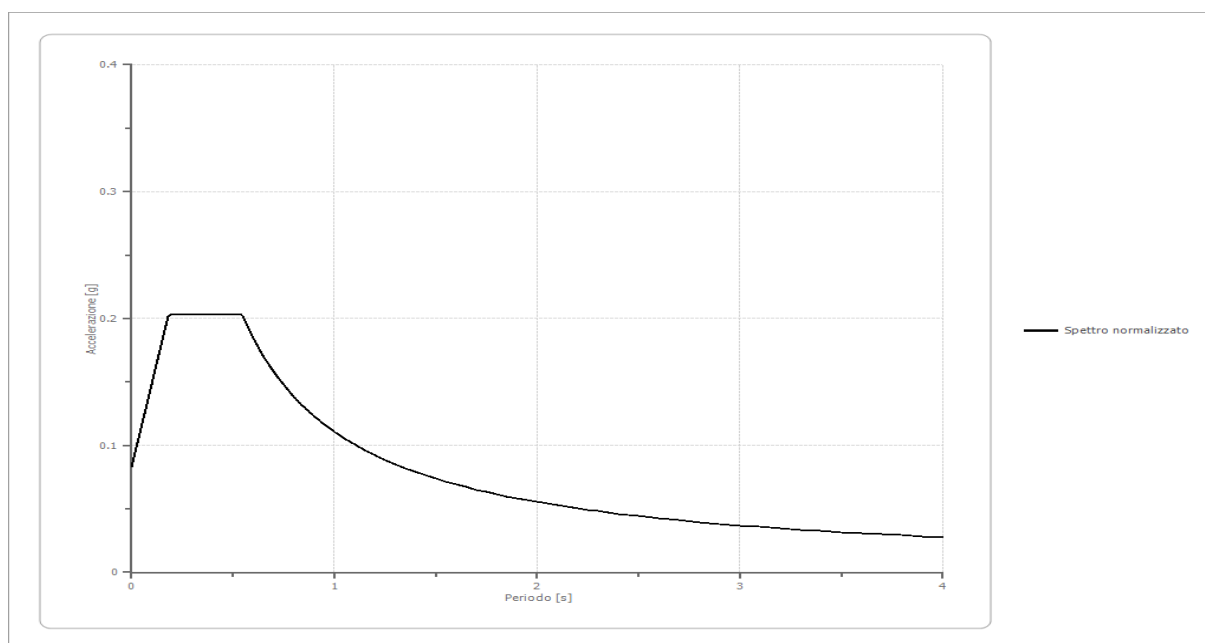


Fig.33: Spettro normalizzato di output (SLD)

Spettro medio di risposta elastico (SLD)

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0895	0.26	0.2110	0.52	0.1713	0.98	0.0812	2.25	0.0171
0.01	0.0895	0.27	0.2150	0.53	0.1752	1.00	0.0792	2.30	0.0167
0.02	0.0895	0.28	0.2155	0.54	0.1802	1.05	0.0728	2.35	0.0164
0.03	0.0905	0.29	0.2255	0.55	0.1835	1.10	0.0624	2.40	0.0159
0.04	0.0919	0.30	0.2294	0.56	0.1916	1.15	0.0537	2.50	0.0146
0.05	0.0949	0.31	0.2308	0.57	0.1972	1.20	0.0495	2.60	0.0134
0.06	0.0962	0.32	0.2255	0.58	0.2027	1.25	0.0473	2.70	0.0126
0.07	0.1029	0.33	0.2249	0.60	0.2007	1.30	0.0451	2.80	0.0116
0.08	0.1134	0.34	0.2318	0.62	0.1950	1.35	0.0436	2.90	0.0105
0.09	0.1241	0.35	0.2358	0.64	0.1863	1.40	0.0417	3.00	0.0104
0.10	0.1350	0.36	0.2356	0.66	0.1708	1.45	0.0387	3.10	0.0103
0.11	0.1447	0.37	0.2299	0.68	0.1596	1.50	0.0359	3.20	0.0100
0.12	0.1583	0.38	0.2250	0.70	0.1528	1.55	0.0325	3.30	0.0100
0.13	0.1661	0.39	0.2207	0.72	0.1466	1.60	0.0290	3.40	0.0100
0.14	0.1692	0.40	0.2194	0.74	0.1365	1.65	0.0266	3.50	0.0100
0.15	0.1901	0.41	0.2136	0.76	0.1298	1.70	0.0253	3.60	0.0100
0.16	0.1873	0.42	0.2013	0.78	0.1230	1.75	0.0238	3.70	0.0100
0.17	0.1837	0.43	0.1885	0.80	0.1153	1.80	0.0227	3.80	0.0097
0.18	0.1764	0.44	0.1821	0.82	0.1076	1.85	0.0222	3.90	0.0092
0.19	0.1786	0.45	0.1872	0.84	0.1014	1.90	0.0213	4.00	0.0087
0.20	0.1796	0.46	0.1926	0.86	0.0971	1.95	0.0206		
0.21	0.1738	0.47	0.1922	0.88	0.0940	2.00	0.0205		
0.22	0.1847	0.48	0.1880	0.90	0.0894	2.05	0.0202		
0.23	0.1892	0.49	0.1817	0.92	0.0857	2.10	0.0193		
0.24	0.1930	0.50	0.1755	0.94	0.0841	2.15	0.0183		
0.25	0.2035	0.51	0.1719	0.96	0.0832	2.20	0.0178		

Tabella 13: Valori tabellari dello spettro medio

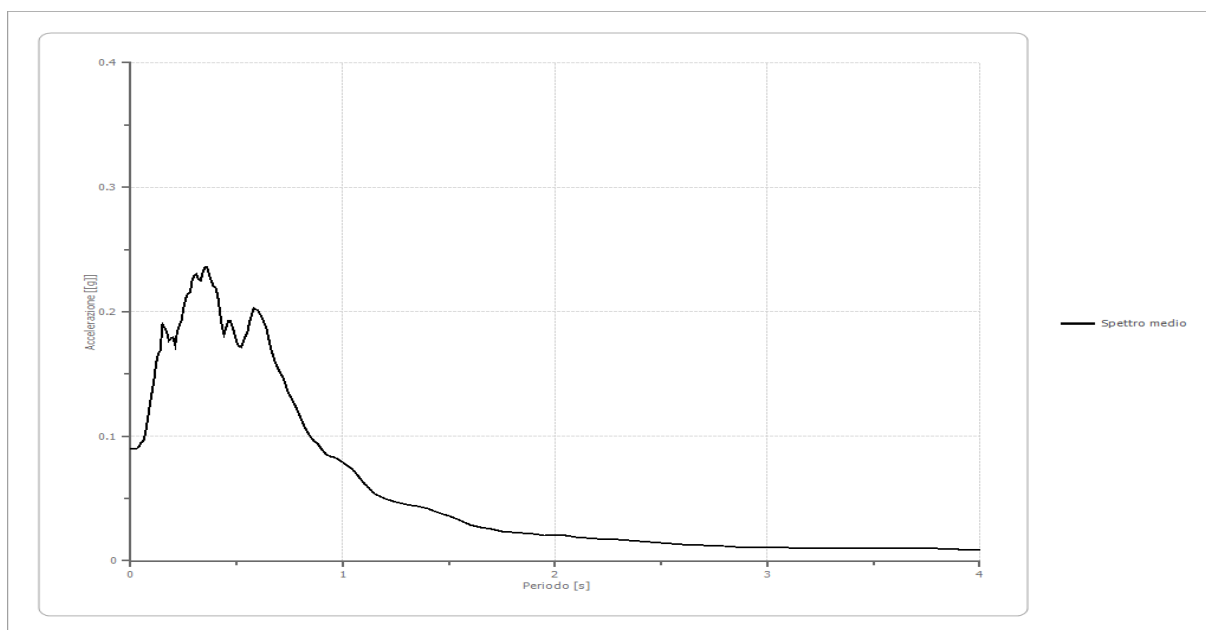


Fig.34: Spettro medio di output (SLD)

5.3.4 Analisi per lo stato limite di esercizio di operatività SLO

Per definire il moto sismico in superficie allo stato limite di esercizio di danno SLO si è seguita la stessa procedura descritta nei precedenti paragrafi, ma utilizzando come moto di input gli accelerogrammi selezionati con una probabilità di superamento del 81% in 50 anni.

Definiti gli accelerogrammi e i tutti i parametri di input, è stata calcolata la funzione di trasferimento:

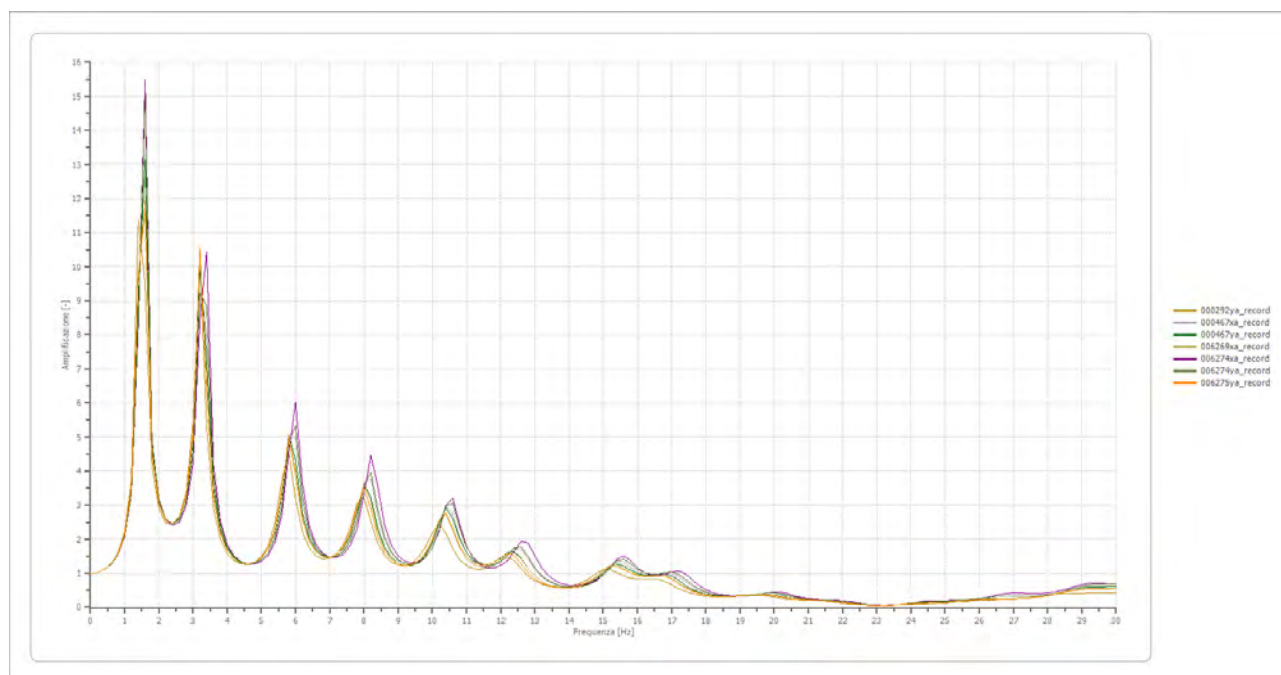


Fig.35: Amplificazione in frequenza degli accelerogrammi di input (SLO)

Come precedentemente detto, il software lavora nel dominio delle frequenze, pertanto per poter valutare gli effetti in superficie dello spettro di input bisogna passare dal dominio del tempo al dominio delle frequenze, utilizzando funzione matematica nota come trasformata di Fourier. Tale operazione è ripetuta per ogni accelerogramma selezionato.

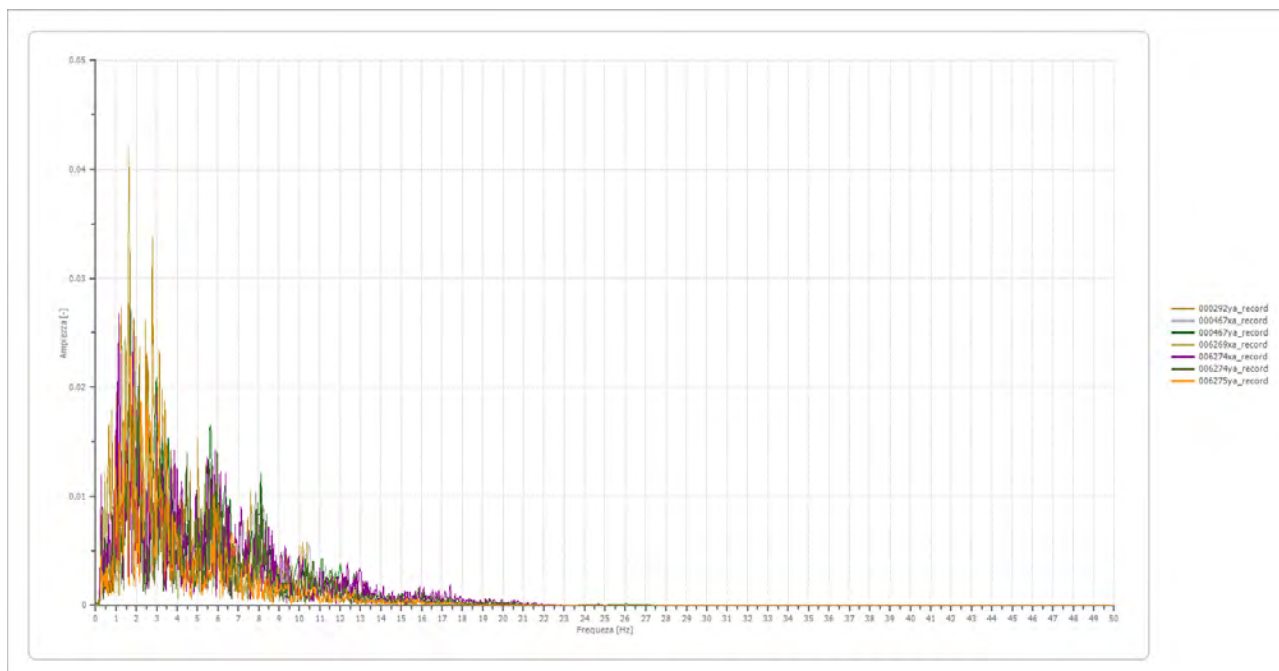


Fig.36: Trasformata di Fourier degli accelerogrammi di input (SLO)

Il codice di calcolo considera ogni componente (armonica) con la sua ampiezza e frequenza e la “trasmette” attraverso il sistema di strati del modello sismo-stratigrafico assumendo che questa corrisponda al moto alla base del sistema . L’operazione è ripetuta per tutte le frequenze ed alla fine del processo genera un nuovo spettro (nel dominio delle frequenze). Mediante l’anti trasformata di Fourier (somma di armoniche) di questo spettro si ottiene lo scuotimento atteso alla superficie (spettro in accelerazione di output).

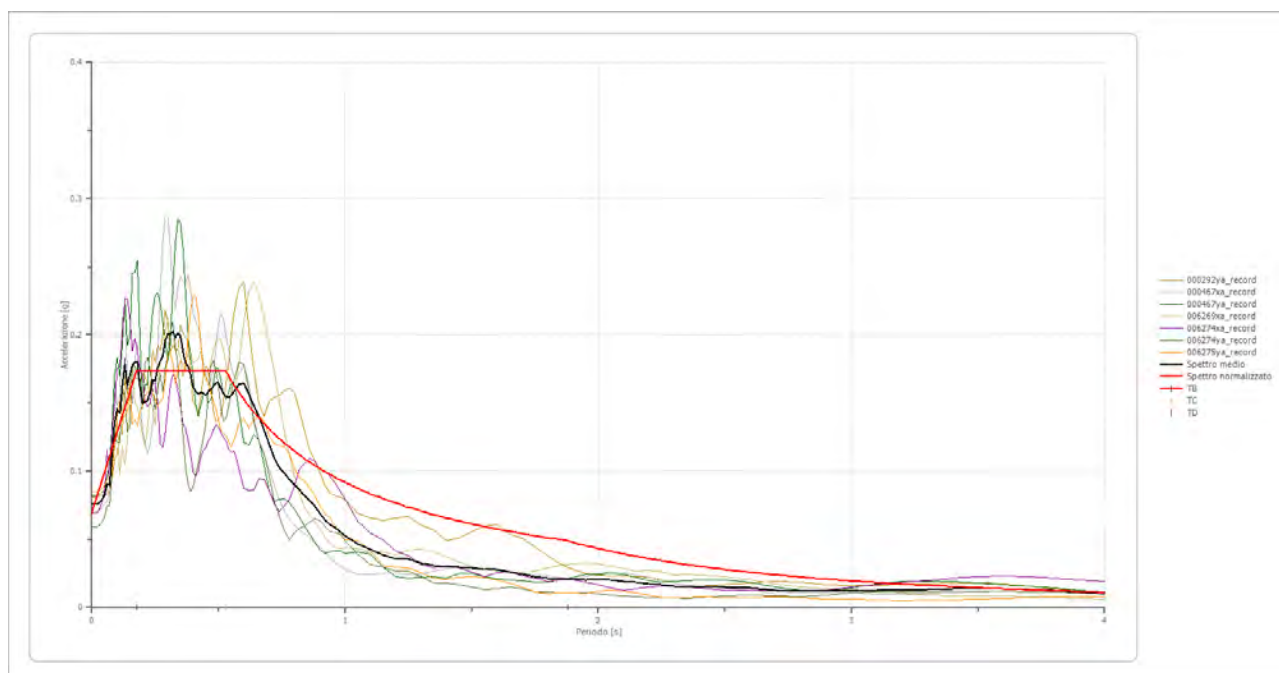


Fig.37: Spettri di output per ciascun accelerogramma considerato (SLO)

Pertanto l'analisi di RSL eseguita con tale metodologia ha restituito gli spettri in accelerazione delle componenti orizzontali per ogni accelerogramma preso in riferimento. Lo spettro medio di accelerazione al suolo (output) e lo spettro normalizzato, confrontato con lo spettro di normativa su categoria di sottosuolo C è riportato nella figura seguente:

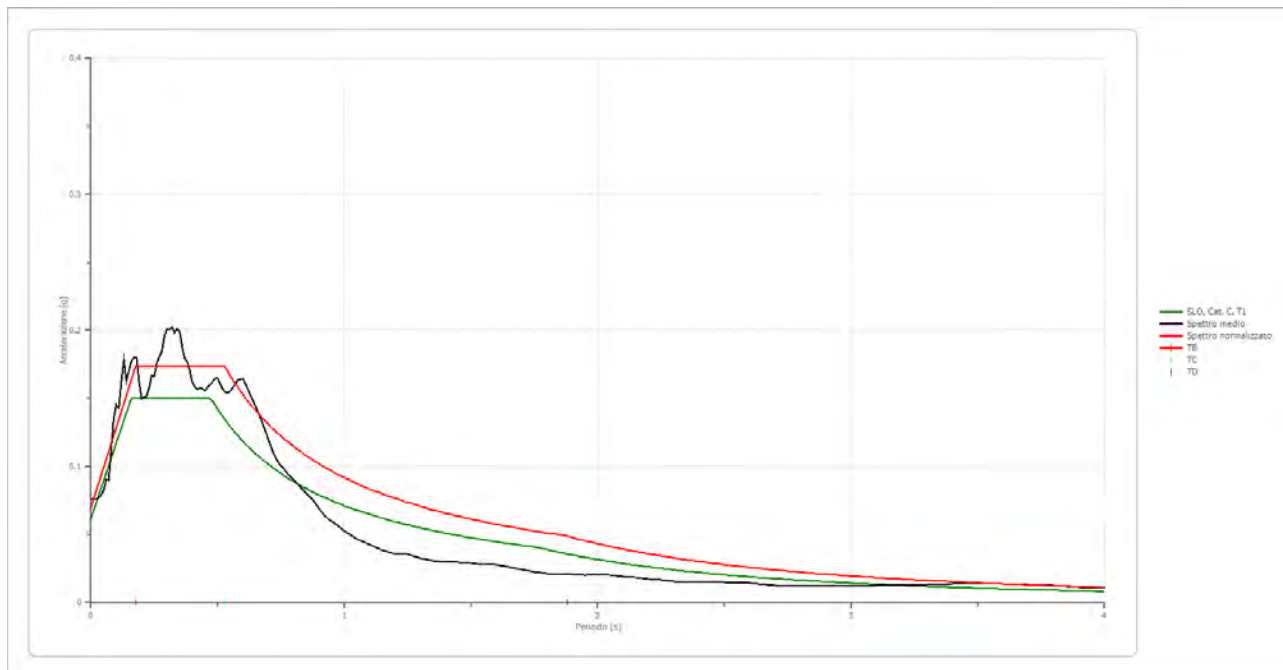


Fig.38: Confronto tra spettro medio di output e spettro normalizzato con lo spettro di normativa di cat. C (SLO)

I parametri tabellati dello **spettro normalizzato** sono i seguenti:

ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.070	2.494	0.528	0.176	0.528	1.878	0.070	0.174

FA= 1.761 FV 2.049

Spettro normalizzato di risposta elastico (SLO)

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0696	0.26	0.1735	0.52	0.1735	0.98	0.0936	2.25	0.0408
0.01	0.0755	0.27	0.1735	0.53	0.1730	1.00	0.0917	2.30	0.0399
0.02	0.0814	0.28	0.1735	0.54	0.1698	1.05	0.0873	2.35	0.0390
0.03	0.0873	0.29	0.1735	0.55	0.1667	1.10	0.0834	2.40	0.0382
0.04	0.0932	0.30	0.1735	0.56	0.1637	1.15	0.0797	2.50	0.0367
0.05	0.0991	0.31	0.1735	0.57	0.1609	1.20	0.0764	2.60	0.0353
0.06	0.1050	0.32	0.1735	0.58	0.1581	1.25	0.0734	2.70	0.0340
0.07	0.1109	0.33	0.1735	0.60	0.1528	1.30	0.0705	2.80	0.0327
0.08	0.1168	0.34	0.1735	0.62	0.1479	1.35	0.0679	2.90	0.0316
0.09	0.1227	0.35	0.1735	0.64	0.1433	1.40	0.0655	3.00	0.0306
0.10	0.1286	0.36	0.1735	0.66	0.1389	1.45	0.0632	3.10	0.0296
0.11	0.1345	0.37	0.1735	0.68	0.1348	1.50	0.0611	3.20	0.0287
0.12	0.1404	0.38	0.1735	0.70	0.1310	1.55	0.0592	3.30	0.0278
0.13	0.1463	0.39	0.1735	0.72	0.1274	1.60	0.0573	3.40	0.0270
0.14	0.1522	0.40	0.1735	0.74	0.1239	1.65	0.0556	3.50	0.0262
0.15	0.1581	0.41	0.1735	0.76	0.1206	1.70	0.0539	3.60	0.0255
0.16	0.1640	0.42	0.1735	0.78	0.1176	1.75	0.0524	3.70	0.0248
0.17	0.1699	0.43	0.1735	0.80	0.1146	1.80	0.0509	3.80	0.0241
0.18	0.1735	0.44	0.1735	0.82	0.1118	1.85	0.0496	3.90	0.0235
0.19	0.1735	0.45	0.1735	0.84	0.1092	1.90	0.0483	4.00	0.0229
0.20	0.1735	0.46	0.1735	0.86	0.1066	1.95	0.0470		
0.21	0.1735	0.47	0.1735	0.88	0.1042	2.00	0.0458		
0.22	0.1735	0.48	0.1735	0.90	0.1019	2.05	0.0447		
0.23	0.1735	0.49	0.1735	0.92	0.0997	2.10	0.0437		
0.24	0.1735	0.50	0.1735	0.94	0.0975	2.15	0.0426		
0.25	0.1735	0.51	0.1735	0.96	0.0955	2.20	0.0417		

Tabella 14: Valori tabellari dello spettro normalizzato

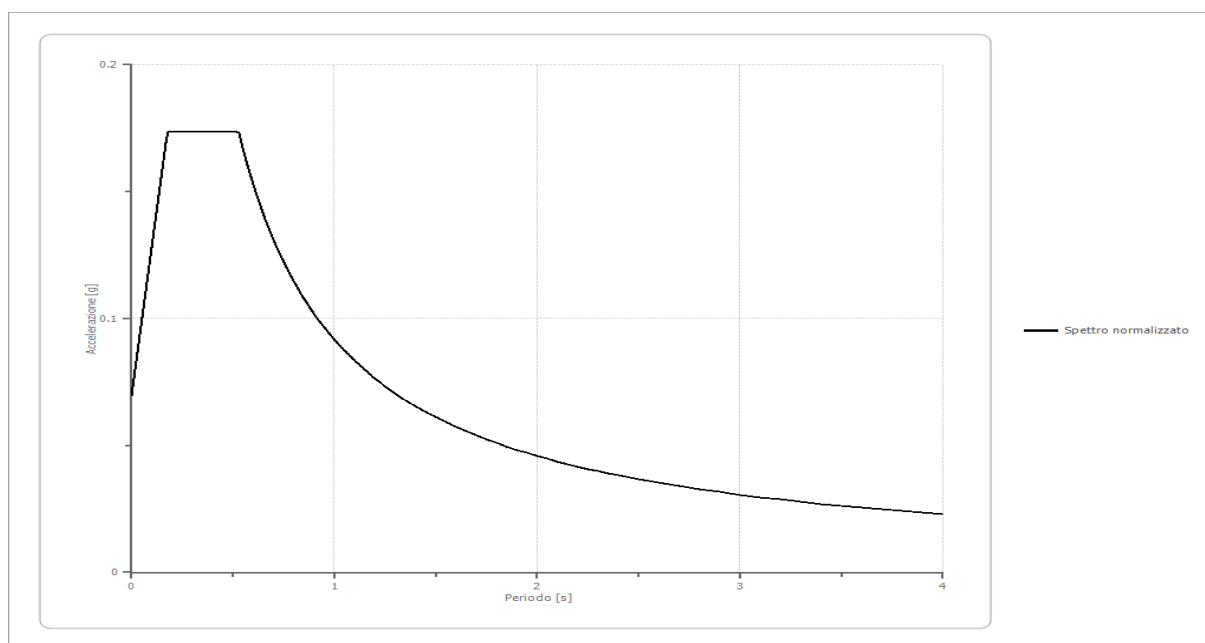


Fig.39: Spettro normalizzato di output (SLO)

Spettro medio di risposta elastico (SLO)

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0755	0.26	0.1759	0.52	0.1569	0.98	0.0556	2.25	0.0163
0.01	0.0755	0.27	0.1808	0.53	0.1547	1.00	0.0527	2.30	0.0154
0.02	0.0755	0.28	0.1845	0.54	0.1538	1.05	0.0468	2.35	0.0147
0.03	0.0767	0.29	0.1961	0.55	0.1554	1.10	0.0422	2.40	0.0146
0.04	0.0788	0.30	0.2004	0.56	0.1584	1.15	0.0383	2.50	0.0145
0.05	0.0820	0.31	0.2007	0.57	0.1607	1.20	0.0354	2.60	0.0139
0.06	0.0900	0.32	0.2023	0.58	0.1632	1.25	0.0353	2.70	0.0127
0.07	0.0899	0.33	0.1981	0.60	0.1645	1.30	0.0326	2.80	0.0117
0.08	0.1117	0.34	0.2014	0.62	0.1566	1.35	0.0306	2.90	0.0115
0.09	0.1358	0.35	0.1995	0.64	0.1483	1.40	0.0292	3.00	0.0121
0.10	0.1450	0.36	0.1875	0.66	0.1400	1.45	0.0293	3.10	0.0125
0.11	0.1427	0.37	0.1794	0.68	0.1305	1.50	0.0290	3.20	0.0127
0.12	0.1624	0.38	0.1767	0.70	0.1198	1.55	0.0279	3.30	0.0130
0.13	0.1784	0.39	0.1702	0.72	0.1100	1.60	0.0277	3.40	0.0134
0.14	0.1628	0.40	0.1618	0.74	0.1029	1.65	0.0262	3.50	0.0135
0.15	0.1702	0.41	0.1584	0.76	0.0983	1.70	0.0245	3.60	0.0135
0.16	0.1773	0.42	0.1563	0.78	0.0937	1.75	0.0224	3.70	0.0131
0.17	0.1799	0.43	0.1579	0.80	0.0903	1.80	0.0211	3.80	0.0124
0.18	0.1797	0.44	0.1568	0.82	0.0864	1.85	0.0208	3.90	0.0115
0.19	0.1621	0.45	0.1558	0.84	0.0821	1.90	0.0204	4.00	0.0105
0.20	0.1496	0.46	0.1581	0.86	0.0782	1.95	0.0203		
0.21	0.1508	0.47	0.1597	0.88	0.0744	2.00	0.0204		
0.22	0.1516	0.48	0.1620	0.90	0.0690	2.05	0.0200		
0.23	0.1581	0.49	0.1646	0.92	0.0643	2.10	0.0189		
0.24	0.1667	0.50	0.1644	0.94	0.0607	2.15	0.0180		
0.25	0.1663	0.51	0.1605	0.96	0.0582	2.20	0.0173		

Tabella 15: Valori tabellari dello spettro medio

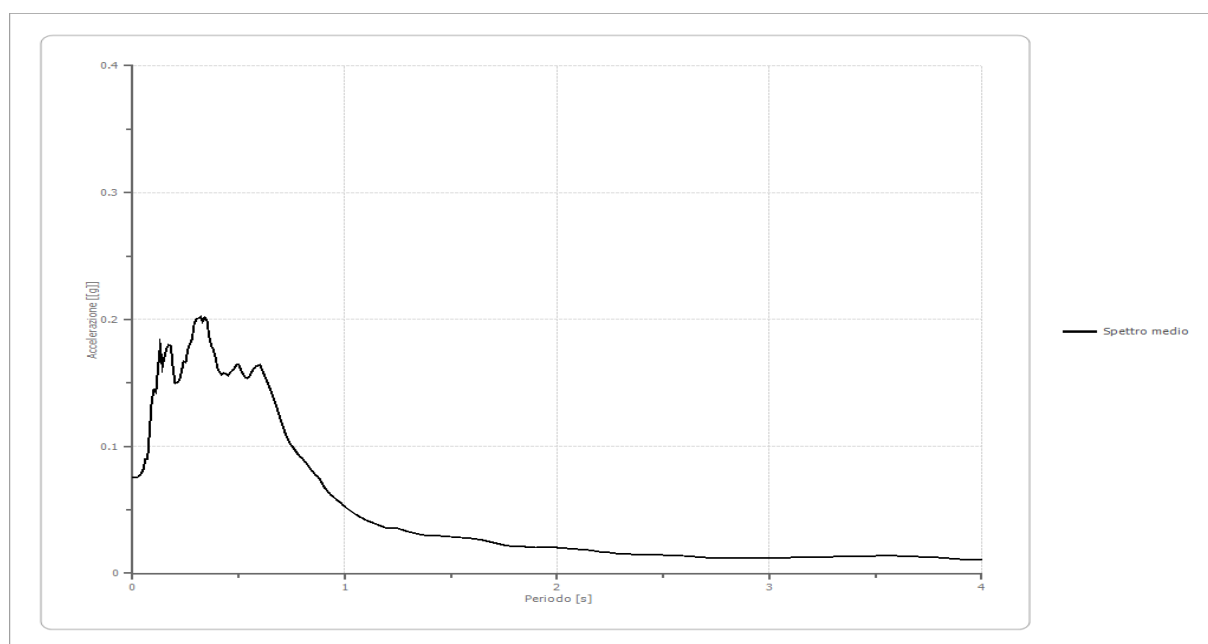


Fig.40: Spettro medio di output (SLO)

7. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI III LIVELLO E CONCLUSIONI

Lo studio di Risposta Sismica Locale, eseguito sul lotto interessato dal progetto in epigrafe, ha fornito quantificazioni numeriche monodimensionali delle amplificazioni locali ottenute mediante l'utilizzo di specifici codici di calcolo (RSLIII-Geostru); in particolare è stato definito lo spettro di scuotimento e di risposta per gli stati limite ultimo SLC ed SLV e di esercizio SLD e SLO a partire dalle caratteristiche della sorgente e del sottosuolo e sono effettuate stime probabilistiche della pericolosità sismica, trattando gli spettri di risposta a pericolosità costante e definendo il moto di riferimento. Lo Studio di Risposta Sismica Locale, a partire dai dati ottenuti attraverso una mirata campagna geognostica e geofisica, ha consentito inoltre la redazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, (Tav.6 All.1) in cui è stato possibile definire per la zona stabile soggetta ad amplificazione, oltre ai valori dei fattori di amplificazione (FA ed FV), anche lo spettro medio di risposta in pseudo-accelerazione o al 5% di smorzamento in superficie.

Infine, al solo fine di fornire dati congruenti, per la verifica delle costruzioni si potranno utilizzare i seguenti valori dei parametri richiesti $ag=ag_{max}$ riferita a ciascun stato limite considerato ed ottenuto mediante la RSL; $\xi=5\%$; $\eta=1$; $SS=1$; $ST=1$. Va sottolineato infatti che i valori di SS e ST (S) riportati in relazione sono evidentemente fittizi, essendo gli effetti di amplificazione stratigrafica e morfologica già messi in conto nei risultati delle analisi della RSL.

Dott. Geol. Antonio De Carlo

