




COMUNE DI ISERNIA

*Lavori di recupero funzionale e strutturale dell'Istituto scuola
Elementare e Materna "San Giovanni Bosco"*

Progetto Definitivo

Relazione sulla Pericolosità Sismica di Base ed Analisi Numerica



Elaborato nr 2 di 3	IL RUP Ing. Antonio Ricchiuti	IL GEOLOGO: Dott.ssa Antonella Laurelli
Luglio 2019 Rev. Gennaio 2020		
Consulenza per Analisi Numerica Dot. Geol. Domenico Angelone		

Città di Isernia

Lavori di recupero funzionale e strutturale dell'istituto scuola elementare e materna "San Giovanni Bosco"

Progetto Definitivo

Relazione sulla Pericolosità Sismica di Base Analisi Numerica

INDICE

1. ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	2
1.1 Zonazione sismica ZS9.....	2
1.2 Descrizione delle zone sorgenti del Molise.....	6
1.3 Sismicità del Comune di Isernia.....	6
2. NORMATIVA NAZIONALE E VERIFICHE SISMICHE : SPETTRO ELASTICO (§ 3.2 e § 7.3 NTC 2018).....	9
2.1. Fase 1: individuazione della pericolosità del sito.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
2.2. Fase 2: Scelta Della Strategia Di Progettazione.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
2.3. Fase 3: Determinazione dell'azione di Progetto	Errore. Il segnalibro non è definito.
3. AZIONE DI PROGETTO : SPETTRI DI RISPOSTA NORMATIVIErrore. Il segnalibro non è definito.	
4. RSL E ANALISI NUMERICA SULLA BASE DELLE INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITEErrore. Il segnalibro non è definito.	
4.1 Informazioni di sintesi di input.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.2 Modello Sismico Locale.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.2 Modello Sismostratigrafico utilizzato	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.3 Il Terremoto di riferimento	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.4 Curve del Modulo di Taglio e del rapporto di smorzamento	Errore. Il segnalibro non è definito.
5. MODELLO DI CALCOLO E RISPOSTA SISMICA LOCALE DEL SITOErrore. Il segnalibro non è definito.	
5.1 Forme Spettrali per lo Stato Limite SLO.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
5.2 Forme Spettrali per lo Stato Limite SLD.....	Errore. Il segnalibro non è definito.

1. ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

1.1 Zonazione sismica ZS9

Fino al 2002 la zonazione sismo genetica ZS4 (fig. 1) ha rappresentato il punto di riferimento per la maggior parte delle valutazioni di pericolosità sismica nell'area italiana. Gli sviluppi più recenti delle conoscenze in materia di sismogenesi hanno evidenziato alcune inconsistenze in tale modello di zonazione, a cui nel 1999 si è aggiunta una non completa coerenza con il catalogo CPTI (pubblicato in quell'anno da Gruppo di lavoro CPTI); inoltre a causa delle ridotte dimensioni delle zone sismo genetiche, anche utilizzando questo catalogo il campione di terremoti disponibili per molte delle zone sismo genetiche è scarso, tale da rendere instabili le stime dei ratei di simicità.

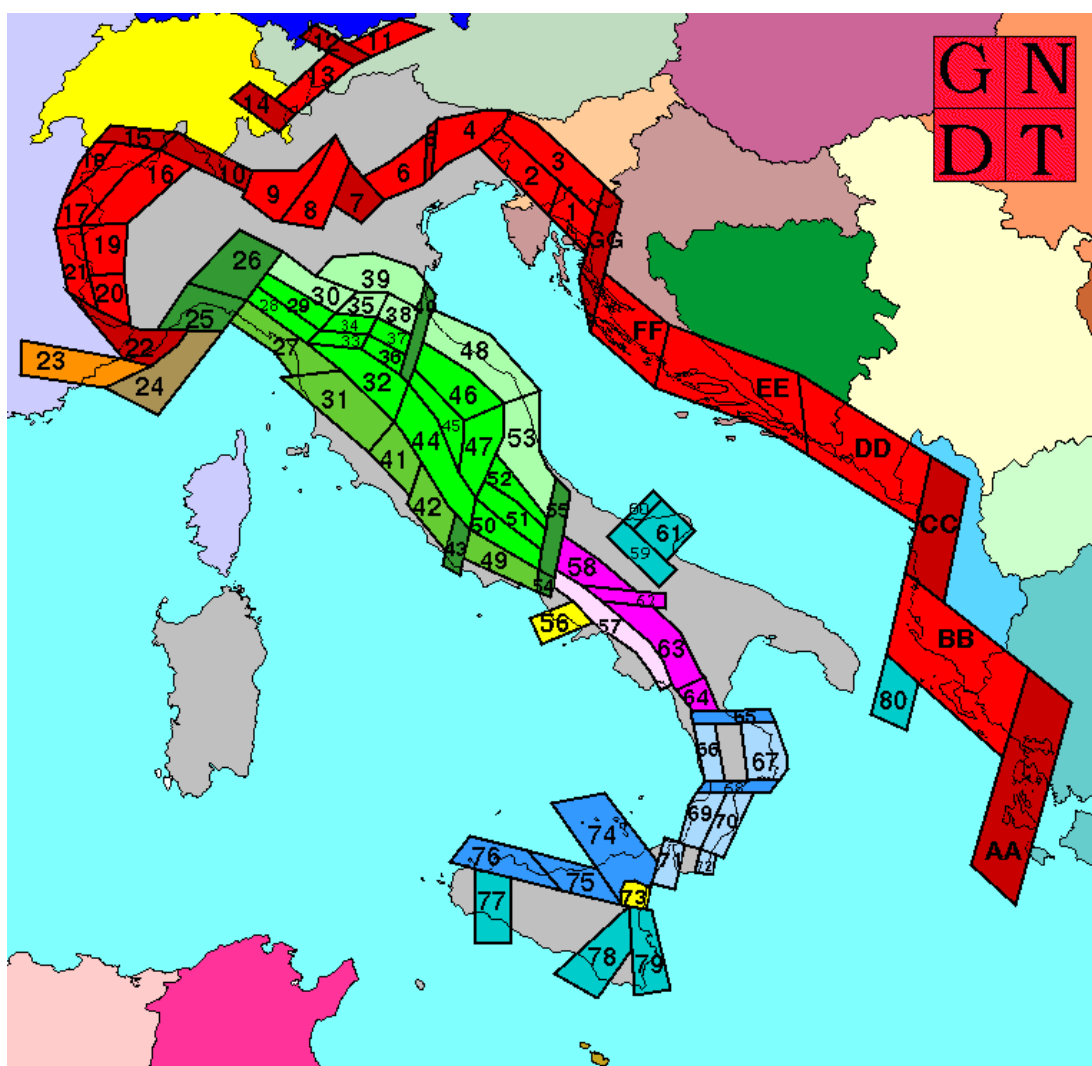


Figura 1 – Zonazione Sismogenetica ZS4

Legenda della zonazione sismogenetica ZS.4 (aprile 1996)

A. Zone di interazione tra piastra adriatica e piastra europea (Alpi e Sudalpino) e zone di interazione tra piastra adriatica e sistema dinarico (Dinaridi ed Ellenidi fino allo svincolo di Cefalonia). L'asse di compressione massima, suborizzontale segue i vettori di spostamento dell'indenter insubrico.



1.1. Aree con meccanismi di rottura attesi di tipo thrust e transpressivi



1.2. Aree di svincolo, con meccanismi di rottura attesi di tipo transpressivo o strike-slip

B. Zone legate al margine interno della piastra padano-adriatico-ionica in subduzione sotto la catena appenninica.



2.1. Fascia padano-adriatica in compressione. Meccanismi di rottura attesi: thrust e strike-slip



2.2. Fascia intermedia. Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di dip-slip



2.3. Fascia tirrenica in distensione. Meccanismi di rottura attesi: dip-slip



2.4. Zone di svincolo (transfer). Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di strike-slip.

Non è ancora definitivamente chiarito se l'Arco Calabro appartiene a questo gruppo o al gruppo 3. Nella prima ipotesi:



2.5.a. Fasce sismogenetiche longitudinali. Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di dip-slip



2.5.b. Zone di svincolo. Meccanismi di rottura attesi: strike-slip

C. Zone legate al recente sollevamento della catena appenninica, successivo ad una lunga storia di migrazione spazio-temporale del sistema catena-avampaese.



3.1. Fascia appenninica principale. Meccanismi di rottura attesi: dip-slip e subordinatamente strike-slip



3.2. Margine tirrenico. Meccanismi di rottura attesi: dip-slip

D. Zone legate ad un regime compressivo giovane impostato su un precedente regime distensivo.



4.1. Mar Ligure. Meccanismi di rottura attesi: thrust e strike-slip



4.2. Liguria occidentale. Meccanismi di rottura attesi: strike-slip e transpressione

E. Zone di rottura all'interno della piastra di avampaese e lungo i suoi margini in flessione.



5. Belice, Iblei, Scarpata Ibleo-Maltese, Gargano-Tremi, Canale d'Otranto. Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di dip-slip nelle aree di flessura e lungo la scarpata di Malta e di strike-slip nelle altre

F. Zone vulcaniche



6. Ischia-Flegrei, Vesuvio ed Etna, con terremoti molto superficiali. Meccanismi di rottura attesi per i terremoti meno superficiali: dip-slip per l'area campana e misti (dip-slip e strike-slip) per l'Etna

Figura 1 Legenda alla figura 1

Per superare questo stato di cose e rendere disponibile, nel breve tempo a disposizione, una zonazione utilizzabile, si è convenuto di disegnare una nuova zonazione, denominata ZS9 (fig.3), che soddisfacesse i seguenti requisiti:

- Essere basata prevalentemente sul background informativo e sull'impianto generale di ZS4, che deriva dall'approccio cinematico all'elaborazione del modello sismotettonico;
- Ricepire le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 2.0 (Database of Potential Sources for Earthquake Larger

than M5.5 in Italy, Valensise e Pantosti, 2001) e da altre compilazioni regionali di faglie attive;

- Considerare le indicazioni e gli spunti che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali (tra gli altri Bormio 2000, Monferrato 2001, Merano 2001, Palermo 2002, Molise 2002) localizzati al di fuori delle zone-sorgente in essa definite;
- Superare il problema delle ridotte dimensioni delle zone-sorgente e della conseguente limitatezza del campione di terremoti che ricade in ciascuna di esse;
- Essere utilizzabile in congiunzione con il nuovo catalogo CPTI2 utilizzato per i calcoli dei tassi di sismicità all'interno di questo progetto (ZS4 era stata tracciata anche sulla base del quadro di sismicità storica che derivava da NT.4);
- Fornire una stima di profondità "efficace", definita come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona-sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale;
- Fornire per ogni ZS un meccanismo di fagliazione prevalente utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

La zonazione sismogenetica ZS9 è il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e dell'introduzione di nuove zone. L'obiettivo di questa ricerca è stato la realizzazione di un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismotettonico oggi disponibile. Il riferimento all'impianto di ZS4 è giustificato dal fatto che lo schema geodinamico e sismotettonico su cui fu fondata la redazione di questo modello nella prima metà degli anni '90 (Meletti et al. 2000) è ritenuto nelle sue linee generali tuttora valido. Quanto sopra chiarisce che con ZS9 non si è inteso introdurre drastici elementi di novità in riferimento al quadro cinematico generale su cui si basava ZS4. Il vero elemento di novità, oltre naturalmente al catalogo sismico di cui si è detto ampiamente nella sezione precedente, è rappresentato dall'introduzione delle conoscenze più recenti sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche. Negli ultimi anni, infatti, la quantità di informazioni sulla sismogenesi del territorio italiano (sia per quanto riguarda gli aspetti geometrici delle sorgenti che per quanto attiene il loro comportamento atteso) è notevolmente aumentata rispetto a quella disponibile nel periodo in cui i ricercatori procedevano alla realizzazione di ZS4.

Tali conoscenze rappresentano uno degli elementi chiave per il tracciamento delle nuove zone.

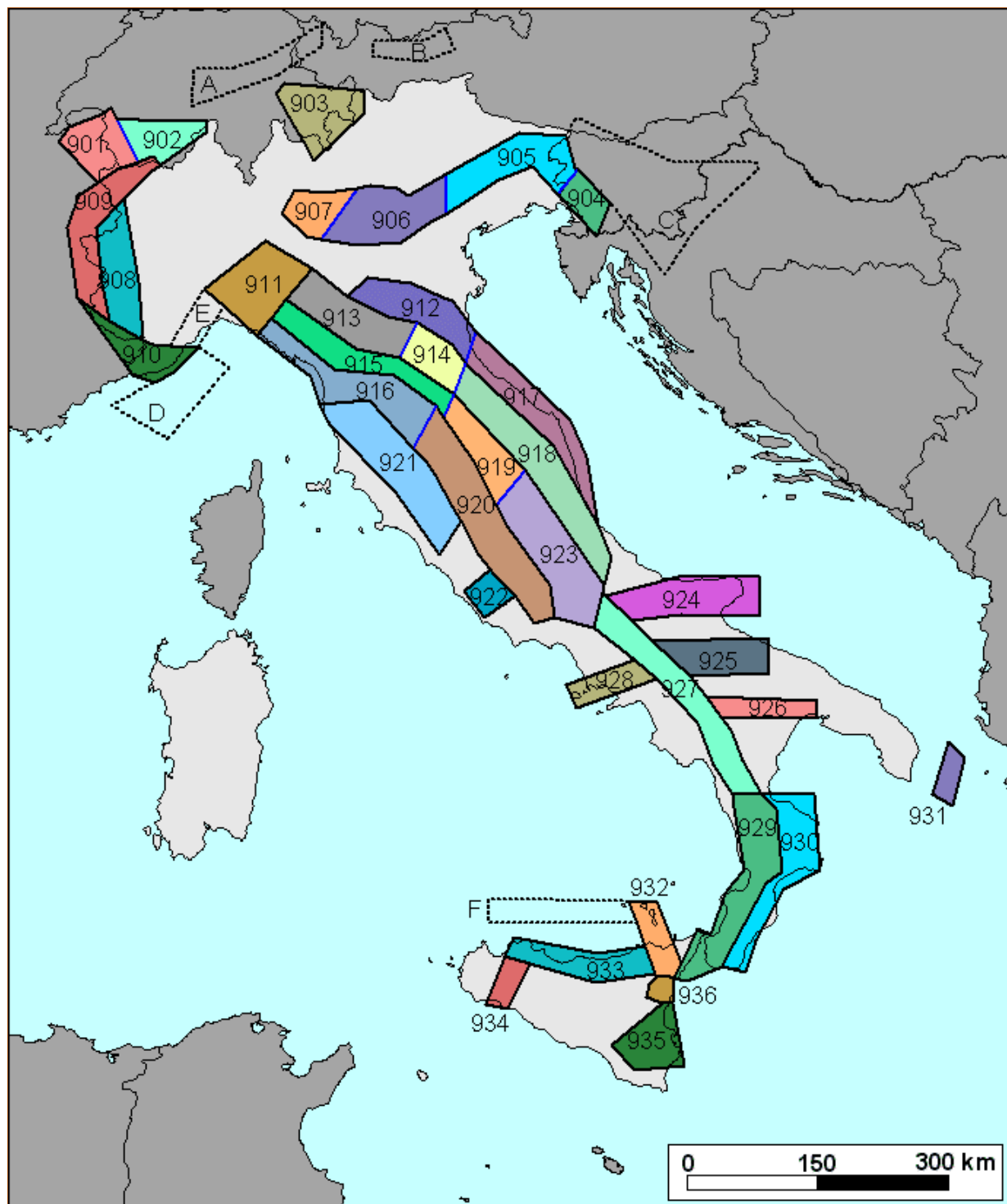


Figura 2 Zonazione sismogenetica ZS9. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica. Il colore delle zone non è significativo

1.2 Descrizione delle zone sorgenti del Molise

Di seguito si riporta un estratto dal nuovo database delle sorgenti sismogenetiche dell'INGV visualizzabile all'indirizzo: <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>

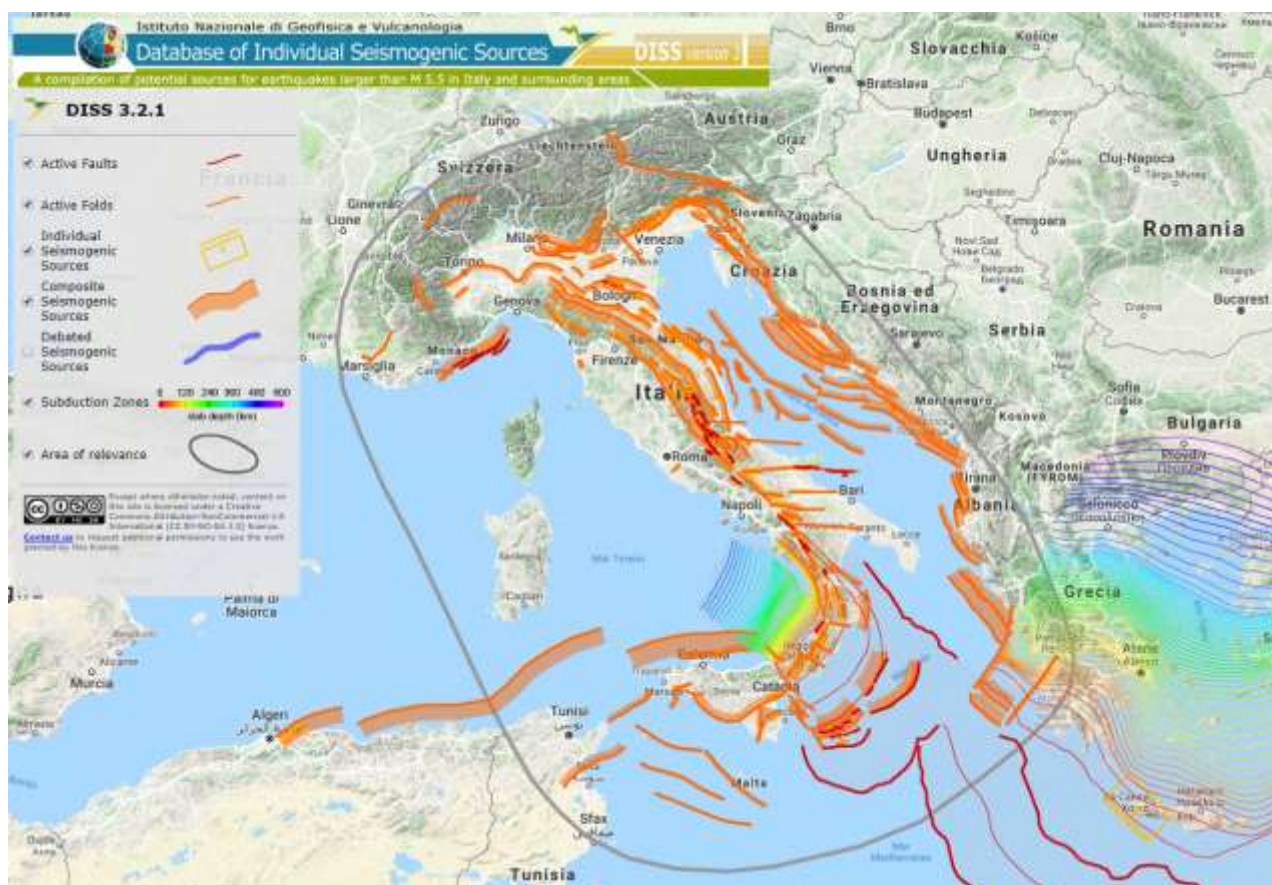


Figura 3 ubicazione del Comune di Isernia all'interno della zonazione del nuovo database DISS 3.2.0

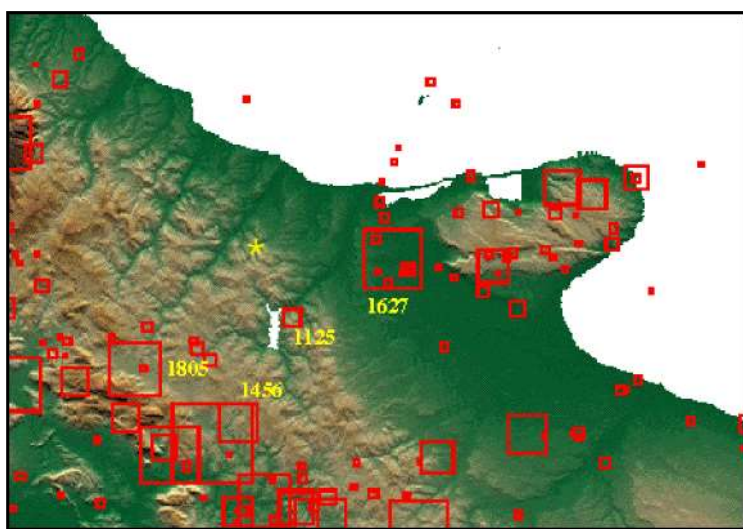
1.3 Sismicità del Comune di Isernia

Di seguito vengono indicati gli eventi sismici di interesse per la regione molisana, secondo quanto riportato nei diversi cataloghi pubblicati e all'interno di lavori a carattere macrosismico.

Anno	Mese	Giorno	Zona epicentrale	MCS	Ms
346			Sannio	?	
848	06		Campania-Molise	X	
990	10	25	Conza della Campania	IX-X	
1120			Larino	IX	5.5

Anno	Mese	Giorno	Zona epicentrale	MCS	Ms
1231	06	01	Montecassino	VIII-IX	5.9
1293	09		Bojano	VIII	5.9
1349	09	09	S. Elia	X	6.7
1456	12	5-30	Beneventano, Molise, Maiella	X-XI	6.7
1688	06	05	Matese	XI	7.3
1702	03	14	Baronia	X	6.4
1706	11	03	Maiella	IX-X	6.4
1712	05	08	Campobasso	VI-VII	4.7
1732	11	29	Ariano Irpino	X	6.4
1805	07	26	Frosolone	XI	6.7
1825	10	27	Monteroduni	VI	4.4
1831	11	23	Bojano	VI	4.4
1873	12	13	Venafro	VII	5.0
1875	12	06	S. Marco in L.	VIII	5.2
1885	12	26	Campobasso	VII-VIII	5.0
1913	10	04	Vinchiaturò	VIII	5.2
1914	12	19	S. Agapito	VII	5.0
1915	01	13	Avezzano	XI	7.0
1930	07	23	Irpinia	X	6.7
1962	08	21	Irpinia-Sannio	IX	6.2
1980	11	23	Irpinia-Lucania	IX-X	6.9
1984	05	07	Alfedena	VII	4.9
1997	03	19	Sassinoro	VI-VII	4.6
2002	10	31	San Giuliano di Puglia	VIII-IX	5.4

Tab. 1 - Eventi sismici storici di interesse per la regione molisana (MCS = Intensità MCS all' epicentro, Ms= Magnitudo calcolata sulle onde superficiali).



Schema rappresentativo dei sismi storici registrati nell'Italia Centro-Meridionale.
Tratta dagli elaborati redatti dall'INGV.

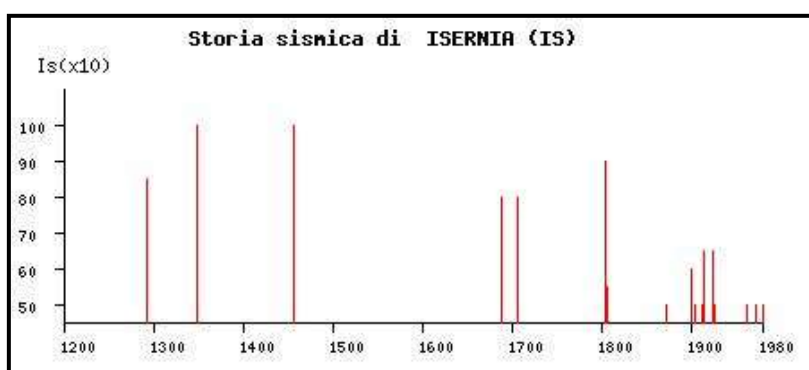


Grafico rappresentante gli eventi sismici e la loro intensità macrosismica verificatisi nella zona Molisana e zone limitrofe, dal 1280 ad oggi

Le intensità sono state valutate nella scala MCS (Mercalli-Cancani-Siedberg), sulla base dei danni riportati nella documentazione storica, e sono sempre riferite alla zona epicentrale. La magnitudo M_s , invece, è relativa alle onde superficiali ed è stata determinata mediante apposite formule di correlazione intensità-magnitudo, tranne per gli ultimi cinque eventi per cui è presente il dato strumentale.

Come si può notare, in un arco di tempo poco superiore al migliaio di anni, almeno una decina di eventi di intensità epicentrale pari o superiore al X grado MCS e magnitudo superiore a 6 M_s hanno interessato l'Appennino centro-meridionale. Tuttavia, i risentimenti nell'area in esame sono stati molto diversi a seconda della distanza dall'area epicentrale e dell'orientazione della struttura sismogenetica che ha causato il sisma.

Secondo i dati a disposizione, risulta che i massimi risentimenti nell'area in studio sono stati dell'ordine del IX grado MCS e si sono avuti in corrispondenza degli eventi sismici del 1456, del 1688 e del 1805. In particolare, se viene applicata la distribuzione di

Weibull all'area Irpinia-Sannio-Matese, risulta che il tempo di ritorno medio per terremoti di intensità maggiore o uguale al IX grado è pari a 20 ± 12 anni.

La pericolosità sismica di un territorio è funzione di un complesso insieme di parametri naturali e rappresenta la probabilità che un evento sismico di data intensità si manifesti in una certa area ed in un determinato intervallo di tempo. Diverso, invece, è il concetto di rischio sismico, che è il risultato catastrofico dell'evento naturale sul sistema antropico. Affinché si abbia rischio è necessario che uno o più degli elementi antropici esposti (vite umane, attività, beni ecc.) possieda un carattere di vulnerabilità tale da determinarne la perdita parziale o totale.

Oltre alla conoscenza della probabilità di accadimento di un evento sismico, delle caratteristiche della sorgente sismogenetica e delle modalità di propagazione della perturbazione, è necessario analizzare le caratteristiche locali del sito di studio; queste, infatti, condizionano la reazione del terreno all'*input* sismico in termini di variazione del contenuto in frequenza del segnale, amplificazione/smorzamento dell'onda e perdita o modificazione delle sue caratteristiche di resistenza e deformabilità.

Tale analisi è stata effettuata mediante Risposta Simica Locale e trattata di seguito.

2. NORMATIVA NAZIONALE E VERIFICHE SISMICHE: SPETTRO ELASTICO (§ 3.2 e § 7.3 NTC 2018)

In base alla Legge Regionale n. 13 del 20 Maggio 2004 e n. 21 del 18 Ottobre 2004 riguardanti la *“Riclassificazione sismica del territorio regionale e nuova normativa sismica”* e alla luce della Deliberazione del Consiglio Regionale del 20 Settembre 2006 n. 194 che dispone la *Riclassificazione sismica del territorio regionale - Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche - Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519/2006, recante “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*, il Comune di Isernia risulta appartenere alla seguente zona sismica dotata di un valore di a_g = accelerazione orizzontale massima pari a (Delib. Cons. Reg. n. 194/2006):

Comune	Zona	Valore di a_g
Isernia	1	0.250 g

Rispetto a quanto disposto dalle NTC 2008: la determinazione delle azioni sismiche (allegati A e B delle NTC) non avviene più dalla definizione di “Zone Sismiche”, poiché il territorio di un determinato comune può presentare effetti al suolo differenti a causa delle differenti litologie presenti, morfologia, caratteri strutturali etc.

La conoscenza della storia sismica del luogo concorre - inoltre - in maniera significativa alla stima delle accelerazioni di picco al suolo (a_g), dei fattori di amplificazione degli spettri (F_0) e dei periodi T_c^* , parametri da cui dipende lo spettro di risposta usato nella determinazione delle azioni sismiche. Il valore di a_g è il valore previsto dalla *pericolosità sismica di base* cioè in condizioni ideali, vale a dire sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC); esso è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento fornita dall'INGV e riportata nell'all. B alle NTC.

I valori di F_0 e di T_c^* sono invece ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica di base (minimi quadrati).

La norma sismica del 2008 introduce altresì diversi stati limite, ai quali associa una certa probabilità di superamento come di seguito indicato:

STATO LIMITE	PROBABILITA'
Stato limite di operatività (SLO)	0.81
Stato limite di danno (SLD)	0.63
Stato limite di salvaguardia di vite umane (SLV)	0.10
Stato limite di collasso (SLC)	0.05

e presuppone che venga stabilito il periodo di ritorno dell'evento sismico relativo allo stato limite di interesse specifico, pertanto, per la costruzione di progetto, occorre verificare quale livello di intensità sismica corrisponda a quel periodo di ritorno nel luogo geografico specifico.

Nell'allegato B al NTC sono riportati i valori di 10751 punti secondo un reticolato omogeneo che copre tutto il territorio nazionale con una maglia quadrata con lato di circa 5.5 km dalla quale è possibile interpolare il valori relativi del sito specifico con sufficiente precisione, secondo le procedure riportate nell'allegato A delle NNS:

“per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento i valori dei parametri di interesse per la definizione della azione sismica di progetto possono

essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame”.

A tal riguardo l'azione sismica è suddivisa in 3 fasi distinte e consequenziali:

- fase 1: individuazione della pericolosità del sito;
- fase 2: scelta della strategia di progettazione;
- fase 3: determinazione dell'azione di progetto.

FASE 1: INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

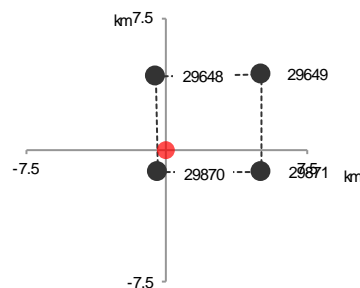
L'area individuata dal progetto proposto ricade nel Comune di Isernia ed è individuato dalle seguenti coordinate geografiche (area centrale dell'intervento):

$$\text{LAT:} = 41,5948^\circ \quad \text{LONG.} = 14,2312^\circ$$

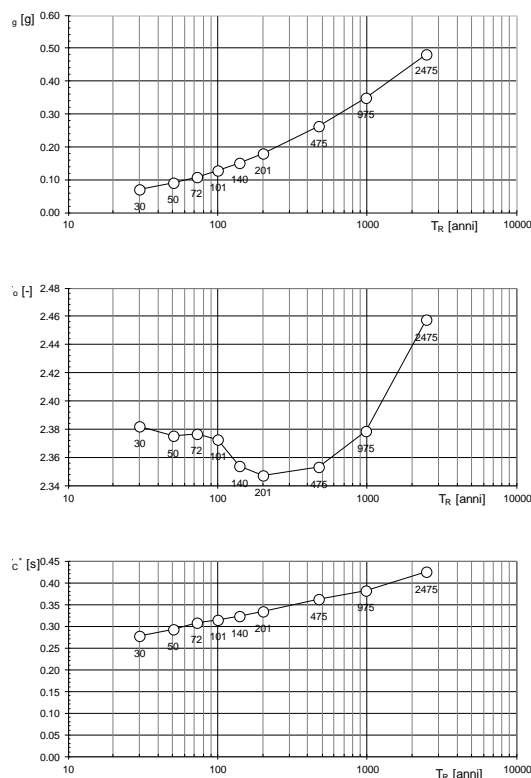
Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R	a_g	F_0	T_C^*
[anni]	[g]	[-]	[s]
30	0.071	2.382	0.277
50	0.092	2.375	0.292
72	0.109	2.376	0.308
101	0.129	2.366	0.315
140	0.152	2.348	0.323
201	0.181	2.342	0.334
475	0.263	2.350	0.361
975	0.349	2.381	0.382
2475	0.482	2.460	0.424

Nodi del reticolo intorno al sito



Valori dei parametri a_g , F_w , T_C : variabilità col periodo di ritorno T_R



FASE 2: SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione in anni: $V_N = 50$ (§ 2.4.1 NTC-18)

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I delle NTC-18 e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U .

$$V_R = V_N * C_U \quad (\text{NTC-18 Eq. 2.4.1})$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella Tab. 2.4.II delle NTC-18.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

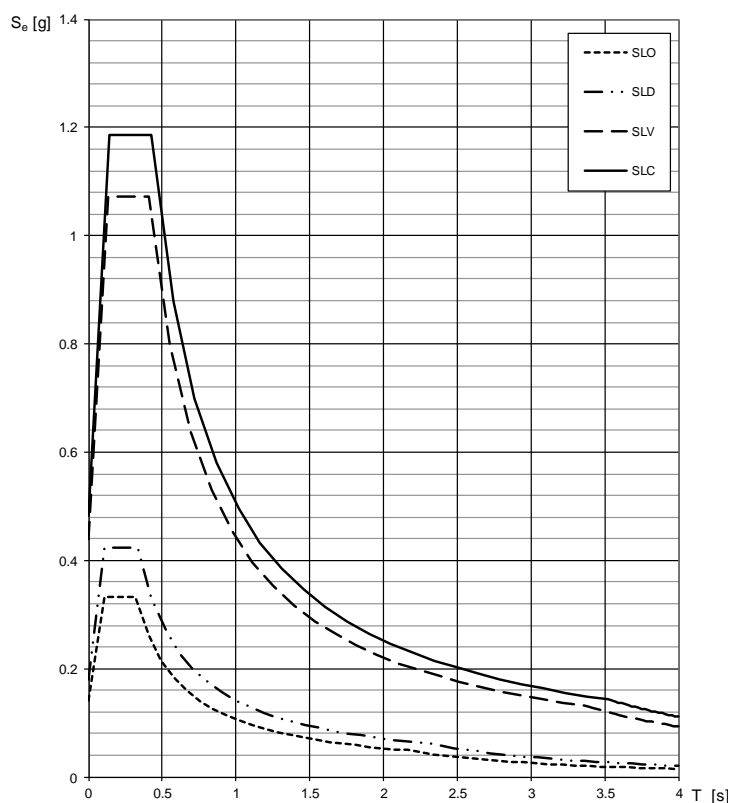
CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Posto quindi $V_R=75$ si ottengono i seguenti valori dei parametri a_g , F_0 , T_c per i periodi di ritorno associati a ciascuno SL:

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0.141	2.362	0.319
SLD	201	0.180	2.347	0.334
SLV	1898	0.440	2.435	0.412
SLC	2475	0.482	2.457	0.424

ed i seguenti Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



FASE 3: DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Per tale fase, per la quale sarà stabilito uno stato limite ben preciso ed i fattori di struttura, si tenga presente che l'area in esame è da considerarsi in **categoria C** (Tab. 3.2II delle NTC-18), come indicato dalle prove down hole eseguite in sito, le quali hanno evidenziato la presenza di un substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) alla profondità di 20 metri dal piano campagna nel sondaggio S7L e valore della velocità di taglio equivalente così distribuita:

- inferiore a 360 m/s nel foro S8L (349 m/s);
- prossima alla soglia dei 360 m/s normativi in S6L ($V_{seq} = 362$ m/s);
- superiore a 360 m/s nel foro S7L (406 m/s), per effetto della presenza del substrato sismico a 20 metri dal p.c.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

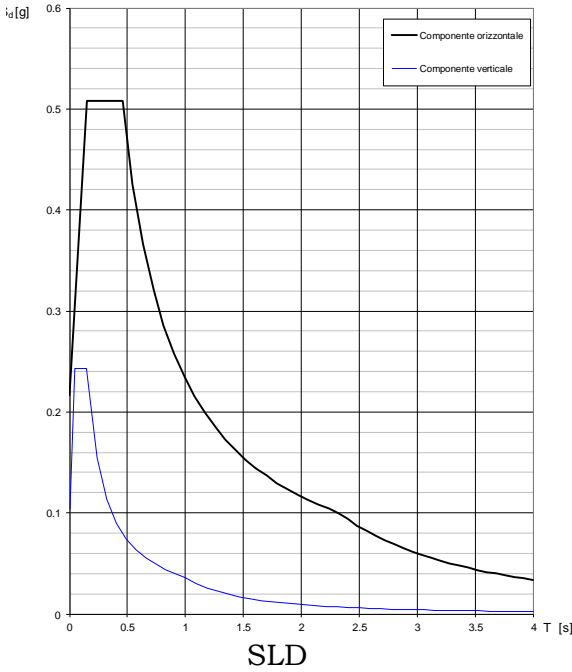
Riguardo le condizioni topografiche (§ 3.2.2 NTC-18), come stabilito secondo la Tab. 3.2.III delle NTC-18, è necessario distinguere l'intervento in base alla sua collocazione morfologica, pertanto al sito in esame è assegnato un **valore T1**.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	<i>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$</i>
T2	<i>Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$</i>
T3	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$</i>
T4	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$</i>

AZIONE DI PROGETTO: SPETTRI DI RISPOSTA NORMATIVI

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD



COMPONENTE ORIZZONTALE
Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD	
a_g	0.180	g
F_0	2.347	
T_C^*	0.334	s
S_S	1.446	
C_C	1.507	
S_T	1.000	
q	1.000	

Parametri dipendenti

S	1.446
h	1.000
T_B	0.168 s
T_C	0.504 s
T_D	2.320 s

COMPONENTE VERTICALE
Parametri indipendenti

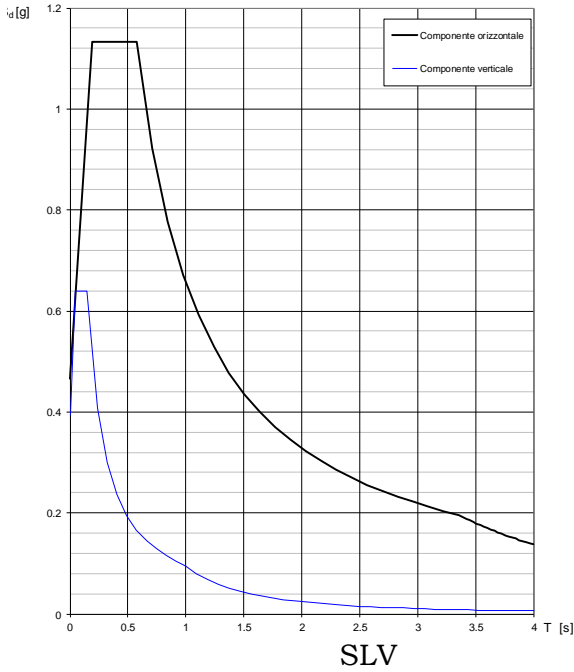
STATO LIMITE	SLD	
a_{gv}	0.103	g
S_S	1.000	
S_T	1.000	
q	1.000	
T_B	0.050	s
T_C	0.150	s
T_D	1.000	s

Parametri dipendenti

F_v	1.344
S	1.000
h	1.000

SLD

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



COMPONENTE ORIZZONTALE
Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV	
a_g	0.440	g
F_0	2.435	
T_C^*	0.412	s
S_S	1.058	
C_C	1.407	
S_T	1.000	
q	1.000	

Parametri dipendenti

S	1.058
h	1.000
T_B	0.193 s
T_C	0.579 s
T_D	3.358 s

COMPONENTE VERTICALE
Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV	
a_{gv}	0.393	g
S_S	1.000	
S_T	1.000	
q	1.500	
T_B	0.050	s
T_C	0.150	s
T_D	1.000	s

Parametri dipendenti

F_v	2.179
S	1.000
h	0.667

SLV

RSL E ANALISI NUMERICA SULLA BASE DELLE INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE

Gli effetti di sito sono da intendersi come l'insieme delle modificazioni in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad un basamento rigido ($V_s > 800$ m/s), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino a raggiungere il suolo.

La rappresentazione di un moto sismico può essere espressa sia nel dominio dei tempi che delle frequenze. Nel dominio dei tempi, i parametri più frequentemente utilizzati per descrivere le caratteristiche di un terremoto sono il valore massimo (o di picco) di accelerazione, velocità e spostamento e la durata dell'evento.

Le modificazioni del segnale sismico dipendono in massima parte dalle proprietà meccaniche e dalle caratteristiche geometriche dei terreni attraversati. Conoscendo il segnale di input al *bedrock* si è in grado di ricostruire il segnale in superficie, note le proprietà elastiche e meccaniche dei terreni di copertura.

Il parametro più significativo è il Fattore di Amplificazione, ottenuto come rapporto tra l'indice di Housner (1959) in superficie ed al bedrock (outcrop); questo è rappresentato dallo spettro della PSV ed indica in maniera quantitativa quali componenti del moto sismico sono state amplificate nel passaggio attraverso il terreno, quali sono state smorzate ed in quale rapporto. Nel dominio delle frequenze si utilizzano inoltre lo Spettro di Fourier e lo Spettro di risposta.

INFORMAZIONI DI SINTESI DI INPUT

L'ubicazione dell'area indagata è caratterizzata da un complesso fluviolacustre caratterizzato da alternanze di argille limose e limo sabbiose e livelli di ghiaie argillose e sabbie limo argillose, ed è localizzata in pieno centro cittadino, laddove le morfologie sono da considerarsi pianeggianti o comunque con pendenze inferiori ai 15° (T=1 cfr. §3.2.2 NTC-18).

La localizzazione geografica del punto di studio è individuato dalle seguenti coordinate geografiche assolute: LAT: = $41,5948^\circ$ LONG. = $14,2312^\circ$

Viste le finalità dell'opera da realizzare, l'analisi è stata condotta considerando le seguenti caratteristiche:

Tipo di costruzione: 3 - con vita nominale $V_n \geq 50$ anni

Classe d'uso: III - con coefficiente $C_u = 1.5$

Tipo di suolo: C

Coefficiente topografico: T1

Stati limite considerati: SLO - SLD - SLV

Nella modellazione del sito si è tenuto conto del fatto il bedrock sismico ($v_s > 800$ m/s) è stato intercettato alla profondità di 20 metri dal p.c. solo in S7L pertanto ai fini di questa trattazione è stato fatto riferimento a tale substrato locale relativamente al modello derivante da questo sondaggio



Foto aerea dell'area indagata

MODELLO SISMICO LOCALE

In relazione al modello sismico del sito specifico si fa riferimento esplicito alle prove sismiche Down Hole eseguite nei sondaggi denominati S6L – S7L – S8L ed ubicati come di seguito riportato.

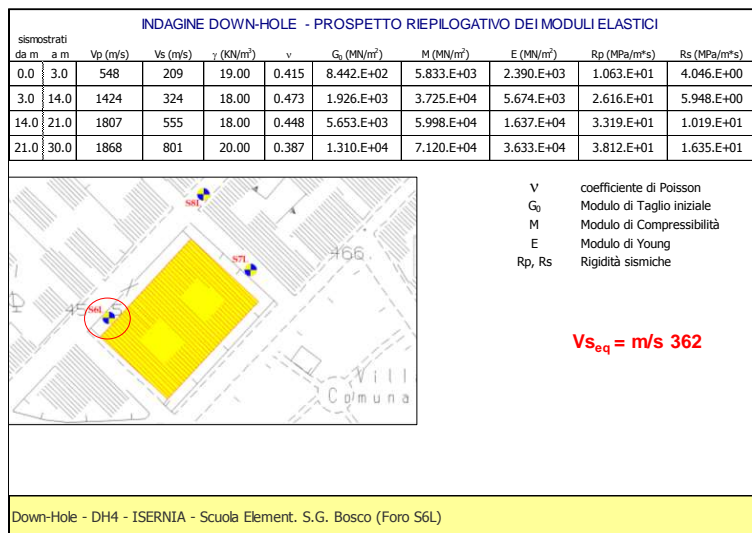


Giova ricordare che tali sondaggi furono realizzati proprio per la valutazione della vulnerabilità sismica dello stesso edificio scolastico “San Giovanni Bosco” (e di quello adiacente Giovanni XXIII).

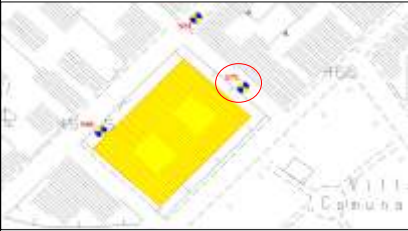
Le valutazioni di allora, erano rapportate alla normativa vigente, superata poi dall'entrata in vigore delle NTC 2008 e 2018.

Tanto premesso si è reso opportuna una rielaborazione delle prove Down Hole a partire dai dati grezzi, al fine di valutare gli effetti introdotti da una discretizzazione del modello di sottosuolo rispetto ad una distribuzione continua (metro per metro) dei vari sismostrati.

Nelle valutazioni successive, le condizioni al suolo sono da rapportarsi alla Risposta Sismica Locale eseguita mediante simulazione numerica, sebbene solo a titolo indicativo si sia proceduti secondo il metodo speditivo, consentito dalla norma solo per costruzioni di modesta entità costruttiva mediante categoria di suolo derivante da V_{seq} .



INDAGINE DOWN-HOLE - PROSPETTO RIEPILOGATIVO DEI MODULI ELASTICI										
sismostrati		Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ (KN/m ³)	ν	G ₀ (MN/m ²)	M (MN/m ²)	E (MN/m ²)	Rp (MPa/m*s)	Rs (MPa/m*s)
da m	a m									
0.0	3.0	435	176	18.70	0.402	5.917.E+02	3.611.E+03	1.659.E+03	8.301.E+00	3.360.E+00
3.0	12.0	1332	310	18.30	0.471	1.800.E+03	3.311.E+04	5.296.E+03	2.487.E+01	5.797.E+00
12.0	21.0	1679	524	19.50	0.446	5.467.E+03	5.607.E+04	1.581.E+04	3.340.E+01	1.043.E+01
21.0	30.0	1921	784	19.50	0.400	1.223.E+04	7.346.E+04	3.425.E+04	3.823.E+01	1.560.E+01

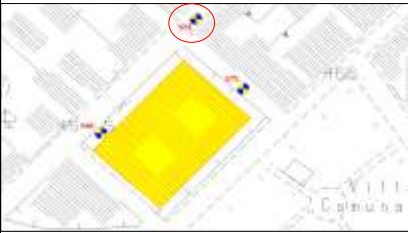


V coefficiente di Poisson
G₀ Modulo di Taglio iniziale
M Modulo di Compressibilità
E Modulo di Young
Rp, Rs Rigidità sismiche

Vs_{eq} = m/s 406

Down-Hole - DHS - ISERNIA - Scuola Element. S.G. Bosco (Foro S7L)

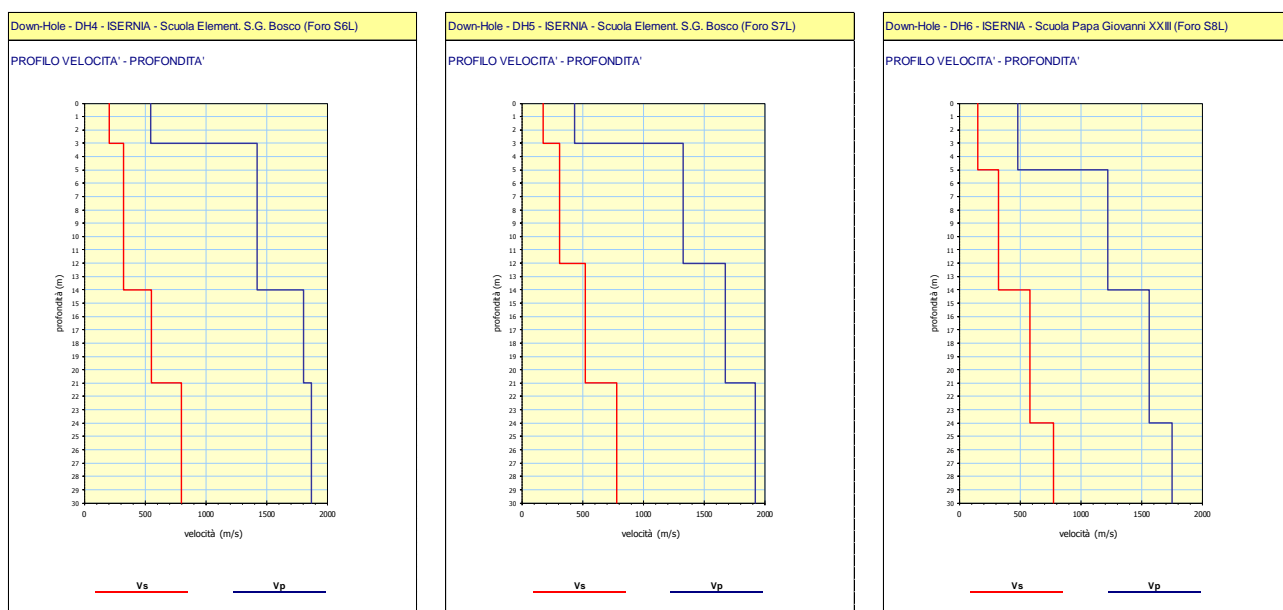
INDAGINE DOWN-HOLE - PROSPETTO RIEPILOGATIVO DEI MODULI ELASTICI										
sismostrati		Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ (KN/m ³)	ν	G ₀ (MN/m ²)	M (MN/m ²)	E (MN/m ²)	Rp (MPa/m*s)	Rs (MPa/m*s)
da m	a m									
0.0	5.0	484	150	17.30	0.447	3.993.E+02	4.142.E+03	1.155.E+03	8.551.E+00	2.655.E+00
5.0	14.0	1221	324	18.10	0.462	1.934.E+03	2.753.E+04	5.656.E+03	2.255.E+01	5.977.E+00
14.0	24.0	1566	581	18.50	0.420	6.366.E+03	4.628.E+04	1.808.E+04	2.956.E+01	1.096.E+01
24.0	30.0	1753	776	18.50	0.378	1.138.E+04	5.802.E+04	3.137.E+04	3.310.E+01	1.466.E+01



V coefficiente di Poisson
G₀ Modulo di Taglio iniziale
M Modulo di Compressibilità
E Modulo di Young
Rp, Rs Rigidità sismiche

Vs_{eq} = m/s 349

Down-Hole - DH6 - ISERNIA - Scuola Papa Giovanni XXIII (Foro S8L)



Modello sismico locale riferito alle tre prove down hole disponibili

MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO UTILIZZATO

Il modello sismostratigrafico utilizzato è stato desunto dalle prove Down Hole eseguite nei fori di sondaggio S6L - S7L - S8L, condizionati con tubo in PVC sino alla profondità di 30 metri dal P.C., e per ciascuna di essa è stata condotta analisi numerica di risposta sismica locale.

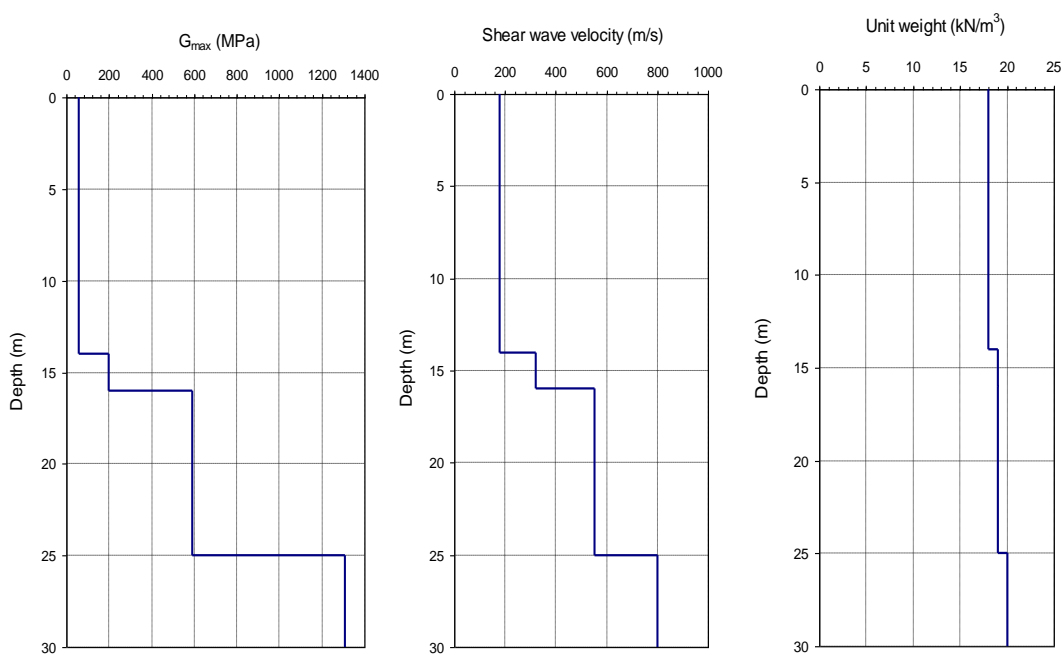
SONDAGGIO S6L					SONDAGGIO S7L					SONDAGGIO S8L				
categoria litotecnica	Spessore (m)	Sismostrato	Vs (m/s)	γ (kN/m ³)	categoria litotecnica	Spessore (m)	Sismostrato	Vs (m/s)	γ (kN/m ³)	categoria litotecnica	Spessore (m)	Sismostrato	Vs (m/s)	γ (kN/m ³)
B	3	Terreni flubiolacustri fini	209	19.00	A	3	riporto + coperture	170	18.70	A	2.4	riporto + coperture	150	17.30
B	11	Terreni flubiolacustri fini	324	18.00	B	9	Terreni flubiolacustri fini	310	18.30	B	2.6	Terreni flubiolacustri fini	150	17.30
B	6	Terreni flubiolacustri fini	555	18.00	C	2.1	Terreni flubiolacustri grossolani	524	19.50	B	7	Terreni flubiolacustri fini	324	18.10
SUBSTR		Alternanza di terreni flubiolacustri fini e grossolani	801	20.00	B	6.9	Terreni flubiolacustri fini	524	19.50	C	2	Terreni flubiolacustri grossolani	324	18.10
					B		Terreni flubiolacustri fini	784	19.50	B	10	Terreni flubiolacustri fini	581	18.50
										B		Terreni flubiolacustri fini	776	18.50

Modelli utilizzati per la definizione del modello univoco di sottosuolo

modello sismostratigrafico				
<i>categoria litotecnica</i>	<i>Spessore (m)</i>	<i>Sismostrato</i>	<i>Vs (m/s)</i>	<i>g (kN/m³)</i>
C	14	Terreni fluviolacustri fini	180	18.00
C	2	Terreni fluviolacustri grossolani	320	19.00
C	9	Terreni flubiolacustri fini	553	19.00
SUBSTR		Argille e argille marnose	801	20.00

Valore di Vs eq = 249 m/s

Modello utilizzato per il calcolo di RSL



Andamento con la profondità del Modulo di Taglio, delle Vs e del Peso di volume

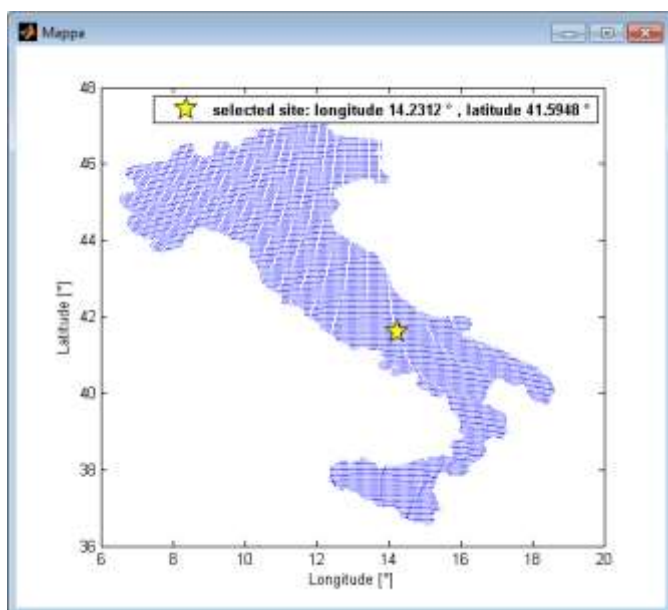
IL TERREMOTO DI RIFERIMENTO

Il moto sismico al suolo è sempre condizionato dalle caratteristiche fisiche del terremoto atteso al basamento di riferimento, vale a dire il “Terremoto di Riferimento”. Questo è caratterizzato da contenuti in frequenze dipendenti dai meccanismi focali e dalla sorgente sismogenetica.

In particolare si fa riferimento alla Magnitudo, alla distanza epicentrale, al percorso di propagazione.

In generale accade che i periodi fondamentali (oltre che le durate) di un moto sismico aumentano con il contenuto energetico e con la distanza epicentrale; l'ampiezza massima invece diminuisce con la distanza dalla sorgente per effetto di una legge di attenuazione ovvero per effetti dissipativi (espansione del fronte d'onda e dispersione per smorzamento interno del mezzo di propagazione).

Qualora non si disponga di una registrazione al *bedrock* è possibile utilizzare come sito di riferimento il segnale sismico registrato in corrispondenza di un affioramento della formazione rocciosa di base (definita *outcrop*) o accelerogrammi sintetici ottenuti fissando per un determinato periodo di ritorno, i valori di: Magnitudo, distanza dalla sorgente, PGA.



La scelta del segnale sismico in ingresso va pertanto eseguita sulla base dell'analisi di pericolosità sismica regionale, condotta mediante modelli deterministici, probabilistici o stocastici; nello specifico il terremoto sintetico è stato calcolato mediante il codice numerico *Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions* fornito dal Servizio Sismico Nazionale (Sabetta F. & Pugliese A., 1996 – Bulletin of

Seismological Society of America, Vol. 86, N. 2, pp. 337-352), basato su un approccio di tipo probabilistico. Nel corrente lavoro è stato considerato il modello numerico rappresentante il sottosuolo a strati continui utilizzando il codice SHAKE91 nella versione EERA (Equivalent -linear Earthquake site Response Analyses) ver. 2001 di J. P. BARDET, K. ICHII, and C. H. LIN, 1972.

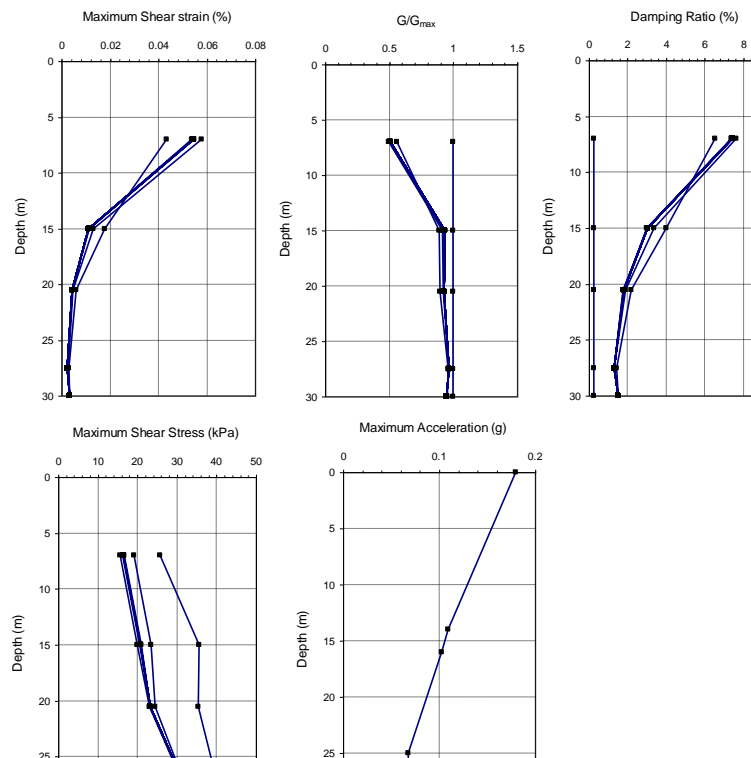
La non linearità del terreno ha imposto l'utilizzo delle curve $G/G_{\max} - \gamma$ e $D - \gamma$ che rappresentano la variazione del modulo di taglio normalizzato e del fattore di smorzamento con la deformazione tangenziale γ .

Per la scelta del terremoto di riferimento si è utilizzato il software REXEL 3.5 (Reluis), che tiene conto della coerenza tra i segnali e lo spettro di riferimento delle NTC 2018, che rispecchiano le caratteristiche di sorgente in termini di magnitudo e distanza epicentrale. Sono state generate diverse combinazioni costituite da 7 serie temporali di accelerogrammi spettro compatibili con il sito in esame per ogni stato limite considerato SLO – SLD – SLV.

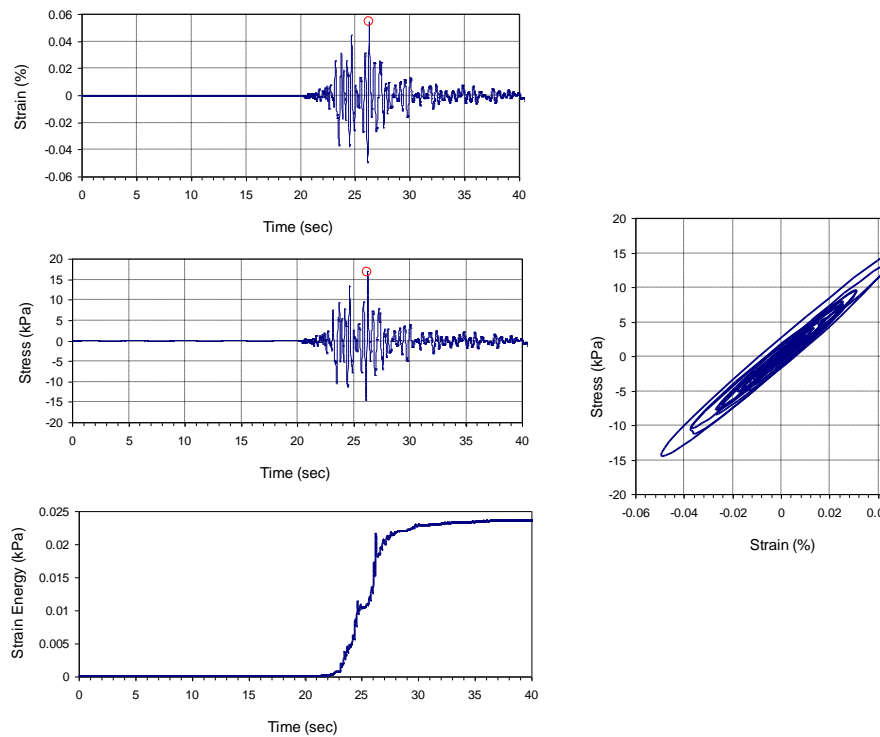
CURVE DEL MODULO DI TAGLIO E DEL RAPPORTO DI SMORZAMENTO

Nella simulazione numerica sono state adottate le curve di decadimento del Modulo di Taglio G_0 e del rapporto di smorzamento desunte dalla bibliografia, in particolare per le unità di tipo B (sabbie limo argillose) si è fatto riferimento alle curve di Seed & Sun 1989, mentre per i terreni C (sabbie argillose e ghiaie) a Seed & Idriss 1970.

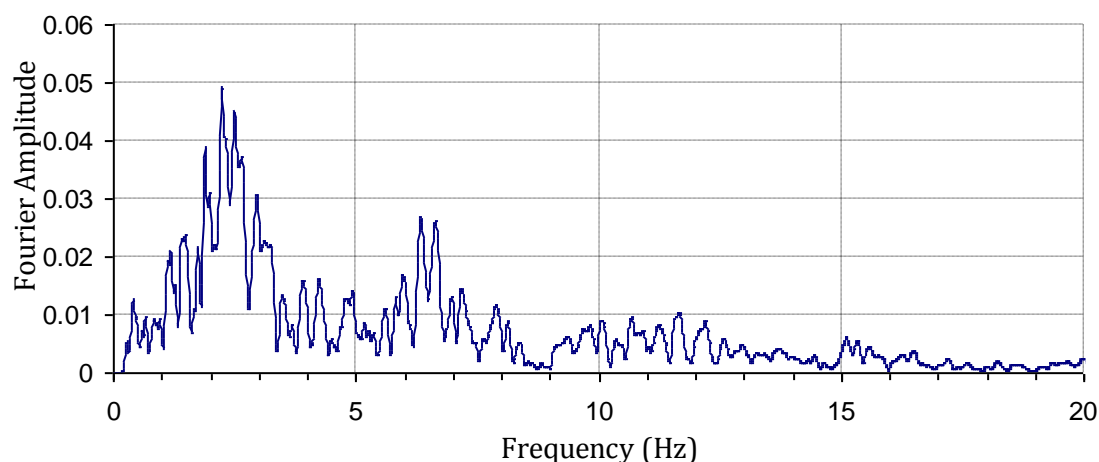
Il codice di calcolo utilizzato è di tipo monodimensionale ed è costituito dal software **EERA** (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits).



Esempio di variazione dei moduli elastici con la profondità (sismogramma 1)



Esempio di variazione nel tempo di deformazione, sforzo ed energia; ciclo di isteresi (sismogramma 4) in SLV



Esempio della trasformata di Fourier per l'amplificazione (sismogramma 6) in SLV

MODELLO DI CALCOLO E RSL DEL SITO

Il modello di calcolo utilizzato è di tipo “a strati continui”; esso consiste nell'esecuzione di una sequenza di analisi lineari complete, con aggiornamento successivo dei parametri di rigidezza e smorzamento fino al soddisfacimento di un prefissato criterio di convergenza. Il software utilizzato è SHAKE91 (EERA), nella versione originale Fortran del 1972.

Questo utilizza l'analisi di Fourier ed implementa una procedura di iterazioni sui parametri forniti. Ogni iterazione consiste nel calcolo del moto dell'intero sistema mediante le funzioni di trasferimento tra strato e strato; nell'iterazione successiva i parametri di rigidezza e smorzamento interno vengono aggiornati in relazione ad un valore caratteristico di \square . Per ogni accelerogramma impiegato sono state calcolate e verificate le variazioni con la profondità di:

- deformazione massima di taglio;
- G/G_{max} ;
- rapporto di smorzamento;
- variazione del picco di accelerazione;
- variazione dello sforzo applicato.

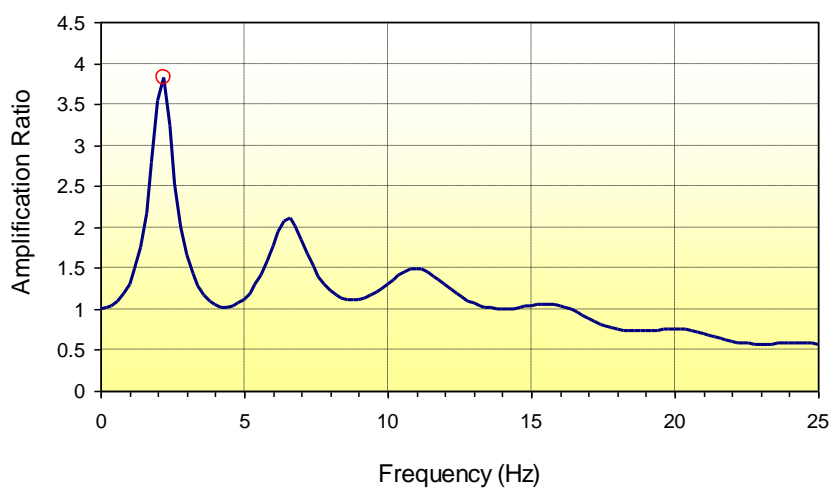
e della variazione nel tempo delle condizioni al suolo di:

- accelerazione, velocità e spostamento;

- deformazione;
- stress;
- energia dissipata
- curva di isteresi (rapporto tra sforzo e deformazioni)
- la funzione di amplificazione locale
- spettro di risposta

questo ultimo è stato mediato nei 7 risultati ottenuti.

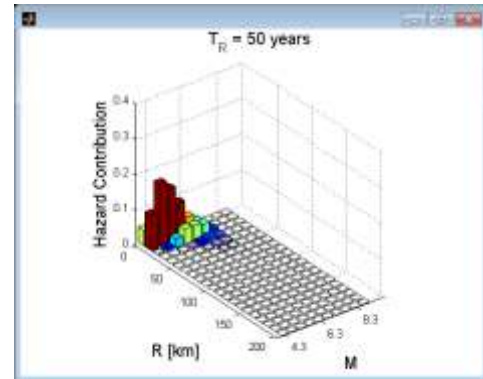
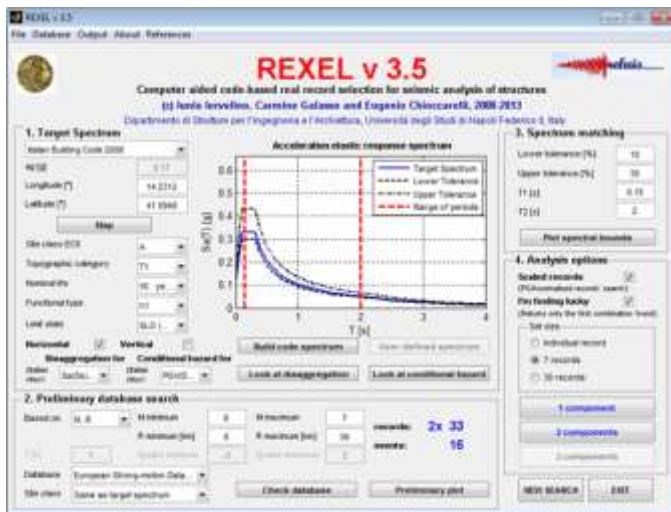
Si ribadisce che la Risposta Sismica Locale è stata riferita al modello sismostratigrafico derivante dalla prova geofisica eseguita.



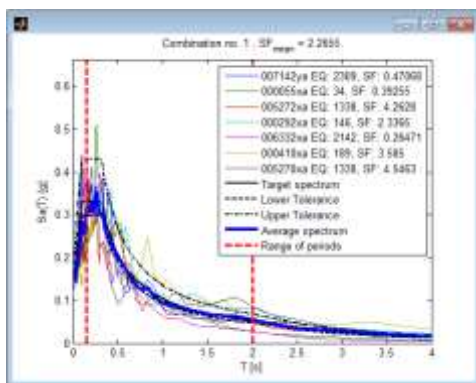
Funzione di trasferimento di sito

Per tutti gli stati limite, in allegato alla presente, sono forniti i valori numerici degli spettri regolarizzati derivanti da Risposta Sismica Locale (CD allegato).

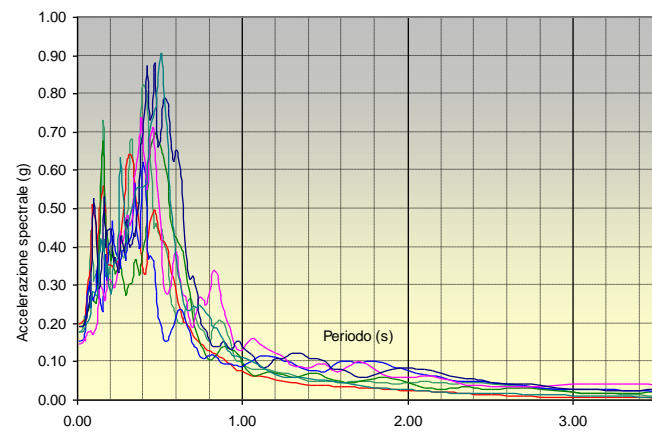
FORME SPETTRALI PER LO STATO LIMITE SLO



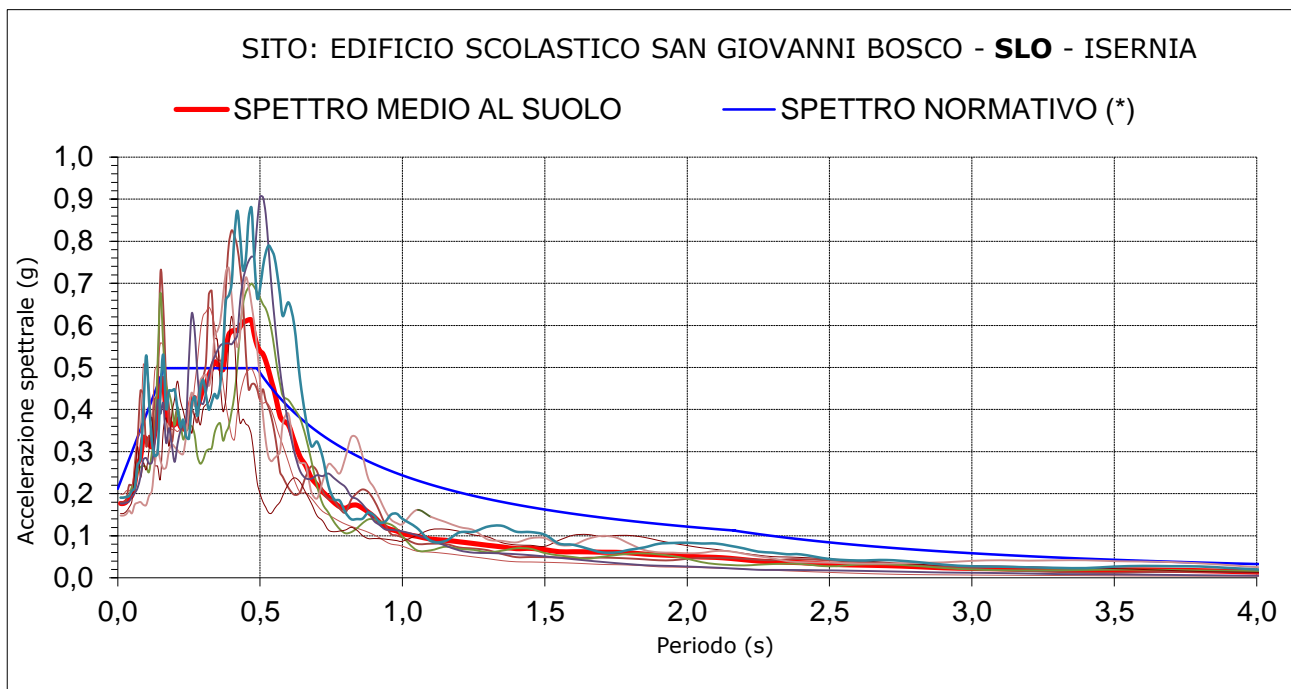
Interfaccia di Rexel per SLO



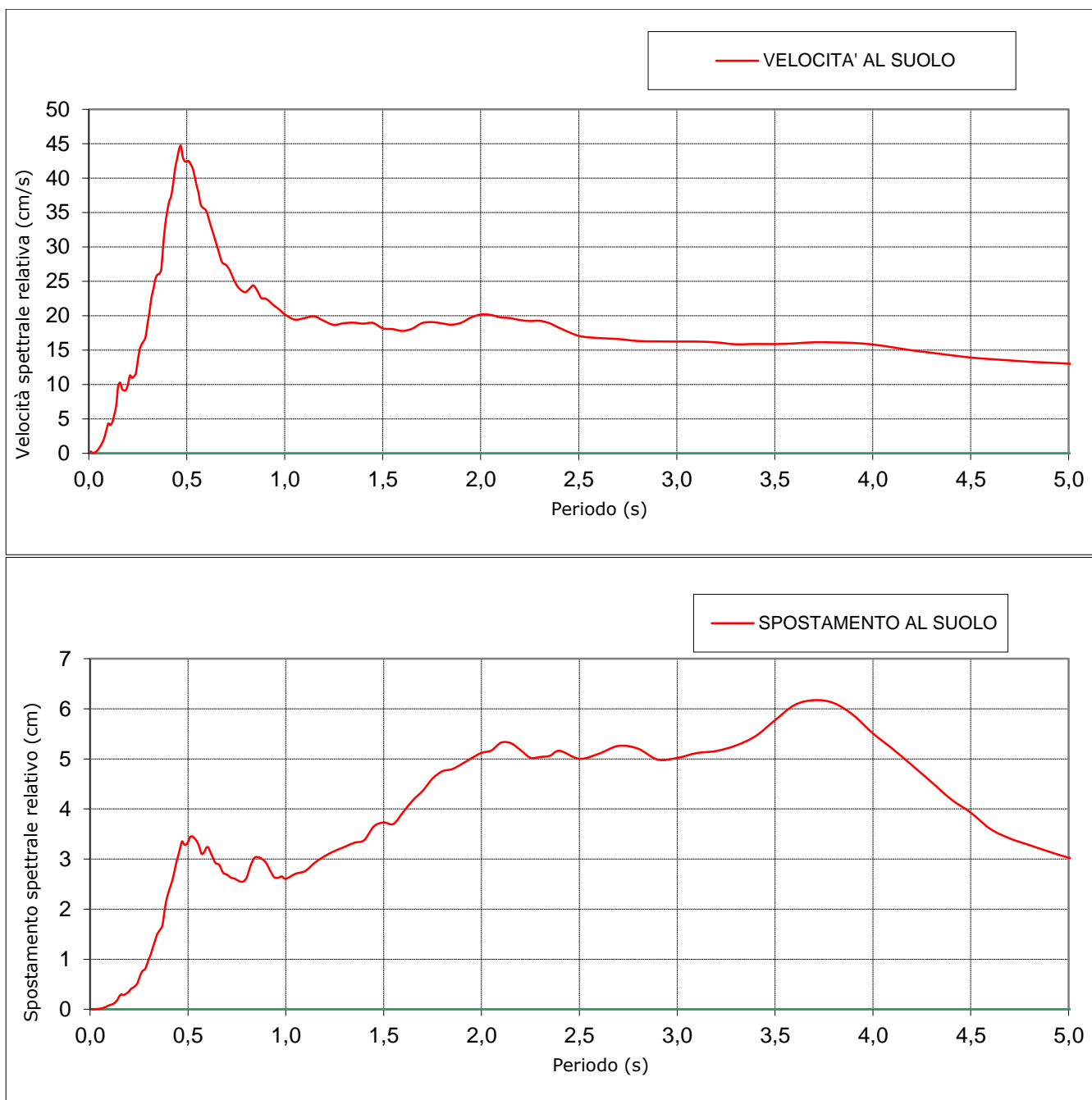
Spettri utilizzati



Spettri al suolo calcolati per SLO

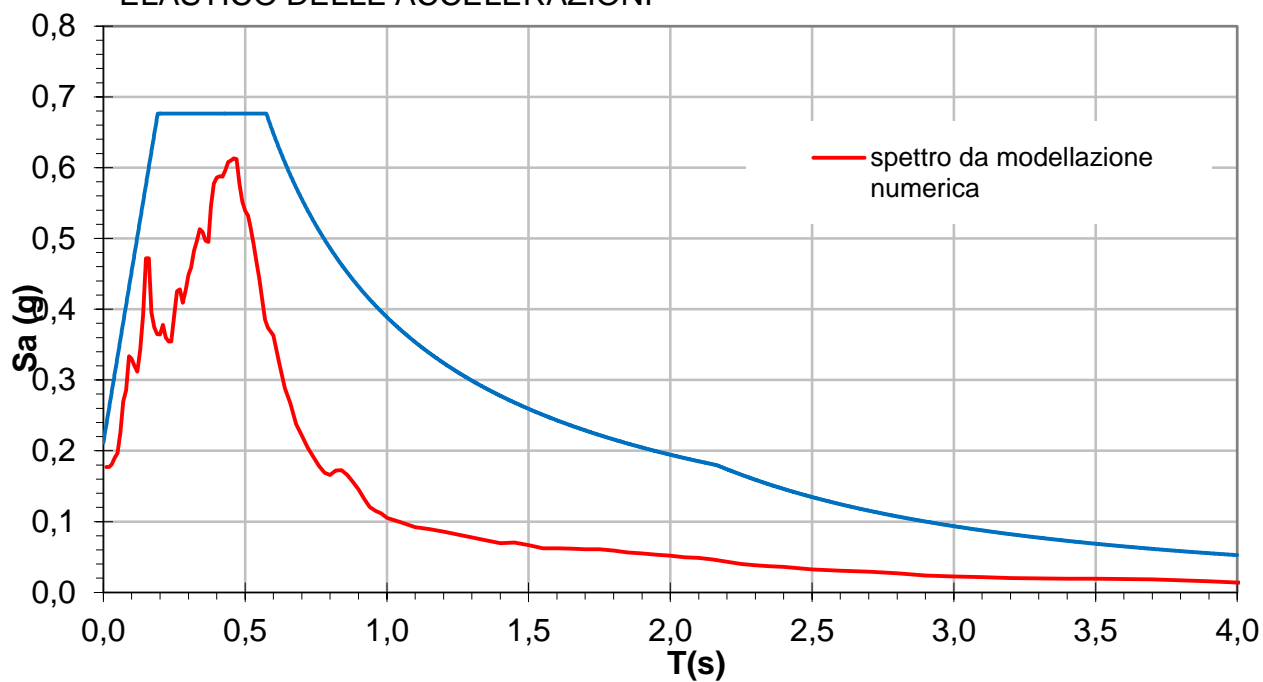


Spettri di risposta SLO dell'accelerazione, normativo (in blu) e da modellazione numerica per un input sismico con periodo di ritorno pari a 50 anni.



Spettri di risposta SLO di velocità e spostamento

SPETTRI DI RISPOSTA
ELASTICO DELLE ACCELERAZIONI

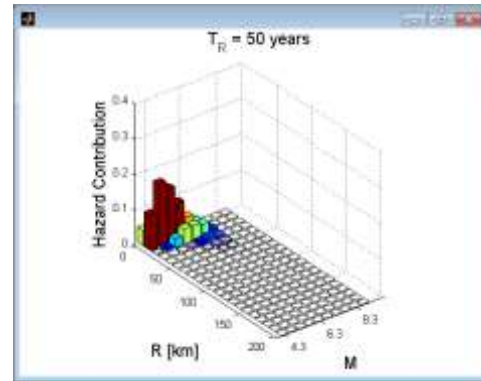
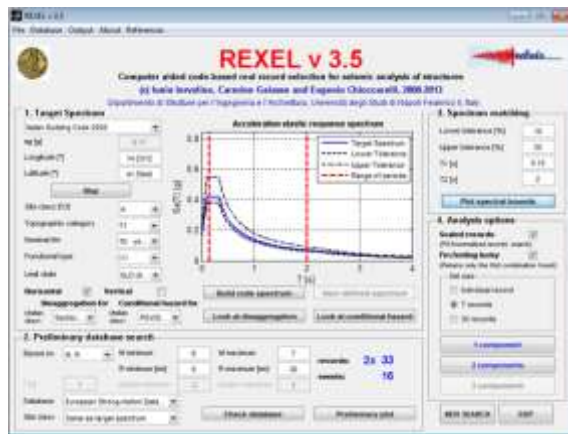


ξ (%)	η	S_s	S_t	S	F_o	T_B	T_C	T_D
5	1	1.500	1.000	1.500	3.198	0.192	0.575	2.164

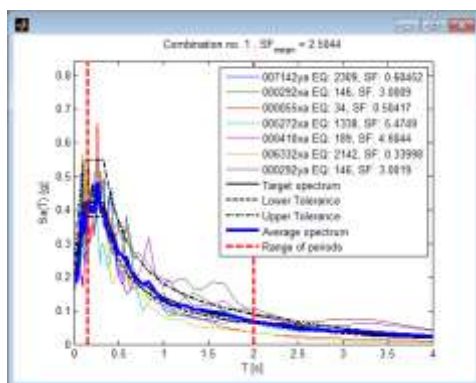
a_g (g)	0.141
S_{amax}	0.6132
$T(S_{amax})$	0.460
A_{medio} (g)	0.4509
S_{vmax} (m/s)	0.4492
$T(SV_{max})$	0.470
V_{medio} (m/s)	0.4048

Spettro regolarizzato SLO e relativi valori

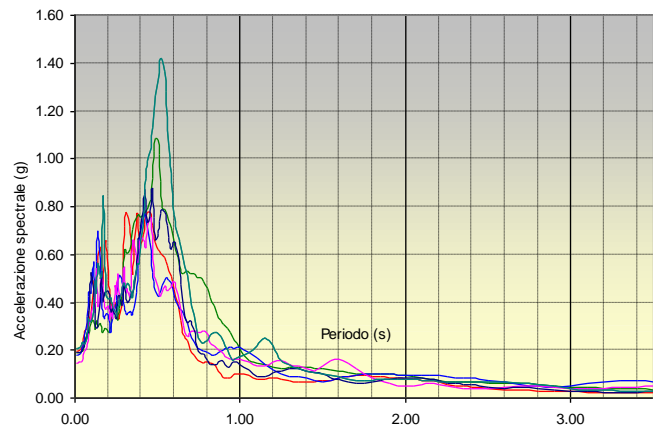
11.7 - FORME SPETTRALI PER LO STATO LIMITE **SLD**



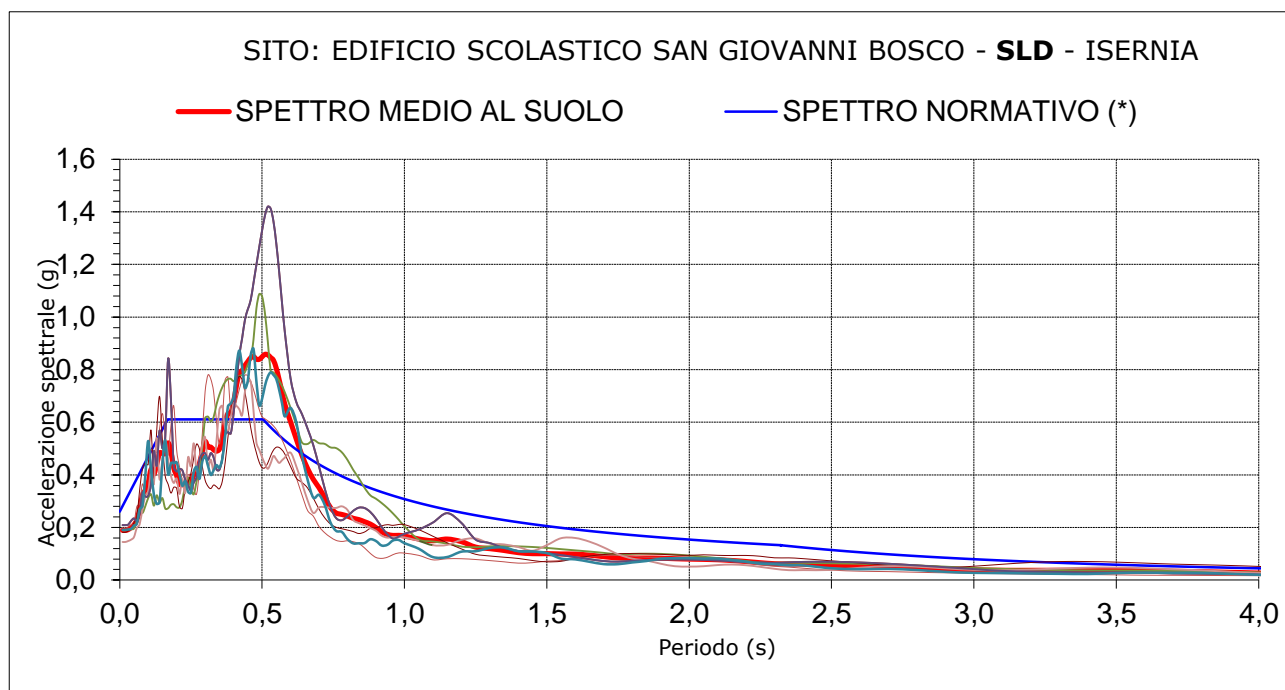
Interfaccia di Roxel per SLD



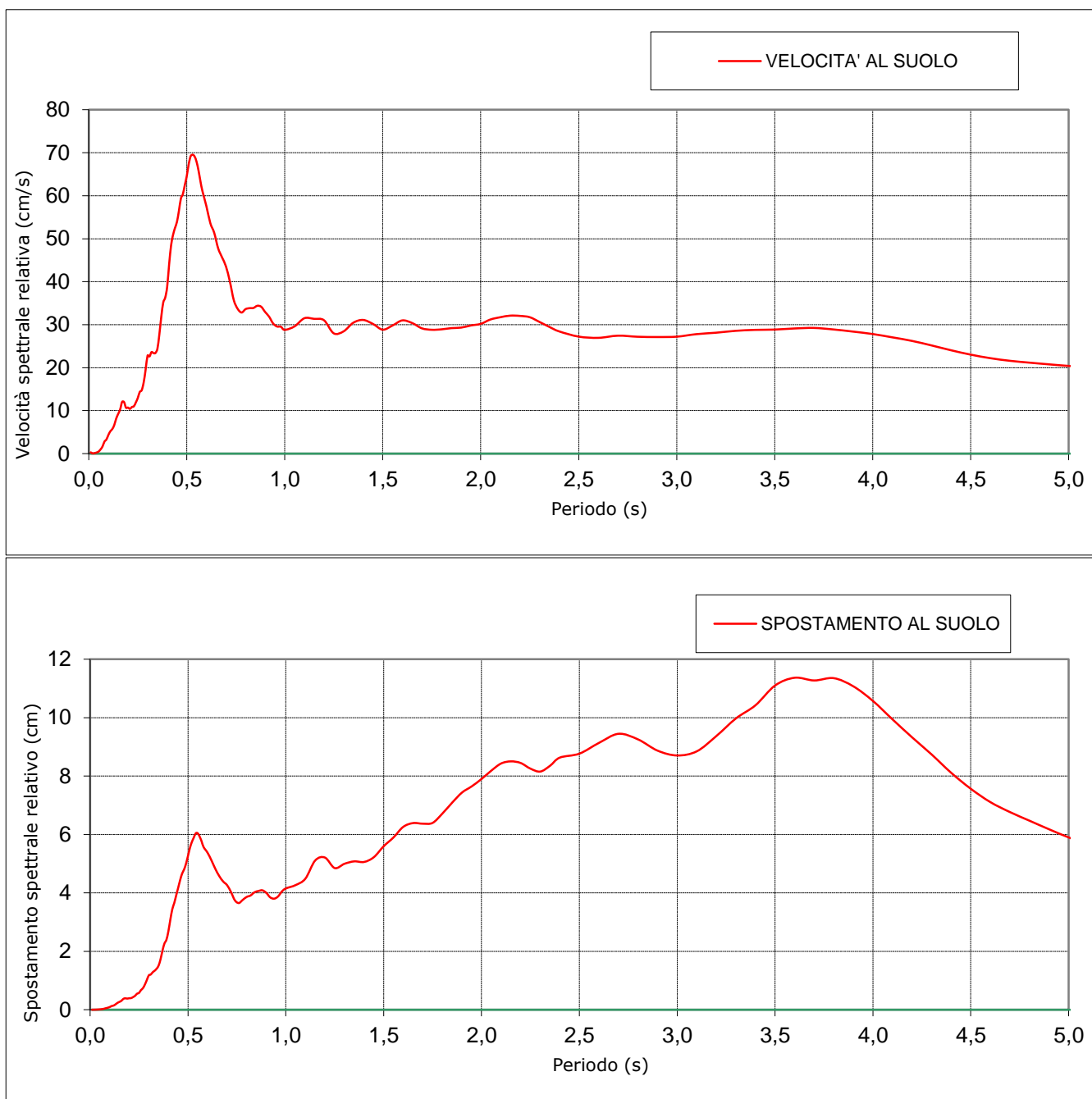
Spettri utilizzati



Spettri al suolo calcolati per SLD

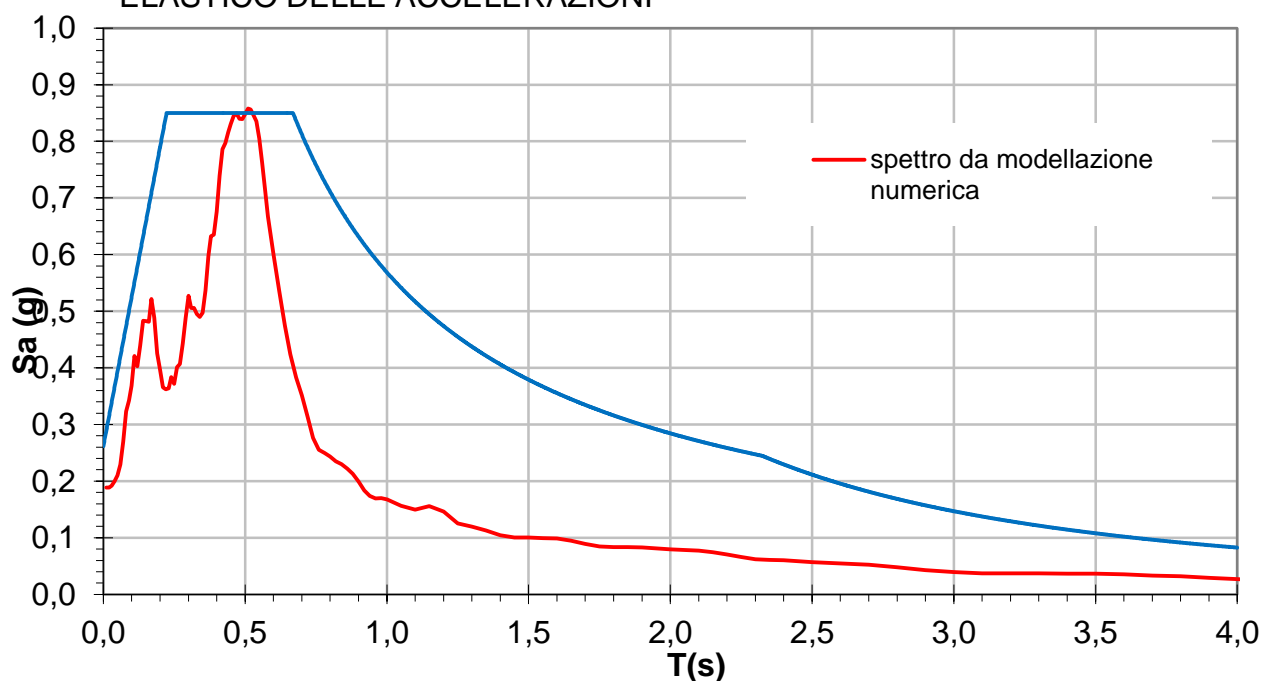


Spettri di risposta SLD dell'accelerazione, normativo (in blu) e da modellazione numerica



Spettri di risposta SLD di velocità e spostamento

SPETTRI DI RISPOSTA
ELASTICO DELLE ACCELERAZIONI

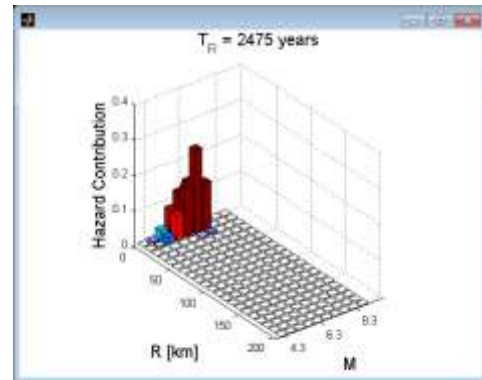
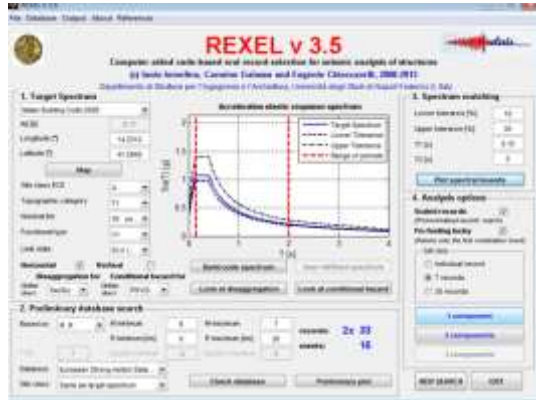


ξ (%)	η	Ss	St	S	Fo	T _B	T _C	T _D
5	1	1.446	1.000	1.446	3.249	0.223	0.669	2.324

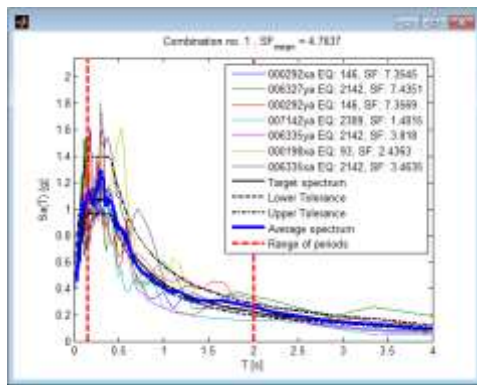
ag (g)	0.181
Samax	0.8581
T (Samax)	0.510
Amedio (g)	0.5880
Svmax (m/s)	0.7044
T (SVmax)	0.540
Vmedio (m/s)	0.6141

Spettro regolarizzato SLD e relativi valori

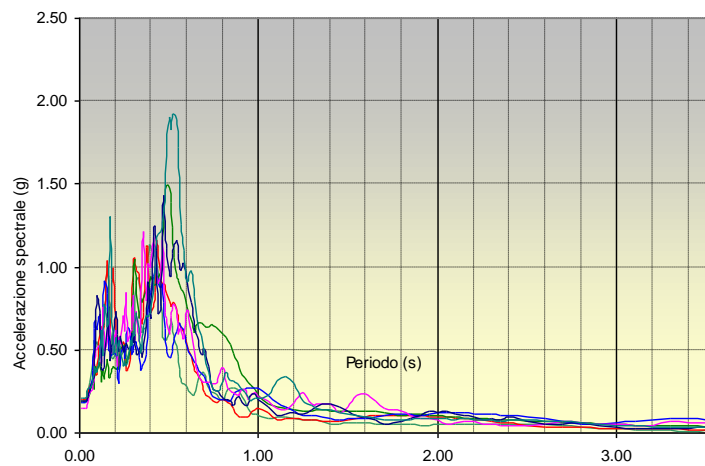
11.8 - FORME SPETTRALI PER LO STATO LIMITE **SLV**



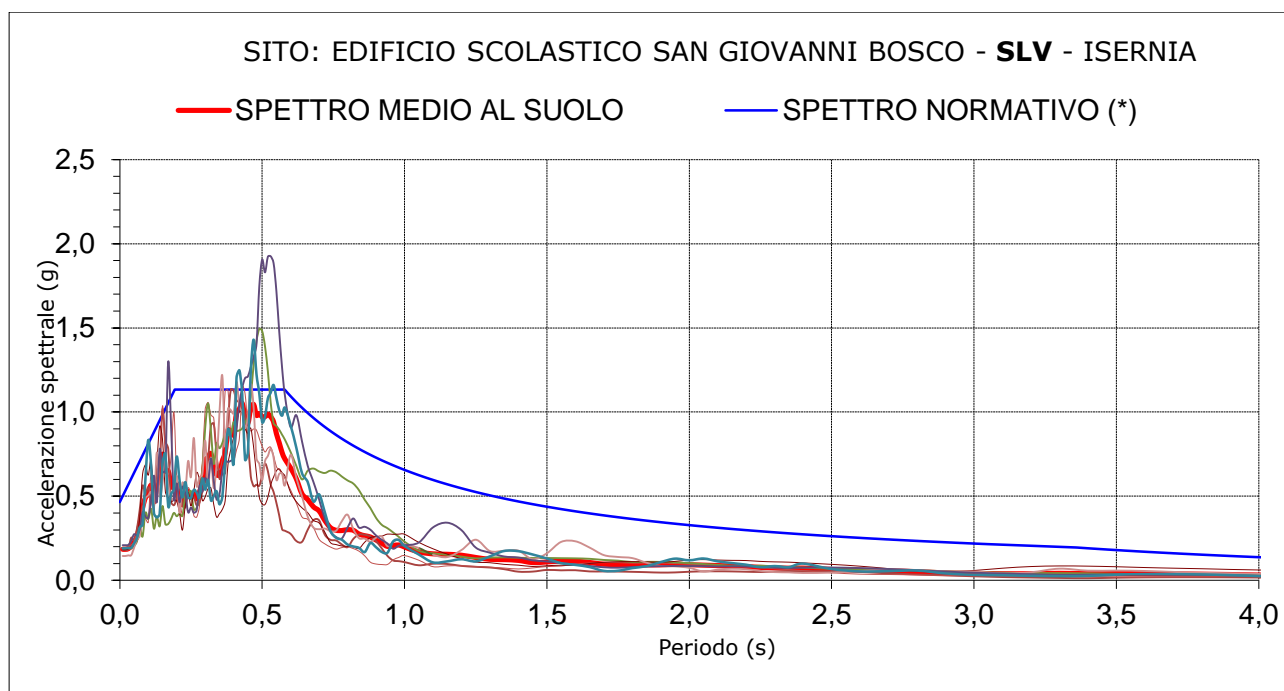
Interfaccia di Rexel per SLV



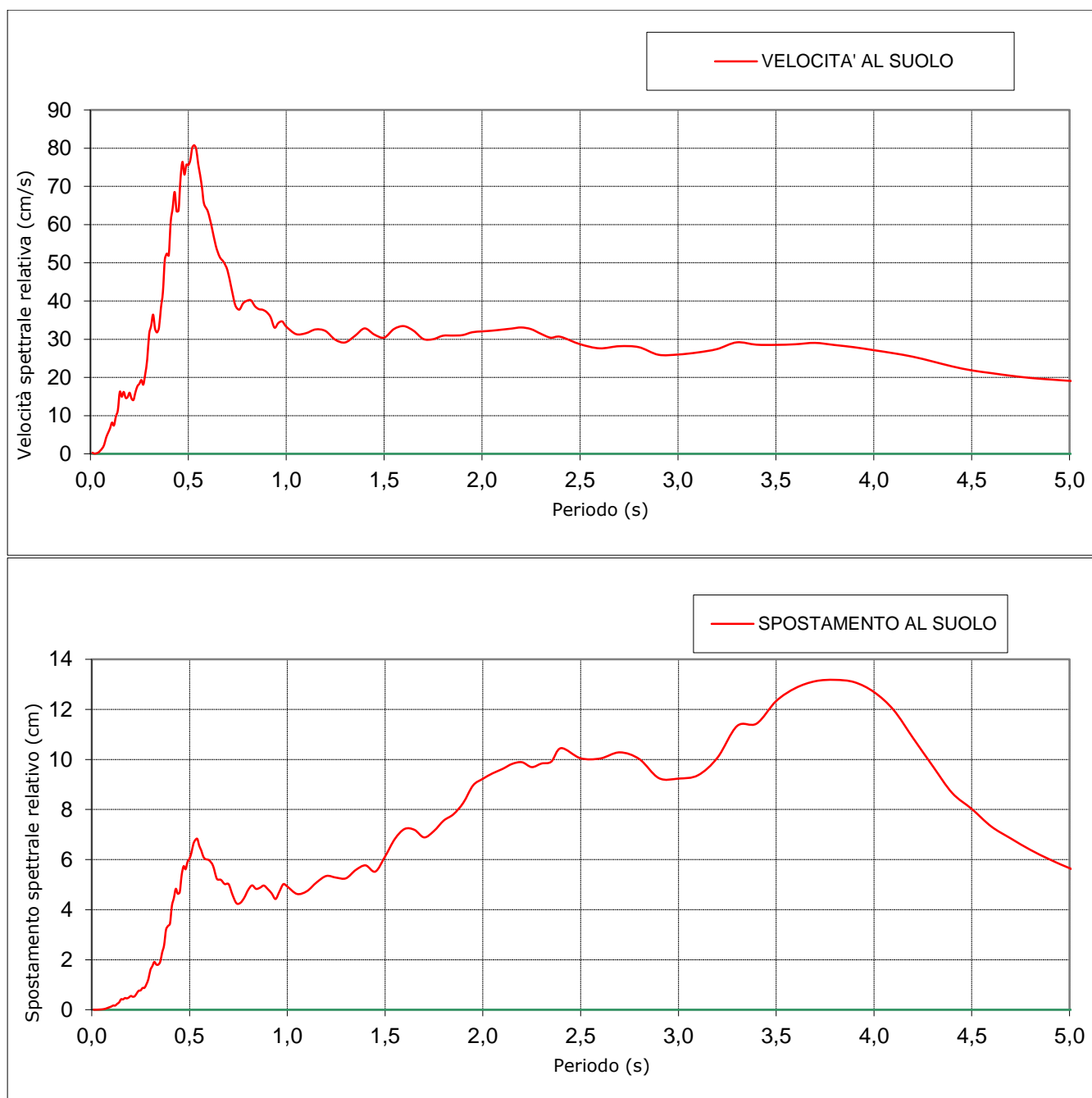
Spettri utilizzati



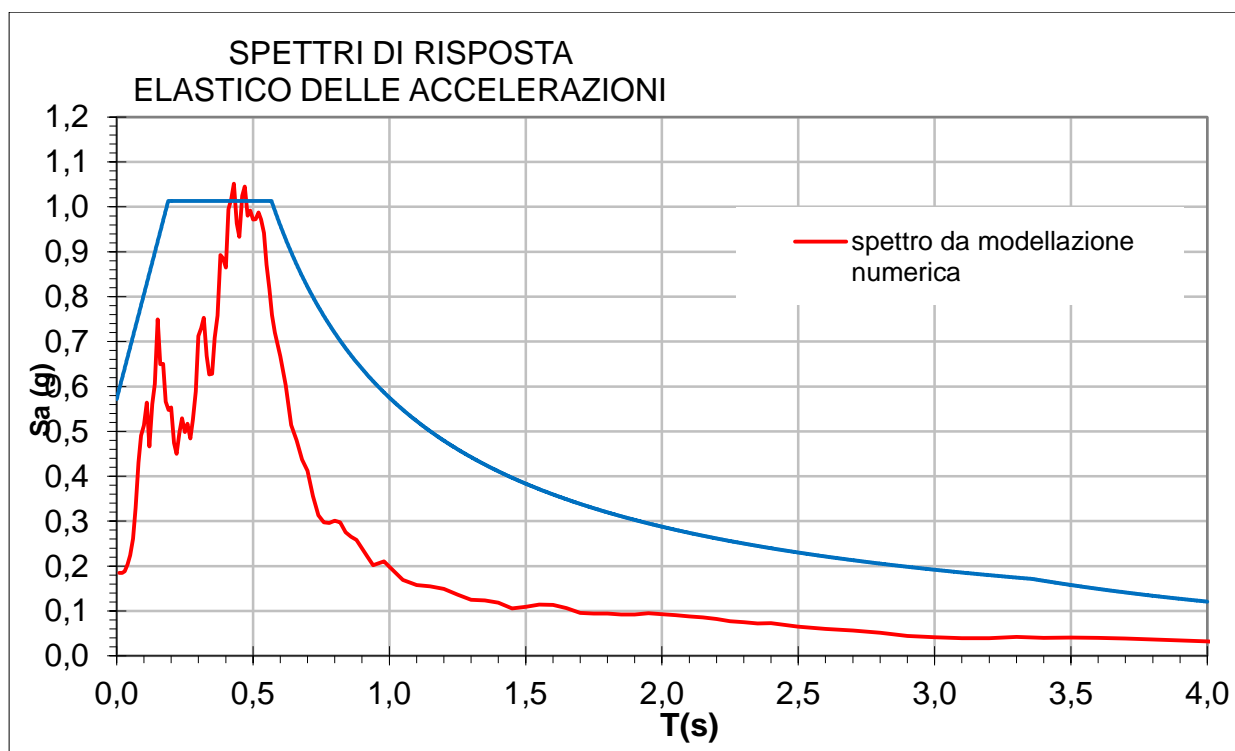
Spettri al suolo calcolati per SLV



Spettri di risposta SLV dell'accelerazione, normativo (in blu) e da modellazione numerica



Spettri di risposta SLV di velocità e spostamento



ξ (%)	η	Ss	St	S	Fo	T_B	T_C	T_D
5	1	1.300	1.000	1.300	1.772	0.189	0.568	3.360

ag (g)	0.44
Samax	1.0516
T (Samax)	0.430
Amedio (g)	0.7796
Svmax (m/s)	0.8043
T (SVmax)	0.530
Vmedio (m/s)	0.6910

Spettro regolarizzato SLV e relativi valori

Spettro regolarizzato SLV e relativi valori

Tanto per incarico ricevuto

Isernia, gennaio 2020



Il consulente per analisi numerica

Dott.geol. Domenico Angelone