



COMUNE DI ROGLIANO

PROVINCIA DI COSENZA



OCDPC N. 293/2015 - EDIFICI STRATEGICI DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE PALESTRA ANNESSA ALL'EDIFICIO SCOLASTICO DI VIA O. D'EPIRO

PROGETTO ESECUTIVO:
RELAZIONE PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

CATEGORIA

GG

Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI ROGLIANO
Stazione appaltante: COMUNE DI ROGLIANO - SETTORE 3 L.L.P.P.
Responsabile del procedimento: GEOM. GIOVANNI BATTISTA DE BIASE

ELABORATO

02.0

Progetto Esecutivo:

Capogruppo mandante:
ING. MARCO CAPPÀ

Co-progettista mandatario:
ING. DANIELE CARDAMONE

Geologo mandatario:
DOTT. SALVATORE ACRI

Collaudatore mandatario:
ING. MARIO OTTORINO QUINTIERI

Approvazioni e visti:

STAMPA :

Ottobre 2017

ID FILE: GG02.0_REL_PERIC_SISMICA_BASE.DOC

017 10 GG 02.0 0
PROGETTO ELABORATO REV.

REV.	DATA	OGGETTO REVISIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.
0					
1					
2					

INDICE

1	<i>PREMESSA</i>	2
2	<i>STORIA SISMICA DEL SITO</i>	4
2.1	Pericolosità sismica del sito	4
2.2	Zone Sismogenetiche	5
3	<i>DEFINIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE CON RISPOSTA SISMICA LOCALE</i>	8
4	<i>PROCEDURA DI CALCOLO</i>	14
5	<i>ANALISI DINAMICA PER LO STATO LIMITE SLO</i>	21
6	<i>ANALISI DINAMICA PER LO STATO LIMITE SLD</i>	28
7	<i>ANALISI DINAMICA PER LO STATO LIMITE SLV</i>	35
8	<i>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</i>	42

1 PREMESSA

Il sottoscritto geologo Dott. Salvatore ACRI, su incarico ricevuto dall'Amministrazione Comunale di Rogliano (Cs), ha redatto la presente Relazione sulla Pericolosità Sismica Locale – Modellazione Sismica di Sito relativa al progetto di **"Demolizione e ricostruzione palestra annessa all'edificio scolastico di via O. D'Epiro"**.

Il presente studio, finalizzato alla determinazione della Risposta Sismica Locale, consiste modellazione sismica del sito, contiene quindi indicazioni della zona sismogenetica, della classificazione sismica regionale, delle risultanze di eventuali studi di microzonazione sismica o di pericolosità sismica contenuti negli strumenti urbanistici, valutazione dell'azione sismica e relativi parametri, indicazione degli effetti di sito (risposta sismica locale) e dei relativi coefficienti di amplificazione sismica e verifica delle pericolosità (liquefazione dei terreni ecc.).

Per la determinazione della categoria di sottosuolo si è proceduto alla misura della V_{s30} con metodi geofisici attraverso indagini indirette (M.A.S.W. e Down-Hole).

Il presente studio è redatto ai sensi della seguente normativa di riferimento:

- √ D.M. 14/01/2008 e circolari esplicative: Norme tecniche per le costruzioni.
- √ Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- √ Regolamento Regionale n°15 del 29/11/2016.

Sono stati quindi calcolati e stimati, in osservanza del D.M. sopra indicato, i valori relativi alla categoria di suolo di fondazione, alla categoria topografica ed agli spettri di risposta elastico e di progetto. In osservanza del Regolamento Regionale n°15 del del 29/11/2016, essendo la struttura in progetto annoverata nella Classe d'Uso IV riportata nel D.M. 14/01/2008, è stata in definitiva la Risposta Sismica Locale (RSL) attraverso studi di maggior dettaglio che prevedono l'utilizzo di modelli sofisticati di analisi basati sull'impiego di accelerogrammi reali rappresentativi della sismicità del sito e su una conoscenza sismo-stratigrafica dettagliata del sottosuolo.

Detti modelli permettono la definizione di una funzione di amplificazione e di trasferimento dell'impulso sismico dal bedrock (strato profondo) in superficie, ottenendo in uscita uno spettro elastico periodo/accelerazione, inseribile nei programmi di calcolo strutturale per la valutazione dell'azione sismica di progetto. Questa tipologia di approccio, che prevede strati piano paralleli e morfologie sub-pianeggianti, è definita come Risposta Sismica Locale mediante analisi monodimensionale (analisi 1D).

Tale metodologia è suggerita all'interno delle N.T.C. 2008 per particolari categorie costruttive ed è raccomandata, come già evidenziato, dal Regolamento Regionale della Regione Calabria n°15 del 29/11/2016 (in vigore dal 1° Gennaio 2017).

2 STORIA SISMICA DEL SITO

2.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO

Per quanto concerne gli eventi sismici storici con effetti macrosismici sul territorio, la tabella seguente riporta i maggiori terremoti storici, i cui effetti macrosismici sono stati risentiti nel territorio comunale di ROGLIANO (CS) (M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>).

Storia sismica dell'area di Rogliano [lat N 39,178 - long E 16,323] - Database Macrosismico Italiano 2004 (DBMI.04)

Is	Anno Me Gi Or Mi Se	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	Mw
10-11	1638 03 27 15 05	Calabria	CFTI	206	11	7.00
7	1783 03 28 18 55	Calabria	CFTI	323	10	6.94
7	1832 03 08 18 30	Crotonese	CFTI	78	9-10	6.48
7	1854 02 12 17 50	Cosentino	CFTI	89	9-10	6.15
7-8	1870 10 04 16 55	Cosentino	CFTI	56	9-10	6.16
5	1887 12 03 03 45	Calabria settent.	CFTI	142	8	5.52
7	1905 09 08 01 43 11	Calabria	CFTI	827	11	7.06
6	1908 12 28 04 20 27	Calabria meridionale	CFTI	786	11	7.24
5	1913 06 28 08 53 02	Calabria settentrion	CFTI	151	8	5.65
4	1980 11 23 18 34 52	Irpinia-Basilicata	CFTI	1317	10	6.89
3-4	1988 04 13 21 28 28	POLLINO	BMING	272	6-7	4.98
NF	1990 05 05 07 21 17	POTENTINO	BMING	1374	7	5.84
3	1996 04 27 00 38 27	COSENTINO	BMING	123	6-7	4.81
3-4	1997 07 08 08:13:43	Cosentino		52	5	4.31
5	2001 10 18 11:02:20	Cosentino		115	5-6	4.31

PARAMETRI – DESCRIZIONE: **Is** - Intensità sismica; **An** - Anno; **Me** - Mese; **Gi** - giorno; **Or** - Ora; **Mi** - Minuti; **Se** – Secondi; **AE** - Denominazione dell'area dei maggiori effetti; **Io** - Intensità epicentrale (MCS); **Mw** - Magnitudo momento.

Il primo terremoto documentato è quello del 1638 (int.epic. 11.0 MCS ed int.ris.10.5 MCS) che causò il crollo di gran parte delle case e rese inabitabili le rimanenti; morirono 246 persone, quasi la metà dell'intera popolazione. Secondo un'altra fonte i morti furono 820 e 80 i feriti.

Anche la scossa del 28 marzo 1783 (int.epic. 11.0 MCS ed int.ris.7.0 MCS) causò lesioni a circa la metà delle case. Lievi i danni alle abitazioni rilevati in seguito ai sismi del 1832 (int.epic. 10.0 MCS ed int.ris.7.0 MCS) e del 1854 (int.epic. 10.0 MCS ed int.ris.7.0 MCS), in seguito al quale vi furono 1 vittima e 15 feriti su una popolazione di 4939 abitanti. Il paese fu gravemente danneggiato dal sisma del 1870 (int.epic. 9.5 MCS ed int.ris.7.5 MCS).

Danni vari senza morti e feriti si ebbero in seguito ai sismi del 1887 (int.epic. 8.0 MCS ed int.ris.5.0 MCS), del 1905 (int.epic. 10.0 MCS ed int.ris.7.0 MCS), del 1908 (int.epic. 11.0 MCS ed int.ris.6.0 MCS).

Nessun danno in seguito ai sismi del 1913 (int.epic. 8.0 MCS ed int.ris.5.0 MCS) e del 1980 (int.epic. 10.0 MCS ed int.ris.4.0 MCS). Lievi scosse sono state registrate anche negli ultimi anni senza però causare danni sostanziali.

2.2 ZONE SISMOGENETICHE

Negli ultimi anni, e fino al 2002, la zonazione sismogenetica ZS4 ha rappresentato il punto di riferimento per la maggior parte delle valutazioni di pericolosità sismica nell'area italiana.

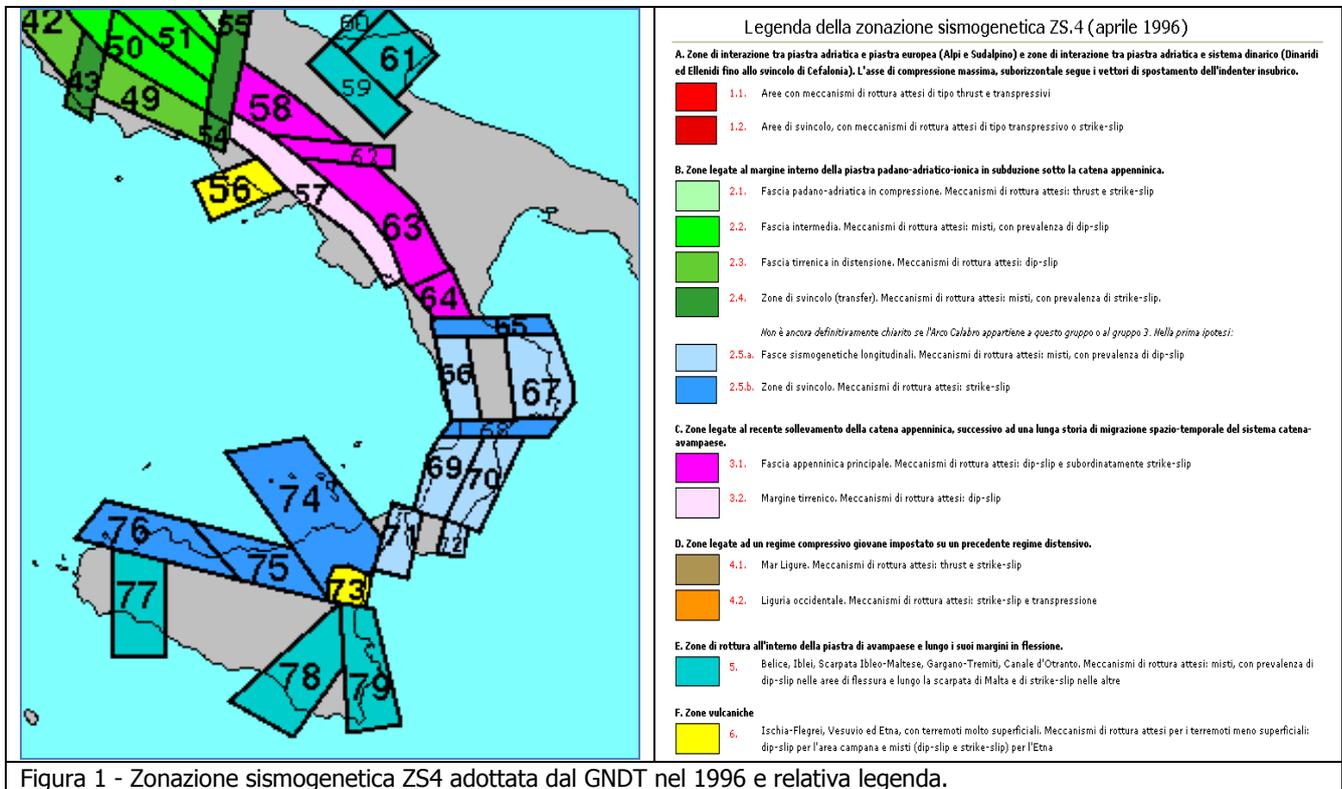


Figura 1 - Zonazione sismogenetica ZS4 adottata dal GNDT nel 1996 e relativa legenda.

Tale zonazione era stata realizzata da Scandone e colleghi nel 1996; ZS4 rappresentava la traduzione operativa del modello sismotettonico a grande scala riassunto in Meletti et al. (2000).

Gli sviluppi più recenti delle conoscenze in materia di sismogenesi hanno evidenziato alcune inconsistenze di tale modello di zonazione. 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. 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.

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, 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. Un importante elemento di novità rispetto al passato è rappresentato dall'utilizzo del database delle soluzioni dei meccanismi focali dei terremoti italiani, recentemente pubblicato da Vannucci e Gasperini (2003).

Riassumendo, in ZS9 le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche si innestano sul quadro di evoluzione cinematica Plio-Quaternaria su cui si basava ZS4. Tuttavia, l'elaborazione di ZS9 si fonda su una base informativa notevolmente più ricca e affidabile di quella disponibile all'epoca della prima realizzazione di ZS4.

Nel processo che ha portato alla redazione di ZS9, l'unione di più zone di ZS4 è avvenuta in base alle peculiarità del dominio cinematico al quale ognuna delle zone veniva attribuita. L'unione di zone di ZS4 adiacenti e con simile comportamento cinematico non ha, controindicazioni di tipo sismotettonico. Contemporaneamente alla riduzione del numero di zone si è provveduto a modificare la geometria delle stesse in funzione delle mutate conoscenze sismotettoniche. Le modifiche ai limiti delle zone di ZS4 sono state basate su nuovi dati relativi alle geometrie di singole sorgenti o di insiemi di queste. Tali informazioni hanno anche consentito di inglobare all'interno delle zone-sorgente di ZS9 alcune aree escluse dalla zonazione ZS4 e, viceversa, di escluderne altre.

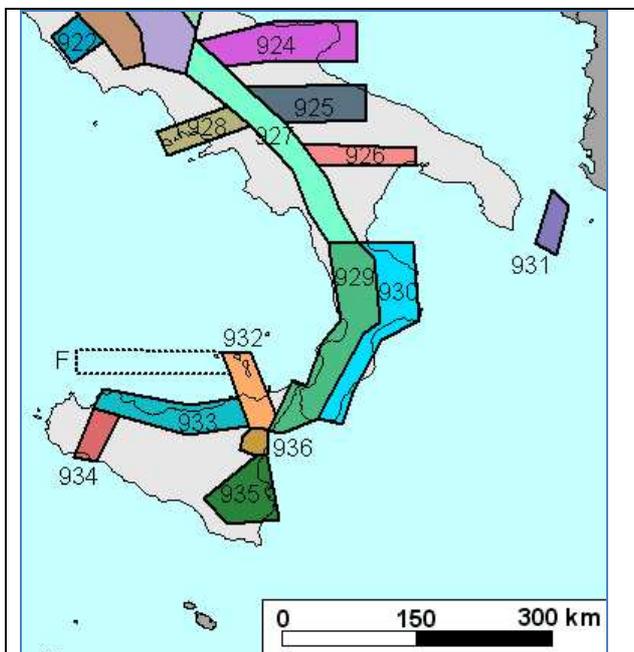


Figura 2 - Zonazione sismogenetica ZS9.
Le diverse zone sono individuate da un numero.

Inoltre è stato ripensato uno dei criteri usati nel disegno di ZS4, vale a dire quello di definire zone sorgente estese fino a inglobare al loro interno tutta la sismicità al di sopra di una certa soglia di magnitudo, giustificando questo modo di procedere come maggiormente cautelativo verso queste aree. Si è verificato invece che in molti casi l'aumento di superficie portava a ridurre in maniera non corretta la stima di pericolosità nelle aree centrali della zona, caratterizzate dai terremoti più importanti per magnitudo e numero. Si è ritenuto pertanto che un procedimento più corretto fosse quello di disegnare zone sorgente più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità

storica e strumentale e di cautelare le aree circostanti attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgente.

Calabria (ZS 929 e 930): Le zone-sorgente della Calabria fino allo Stretto di Messina sono state modificate in due nuove zone, una sul lato tirrenico della regione (ZS929) e una sul lato ionico (ZS 930). L'esistenza di queste due distinte zone rispecchia livelli di sismicità ben differenti. I terremoti con più elevata magnitudo hanno infatti interessato i bacini del Crati, del Savuto e del Mesima fino allo Stretto di Messina (ZS 929). Tra questi eventi spiccano la sequenza del 1783 e i terremoti del 1905 e 1908 (tra la scarsa letteratura sui terremoti di questo settore si vedano Valensise e Pantosti, 1992; Valensise e D'Addezio, 1994; Galli e Bosi, 2002).

Viceversa sul lato ionico della Calabria solo 4 eventi hanno superato un valore di magnitudo pari a 6, e tra questi il terremoto del 1638 appare come l'evento più forte verificatosi. Peraltro recenti studi paleosismologici (Galli e Bosi, 2003) porrebbero l'evento del 9 giugno 1638 in relazione con la faglia dei Laghi posta sulla Sila. L'area della Sila, che in ZS4 veniva equiparata al background, nella nuova proposta viene divisa in due parti attribuite alle due zone appena descritte. Secondo lo stesso criterio si è deciso di attribuire alla zona 929 l'area che in ZS4 era compresa tra le zone 71 e 72. (Zonazione sismogenetica ZS9 (a cura di C. Meletti e G. Valensise (marzo 2004) con contributi di R. Azzaro, S. Barba, R. Basili, F. Galadini, P. Gasperini, M. Stucchi e G. Vannucci))

3 DEFINIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE CON RISPOSTA SISMICA LOCALE

Con la Risposta Sismica Locale (RSL) mediante analisi 1D si intende, in generale, valutare i cambiamenti che un'onda sismica subisce in termini di ampiezza e contenuto in frequenza, nel suo percorso dal basso verso l'alto nel passare da formazioni rocciose denominate bedrock (caratterizzate da velocità delle onde sismiche $V_s > 800\text{m/s}$) e poste in generale in profondità, fino alla superficie libera passando per strati con caratteristiche fisico – meccaniche differenti. Tale fenomeno è sicuramente influenzato:

- dalle caratteristiche del moto sismico in corrispondenza del bedrock;
- dalla geometria e profondità del bedrock;
- dalla presenza o meno di terreni con caratteristiche fisico – meccaniche diverse tra il bedrock e la superficie.

L'insieme dei fattori sopra menzionati, pertanto, condiziona in superficie il moto del suolo che può essere soggetto ad impulsi di ampiezza, ad esempio, maggiori di quelli che partono dal bedrock e/o caratterizzati da componenti in frequenza parzialmente diverse. In particolare, può succedere che alcune delle frequenze che costituiscono il moto sismico in superficie possano risultare moderatamente o consistentemente amplificate, mentre altre possono risultare attenuate.

A seguito di terremoti distruttivi, è infatti frequente osservare distribuzioni anomale del danneggiamento alle costruzioni, con forti differenziazioni fra zone contigue anche di piccole dimensioni.

Tali anomalie sono in generale da mettere in relazione con una varietà di cause, anche concomitanti, tra cui la differente vulnerabilità intrinseca delle costruzioni e le diversità delle caratteristiche dinamiche medie delle tipologie edilizie prevalenti. Spesso accade che a causare le anomalie siano principalmente le modificazioni delle caratteristiche del moto al suolo, indotte come già detto da condizioni geologiche e geomorfologiche locali.

La Risposta Sismica Locale è quindi il risultato di interazioni molto complesse tra le onde sismiche e le condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche di depositi di terreno ed ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Essa rappresenta un elemento importante e, spesso, fondamentale nella caratterizzazione del moto sismico.

Negli anni sono state elaborate ed affinate numerose tecniche per l'analisi della Risposta Sismica Locale, diverse tra loro a seconda delle modalità di rappresentazione del problema e degli elementi di complessità introdotti al fine di rendere lo schema ideale e rappresentato col modello il più vicino possibile alla situazione reale. Ovviamente non esiste un modello universalmente valido ed applicabile in tutte le situazioni, bensì una soluzione, ogni volta diversa, da adattare al caso in

esame. Tali modelli si raggruppano in varie categorie e principalmente in funzione della dimensionalità con cui rappresentano la situazione reale; potranno quindi essere delineati modelli monodimensionali, bidimensionali e tridimensionali.

I modelli più semplici e comunemente utilizzati sono i modelli monodimensionali (1D), che si basano su una serie di ipotesi e di semplificazioni introdotte nella caratterizzazione geometrica e meccanica del deposito e nelle leggi di propagazione delle onde sismiche e di comportamento dei terreni.

L'analisi numerica utilizzata nel presente lavoro per la valutazione della risposta di sito, sarà pertanto come accennato in premessa del tipo monodimensionale, semplificazione in ogni caso accettabile in quanto nell'area in esame esiste una discreta continuità stratigrafica laterale.

Al fine di realizzare la suddetta analisi, è quindi necessario:

- acquisire un segnale sismico di input mediante accelerogrammi, possibilmente reali, dell'area in studio o comunque spettro – compatibili;
- definire una stratigrafia corredata di parametri fisico – meccanici almeno fino a quello che può essere considerato un bedrock;
- definire la funzione di trasferimento e di amplificazione del segnale dal bedrock alla superficie e calcolare il nuovo segnale che tenga conto delle "modificazioni" indotte dalla stratigrafia.

La prima fase di acquisizione è stata realizzata attraverso l'apposito software gratuito REXEL (I. Iervolino, C. Galasso, E. Cosenza (2010). REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362), mentre per le elaborazioni per la definizione delle funzioni di trasferimento ed amplificazione e degli output accelerometrici e di spettro, è stato utilizzato il software "RSL III" della GeoStru S.R.L. - Via C. Colombo 89, 89032 BIANCO (RC).

I dati di input necessari per una valutazione quantitativa del verificarsi di amplificazioni nell'onda sismica incidente sul sito in oggetto, saranno i seguenti:

- n°7 accelerogrammi spettro – compatibili.
- dati stratigrafici, geotecnici e geofisici dei terreni costituenti il sottosuolo.

Per la modellazione sismica sono stati utilizzati i parametri geomeccanici e sismici ricavati durante la campagna di indagini geognostiche, eseguita per la caratterizzazione geotecnica e geofisica del terreno di fondazione. Come evidenziato nella relazione geologica, la stessa è raffigurabile in:

- n°1 sondaggio a carotaggio continuo fino a 30 ml di profondità dal p.c. attrezzato per prova Down-Hole;
- n°3 prove SPT eseguite nel foro di sondaggio;

- n°3 prelievi di campioni indisturbati analizzati in laboratorio con esame tipo identificazione, analisi granulometrica, determinazione dei limiti di Atterberg e prova di taglio diretto CD;
- n°5 prove penetrometriche dinamiche SCPT attrezzate con piezometro;
- n°1 prova geofisica Down-Hole fino a 30 m di profondità dal p.c. con acquisizione ogni metro;
- n°8 linee di scansione georadar;
- n°2 stendimenti di sismica a rifrazione sism1 da 96 m e sism2 da 72 m per complessivi 168 m;
- n°1 stendimento di sismica tipo MASW;
- n°1 registrazione di HVSr (Microtremori).

Per i risultati e le conclusioni derivanti dalla campagna di indagini geognostiche, si rimanda alla Relazione Geologica di progetto ed all'allegato "Rapporto Tecnico Indagini".

Inoltre per la modellazione abbiamo considerato:

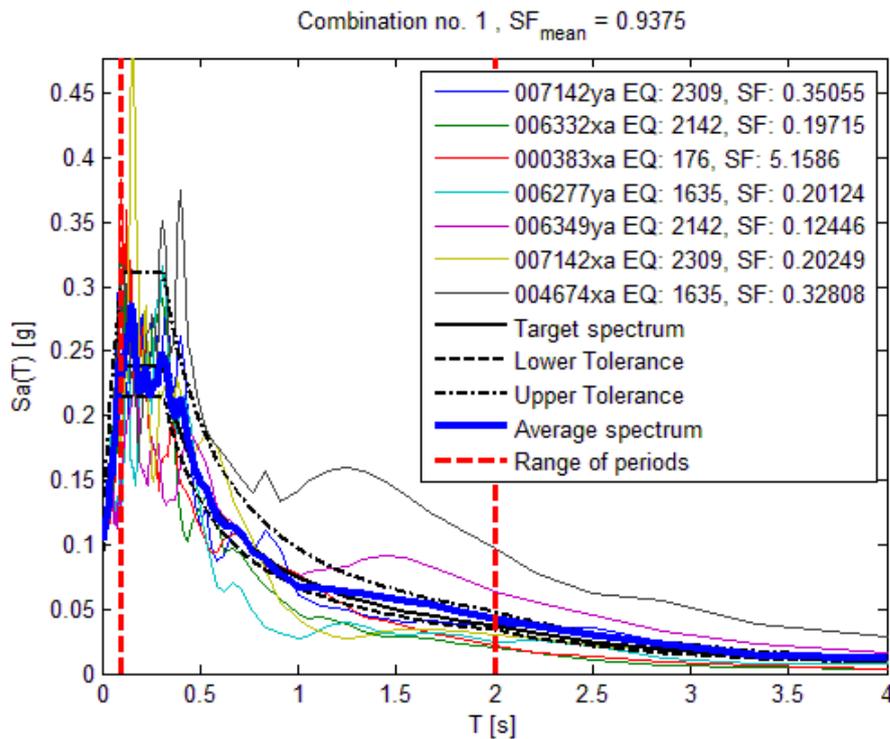
- **Vita Nominale VN = 100 anni.** - La vita nominale di un'opera strutturale VN, secondo le NTC08, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità:
 - $VN \leq 10$ anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto ≥ 2 anni.
 - $VN \geq 50$ anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
 - $VN \geq 100$ anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.
- **Classe d'uso IV** a cui è associato il **coefficiente d'uso CU = 2.** - 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, 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. $CU = 2.0$;
Una volta ottenuti VN e CU, è possibile calcolare il periodo di riferimento VR, che qui vale:
 $VR = 100 * 2 = 200$ anni.
- **Categoria sottosuolo: B** - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 maggiore di 50 nei terreni a grana grossa e c_{u30} maggiore di 250 kPa nei terreni a grana fine).
- **Categoria topografica: T1** - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

Gli accelerogrammi selezionati tramite il software REXEL (I. Iervolino, C. Galasso, E. Cosenza (2010). REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362) si riferiscono ad eventi sismici reali e spettro – compatibili. La selezione è inoltre avvenuta, ai sensi del D.M. 14/01/2008, impostando come stati limite di riferimento l'SLO, SLD ed SLV, classe d'uso IV, e vita nominale della struttura 100 anni.

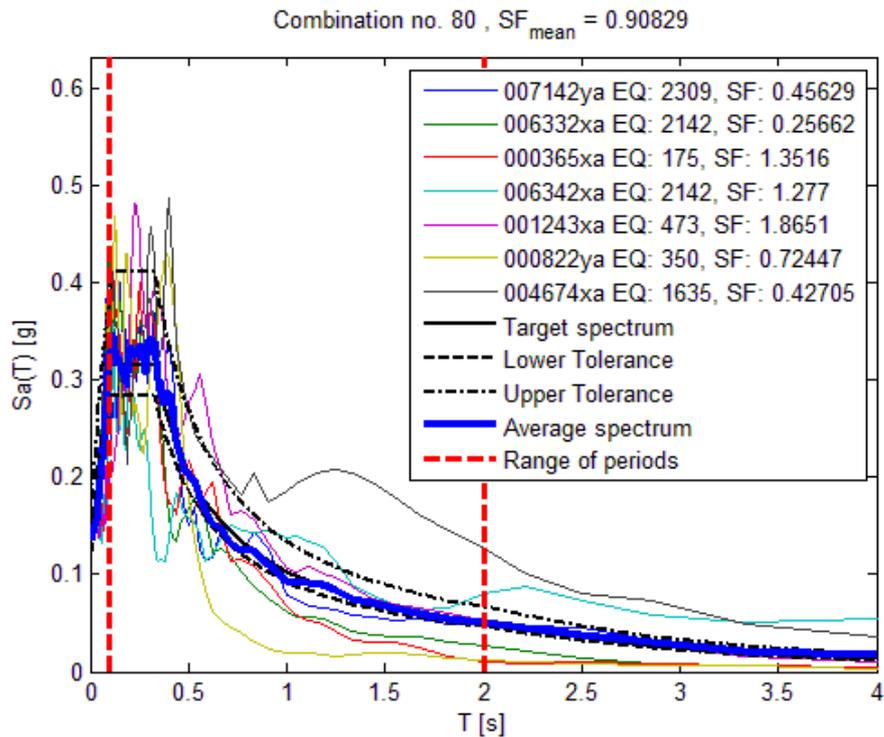
Come target della ricerca è stato utilizzato lo spettro di normativa al substrato sismico, quindi considerando una categoria di sottosuolo di tipo A. E' stata poi operata la disaggregazione degli eventi sismici che hanno contribuito alla definizione della pericolosità sismica del sito di progetto in termini di magnitudo e distanza epicentrale ai vari stati limite SLE ed SLU.

La ricerca è stata eseguita, quindi, utilizzando tali parametri con una tolleranza sul target spectrum del 30% verso l'alto e del 10% verso il basso. Si è inoltre optato nella ricerca, di scalare l'intensità, favorendo la similarità della forma spettrale.

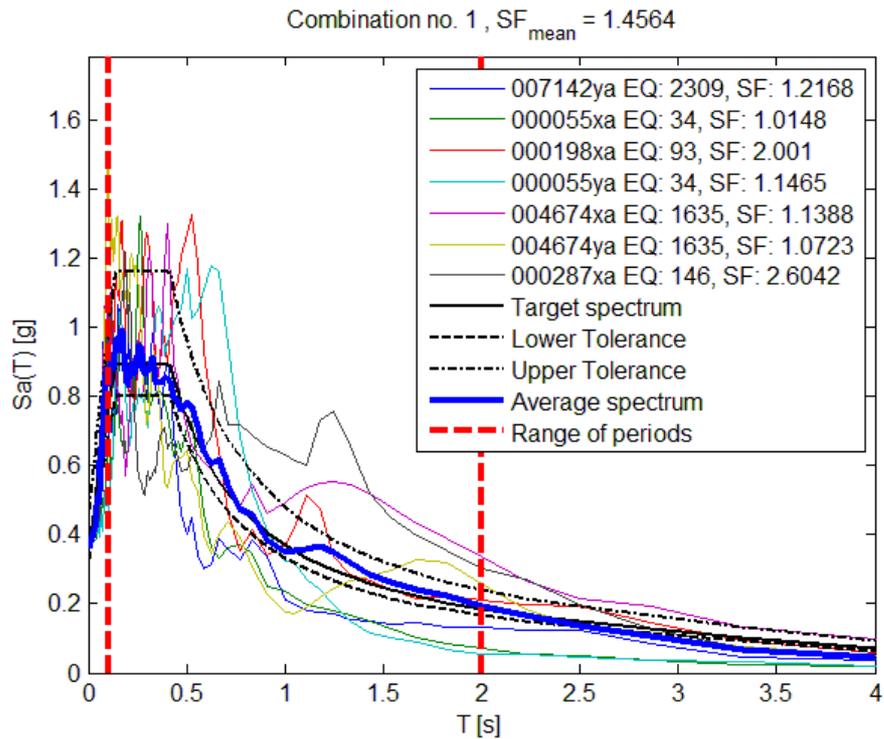
Sono stati così estratti 7 accelerogrammi rientrati nei margini di tolleranza prefissati, i cui spettri sono messi a confronto con il target spectrum nei grafici di seguito allegati:



- SLO



- SLD



- SLV

Gli accelerogrammi di questi eventi, sono stati successivamente "scalati" in termini di accelerazione di base per gli stati limite SLO, SLD ed SLV ed applicati al substrato sismico locale, per come risultato nelle indagini eseguite nel sito di progetto, soprattutto in relazione alla stratigrafia sismica definita mediante le indagini geofisiche. Per quanto concerne i parametri meccanici dinamici, in particolare il variare del damping e del modulo di taglio con la

deformazione, non disponendo di misure dinamiche di laboratorio, si è effettuata una ricerca in letteratura a partire dalle litologie presenti e tramite le varie opzioni messe a disposizione dal software GeoStru RSL III.

Nei calcoli della risposta sismica di sito, quindi, sono stati applicati gli accelerogrammi individuati con Rexel al tetto del substrato, e si è calcolato come l'azione sismica sia stata modificata nel percorso compreso tra esso e la superficie del suolo.

Nel calcolo dello spettro di risposta elastico in accelerazione al sito, è stato adottato un valore del damping pari al 5%.

Per i vari stati limite sono stati quindi determinati, per ognuno dei 7 eventi reali ipotizzati:

- gli accelerogrammi alla superficie del suolo;
- gli accelerogrammi al tetto del substrato sismico;
- gli spettri di risposta alla superficie del suolo ed al bedrock sismico;
- la funzione di trasferimento dell'accelerazione tra il substrato sismico e la superficie del suolo, calcolata come rapporto tra le ampiezze al suolo e l'ampiezza al substrato al variare della frequenza;
- gli spettri di risposta medio e normalizzato.

Ai tecnici progettisti saranno forniti su supporto informatico, sia i file numerici generati dal programma REXEL che quelli ricavati dall'elaborazione con RSL III.

4 PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, uno spettro di risposta in accelerazione e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
 - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;
 Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile "trasferire" l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10} \quad \text{dove } M \text{ rappresenta la magnitudo del sisma.}$$

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l'N-esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo

come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t} \right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z) e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

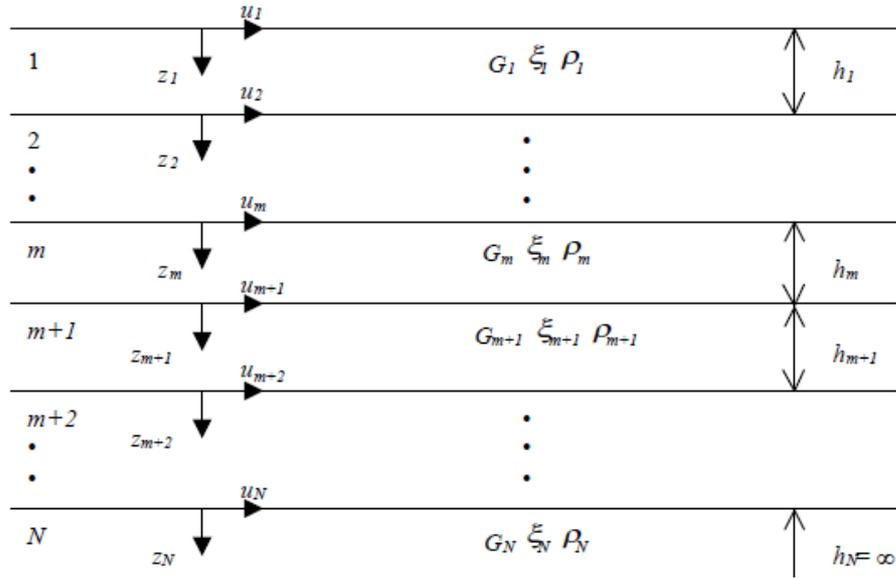
$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = E e^{i(\omega + k^* z)} + F e^{i(\omega - k^* z)} \quad (7)$$


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto ($-z$) e verso il basso ($+z$), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = \left(E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \right) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' m -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed $m+1$, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (Ee^{ik^*z} - Fe^{-ik^*z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

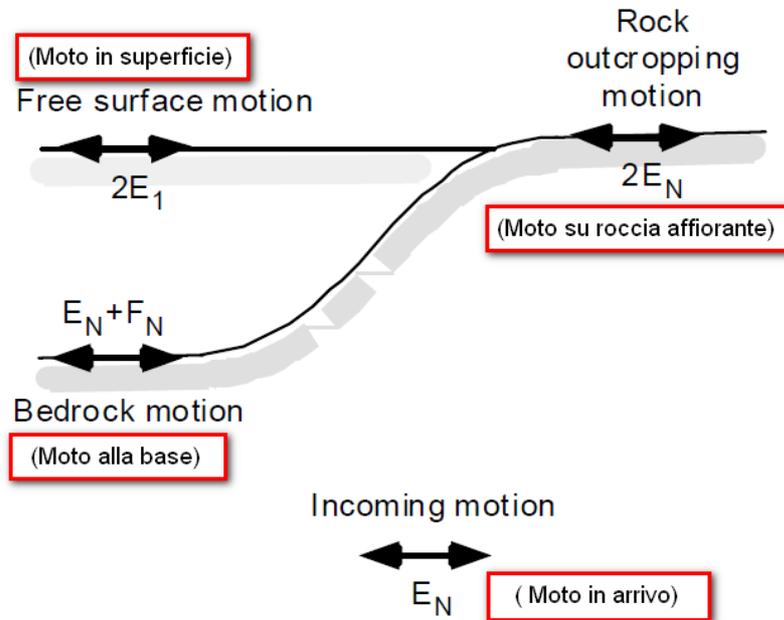


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)^{0.492}}{\gamma} \right) \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

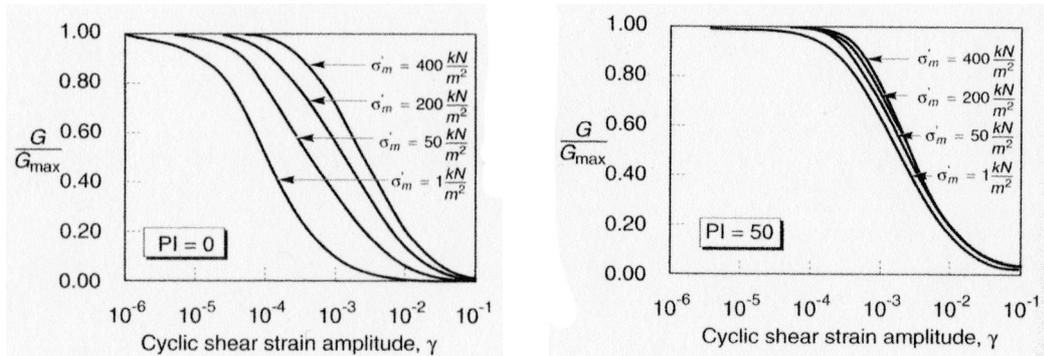


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.3})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

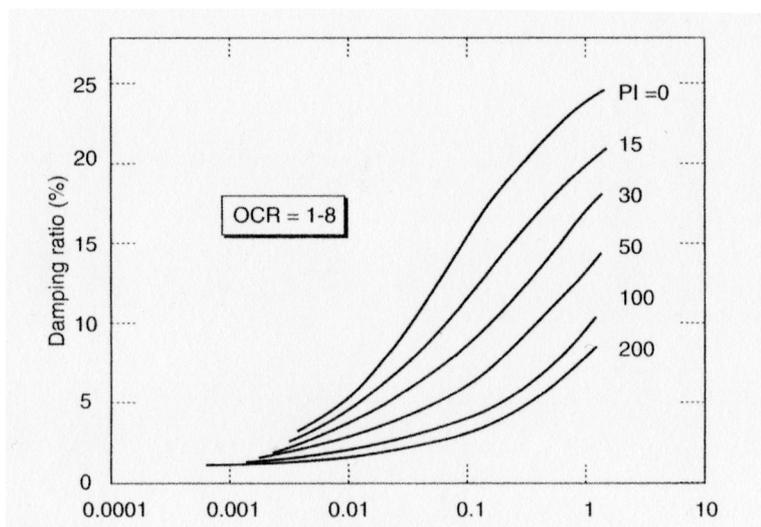


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

5 ANALISI DINAMICA PER LO STATO LIMITE SLO

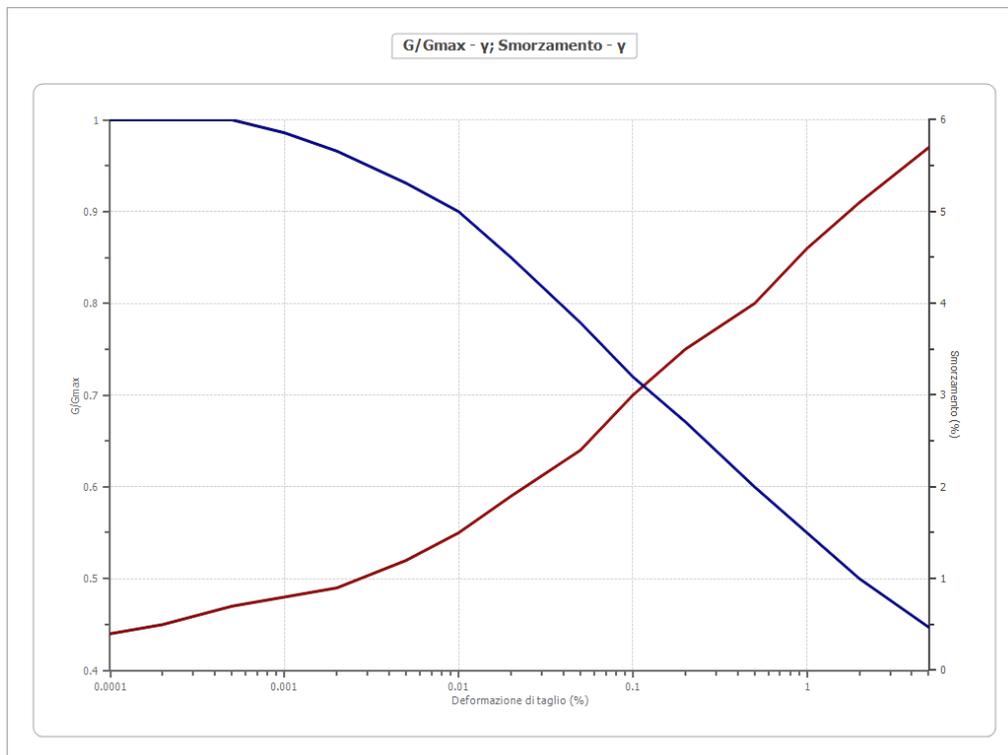
Dati generali

Latitudine 39.17385[°]
 Longitudine 16.31805[°]

Terreni

Idriss (1990) Rock

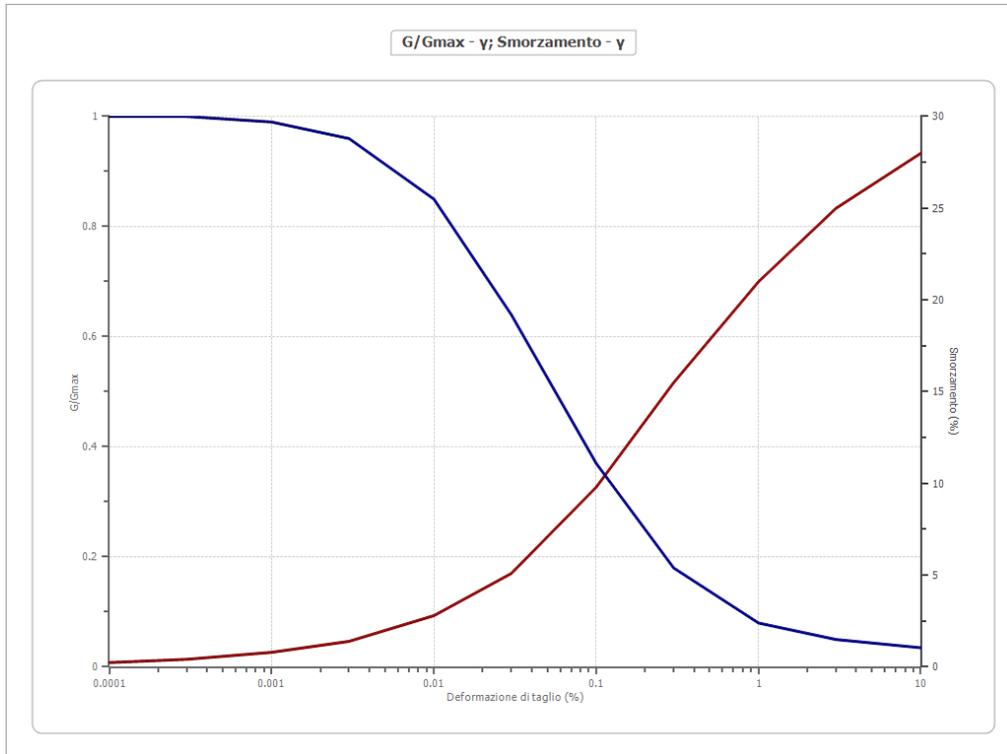
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700



Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400

0.010	0.850	0.010	2.800
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000	0.035	10.000	28.000



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	9.6	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	151.53	--	19.8	274.0	48.0
2		9.6	16.4	Idriss (1990) Rock	0	914.34	--	21.1	652.0	268.9
3		oo	--	Smorzamento costante	0	3229.36	--	22.0	1200.0	441.9

Strato con falda: 2
 Strato rilevamento accelerogramma: 3 Affiorante

Profilo			Velocità onde di taglio		Tensione verticale	
9.60 [m]			274.0 [m/s]		48.0 [kPa]	
9.60 [m]						
16.40 [m]			652.0 [m/s]		268.9 [kPa]	
26.00 [m]						
			1200.0 [m/s]		441.9 [kPa]	
		oo				

Elaborazione

Numero di iterazioni 20

Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5

Tipo di modulo elastico Shake

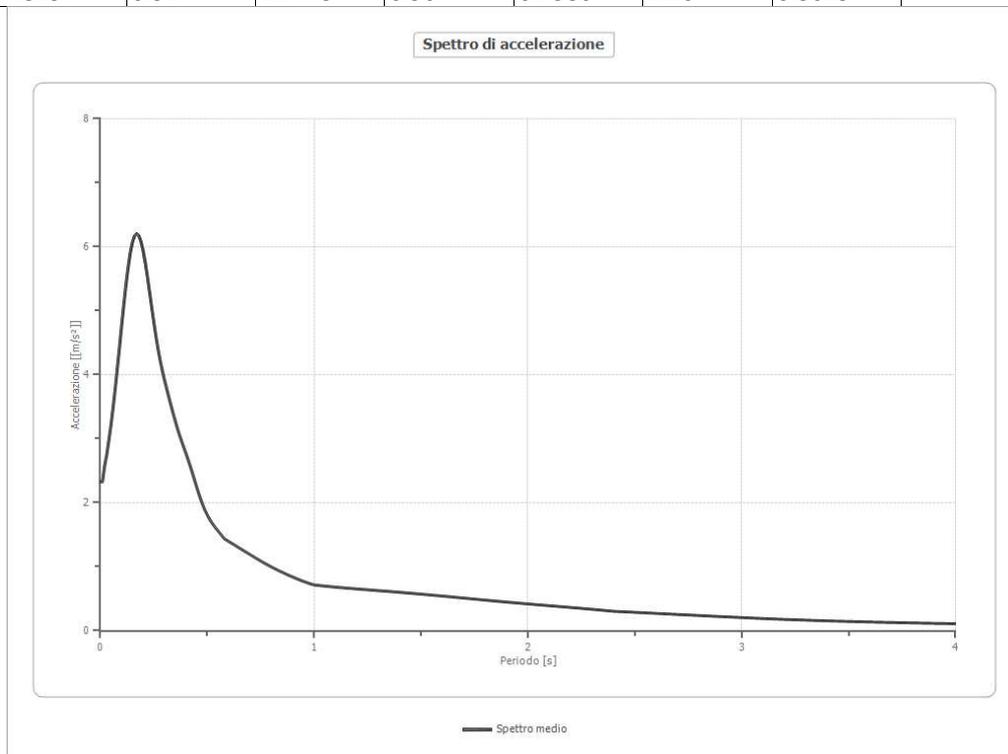
Massimo errore percentuale di convergenza --

Fattori di amplificazione

Tai	0.150 [s]
Tvi	1.900 [s]
Tao	0.170 [s]
Tvo	0.390 [s]
Sami	2.248 [m/s ²]
Svmi	0.147 [m/s]
Samo	5.550 [m/s ²]
Svmo	0.191 [m/s]
Fa	2.469 [-]
Fv	1.304 [-]
TB	0.126 [s]
TC	0.219 [s]
TD	2.188 [s]
SA(0)	2.646 [m/s ²]
SA(TB)	6.206 [m/s ²]

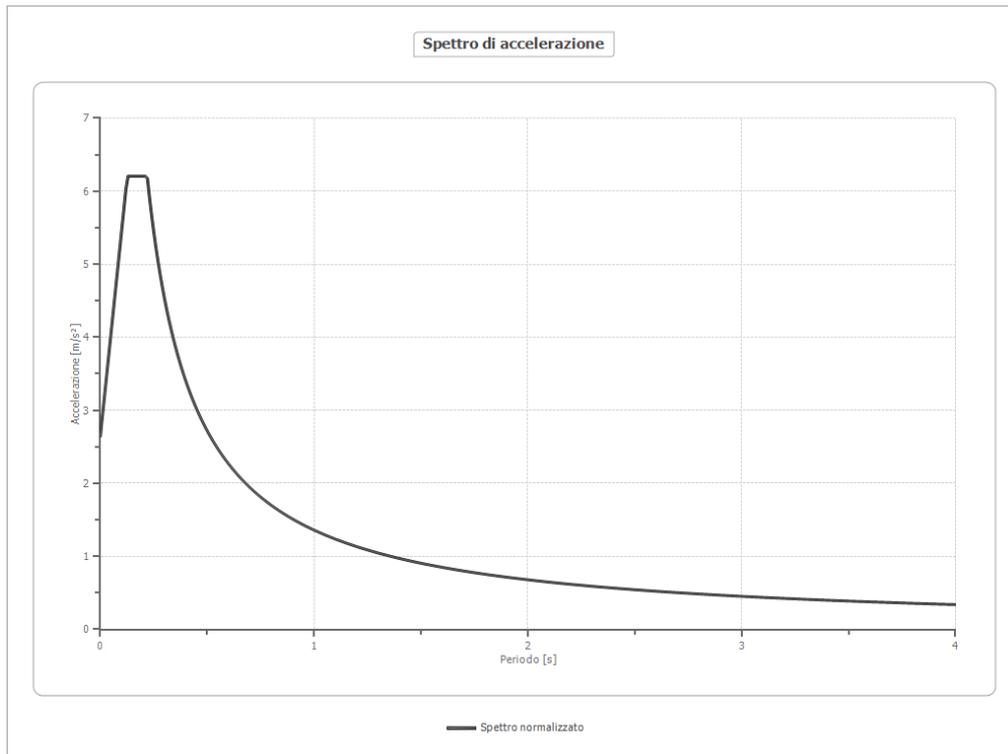
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]								
0.00	2.3290	0.26	4.5978	0.52	1.6947	0.98	0.7358	2.25	0.3487
0.01	2.3294	0.27	4.3970	0.53	1.6468	1.00	0.7154	2.30	0.3341
0.02	2.5796	0.28	4.2184	0.54	1.6025	1.05	0.6971	2.35	0.3190
0.03	2.7522	0.29	4.0598	0.55	1.5601	1.10	0.6809	2.40	0.3034
0.04	2.9803	0.30	3.9164	0.56	1.5186	1.15	0.6661	2.50	0.2872
0.05	3.2229	0.31	3.7823	0.57	1.4775	1.20	0.6524	2.60	0.2707
0.06	3.4980	0.32	3.6529	0.58	1.4363	1.25	0.6393	2.70	0.2540
0.07	3.7968	0.33	3.5257	0.60	1.3952	1.30	0.6263	2.80	0.2373
0.08	4.1162	0.34	3.4009	0.62	1.3541	1.35	0.6131	2.90	0.2210
0.09	4.4473	0.35	3.2805	0.64	1.3131	1.40	0.5996	3.00	0.2053
0.10	4.7807	0.36	3.1667	0.66	1.2721	1.45	0.5857	3.10	0.1907
0.11	5.1052	0.37	3.0608	0.68	1.2311	1.50	0.5712	3.20	0.1772
0.12	5.4086	0.38	2.9619	0.70	1.1901	1.55	0.5563	3.30	0.1651
0.13	5.6779	0.39	2.8675	0.72	1.1494	1.60	0.5410	3.40	0.1543
0.14	5.9011	0.40	2.7738	0.74	1.1092	1.65	0.5254	3.50	0.1448
0.15	6.0676	0.41	2.6775	0.76	1.0702	1.70	0.5095	3.60	0.1365
0.16	6.1702	0.42	2.5763	0.78	1.0325	1.75	0.4937	3.70	0.1290
0.17	6.2056	0.43	2.4701	0.80	0.9967	1.80	0.4779	3.80	0.1221
0.18	6.1750	0.44	2.3607	0.82	0.9625	1.85	0.4624	3.90	0.1156
0.19	6.0834	0.45	2.2514	0.84	0.9299	1.90	0.4473	4.00	0.1093
0.20	5.9388	0.46	2.1456	0.86	0.8985	1.95	0.4326		
0.21	5.7518	0.47	2.0468	0.88	0.8681	2.00	0.4183		
0.22	5.5339	0.48	1.9572	0.90	0.8387	2.05	0.4044		
0.23	5.2978	0.49	1.8777	0.92	0.8104	2.10	0.3906		
0.24	5.0557	0.50	1.8083	0.94	0.7836	2.15	0.3768		
0.25	4.8194	0.51	1.7479	0.96	0.7586	2.20	0.3629		



Spettro normalizzato di risposta elastico

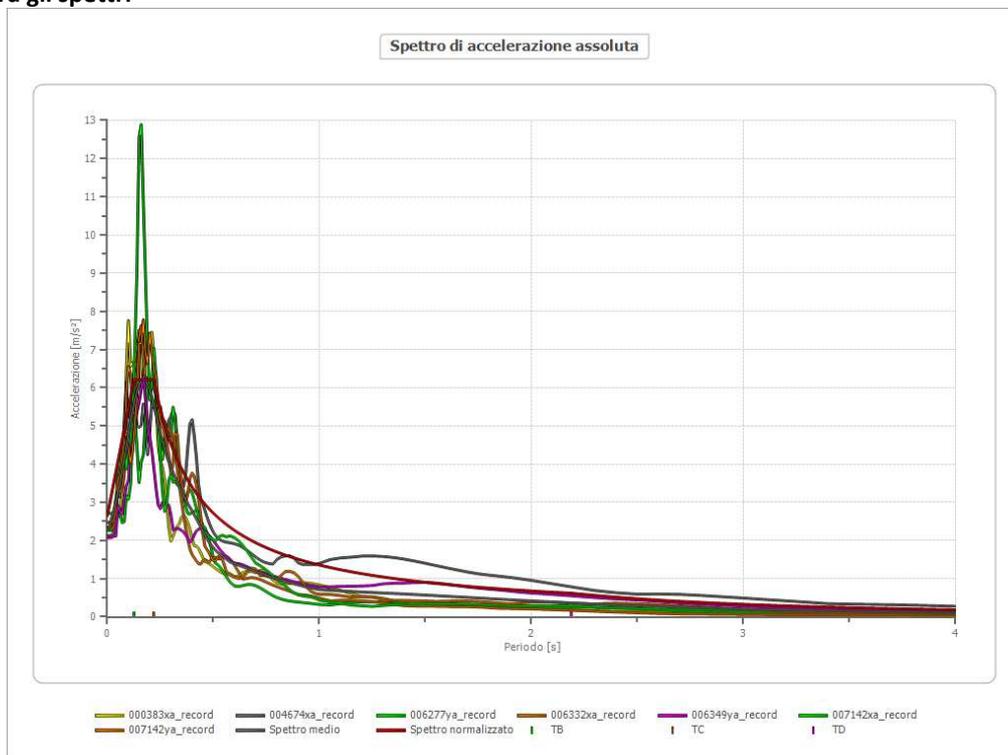
Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]								
0.00	2.6463	0.26	5.2271	0.52	2.6135	0.98	1.3868	2.25	0.6040
0.01	2.9288	0.27	5.0335	0.53	2.5642	1.00	1.3590	2.30	0.5909
0.02	3.2113	0.28	4.8537	0.54	2.5167	1.05	1.2943	2.35	0.5783
0.03	3.4938	0.29	4.6863	0.55	2.4710	1.10	1.2355	2.40	0.5663
0.04	3.7763	0.30	4.5301	0.56	2.4268	1.15	1.1818	2.50	0.5436
0.05	4.0587	0.31	4.3840	0.57	2.3843	1.20	1.1325	2.60	0.5227
0.06	4.3412	0.32	4.2470	0.58	2.3432	1.25	1.0872	2.70	0.5033
0.07	4.6237	0.33	4.1183	0.60	2.2651	1.30	1.0454	2.80	0.4854
0.08	4.9062	0.34	3.9972	0.62	2.1920	1.35	1.0067	2.90	0.4686
0.09	5.1887	0.35	3.8830	0.64	2.1235	1.40	0.9707	3.00	0.4530
0.10	5.4712	0.36	3.7751	0.66	2.0591	1.45	0.9373	3.10	0.4384
0.11	5.7537	0.37	3.6731	0.68	1.9986	1.50	0.9060	3.20	0.4247
0.12	6.0361	0.38	3.5764	0.70	1.9415	1.55	0.8768	3.30	0.4118
0.13	6.2056	0.39	3.4847	0.72	1.8875	1.60	0.8494	3.40	0.3997
0.14	6.2056	0.40	3.3976	0.74	1.8365	1.65	0.8237	3.50	0.3883
0.15	6.2056	0.41	3.3147	0.76	1.7882	1.70	0.7994	3.60	0.3775
0.16	6.2056	0.42	3.2358	0.78	1.7424	1.75	0.7766	3.70	0.3673
0.17	6.2056	0.43	3.1605	0.80	1.6988	1.80	0.7550	3.80	0.3576
0.18	6.2056	0.44	3.0887	0.82	1.6574	1.85	0.7346	3.90	0.3485
0.19	6.2056	0.45	3.0201	0.84	1.6179	1.90	0.7153	4.00	0.3398
0.20	6.2056	0.46	2.9544	0.86	1.5803	1.95	0.6969		
0.21	6.2056	0.47	2.8916	0.88	1.5444	2.00	0.6795		
0.22	6.1774	0.48	2.8313	0.90	1.5100	2.05	0.6629		
0.23	5.9088	0.49	2.7735	0.92	1.4772	2.10	0.6472		
0.24	5.6626	0.50	2.7181	0.94	1.4458	2.15	0.6321		
0.25	5.4361	0.51	2.6648	0.96	1.4157	2.20	0.6177		



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s ²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s ²]	Se(TB) [m/s ²]
2.646	2.345	0.219	0.126	0.219	2.188	2.646	6.206

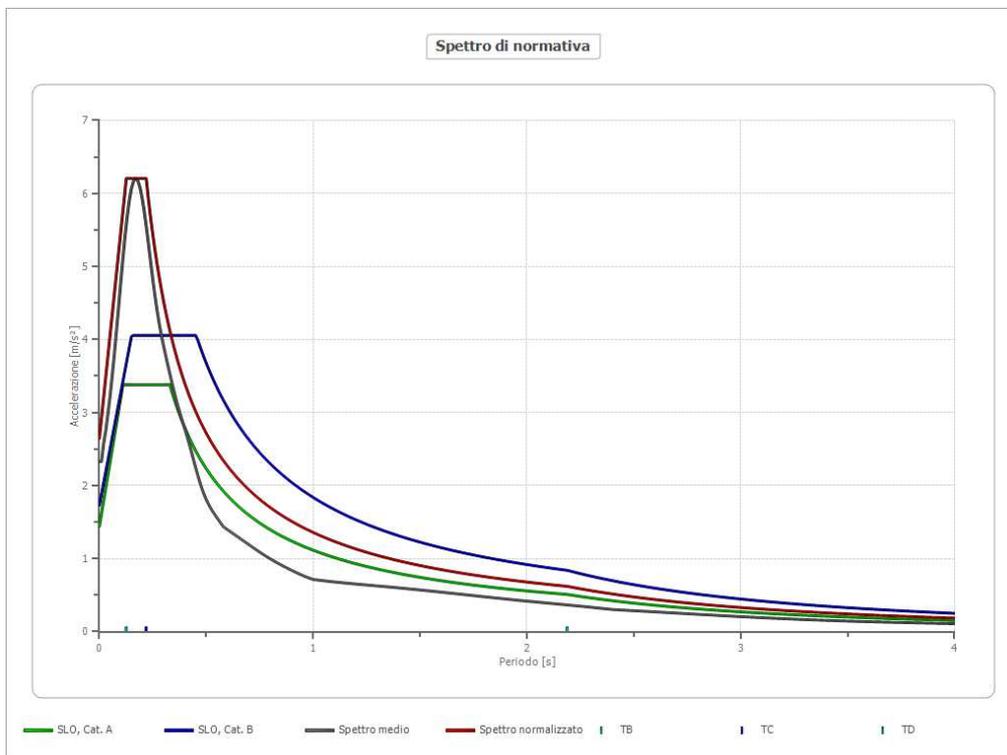
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa - SLO

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardi a vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardi a vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	120	201	1898	2475	120	201	1898	2475
ag [m/s ²]	1.442	1.844	4.571	5.042	1.442	1.844	4.571	5.042
Fo	2.345	2.376	2.509	2.527	2.345	2.376	2.509	2.527
Tc* [s]	0.33	0.346	0.439	0.448	0.33	0.346	0.439	0.448
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.37	1.36	1.30	1.29
TB [s]	0.110	0.115	0.146	0.149	0.151	0.157	0.190	0.193
TC [s]	0.330	0.346	0.439	0.448	0.453	0.471	0.569	0.579
TD [s]	2.188	2.352	3.464	3.656	2.188	2.352	3.464	3.656
Se(0) [m/s ²]	1.442	1.844	4.571	5.042	1.730	2.213	4.571	5.042
Se(TB) [m/s ²]	3.381	4.381	11.469	12.741	4.058	5.258	11.469	12.741



6 ANALISI DINAMICA PER LO STATO LIMITE SLD

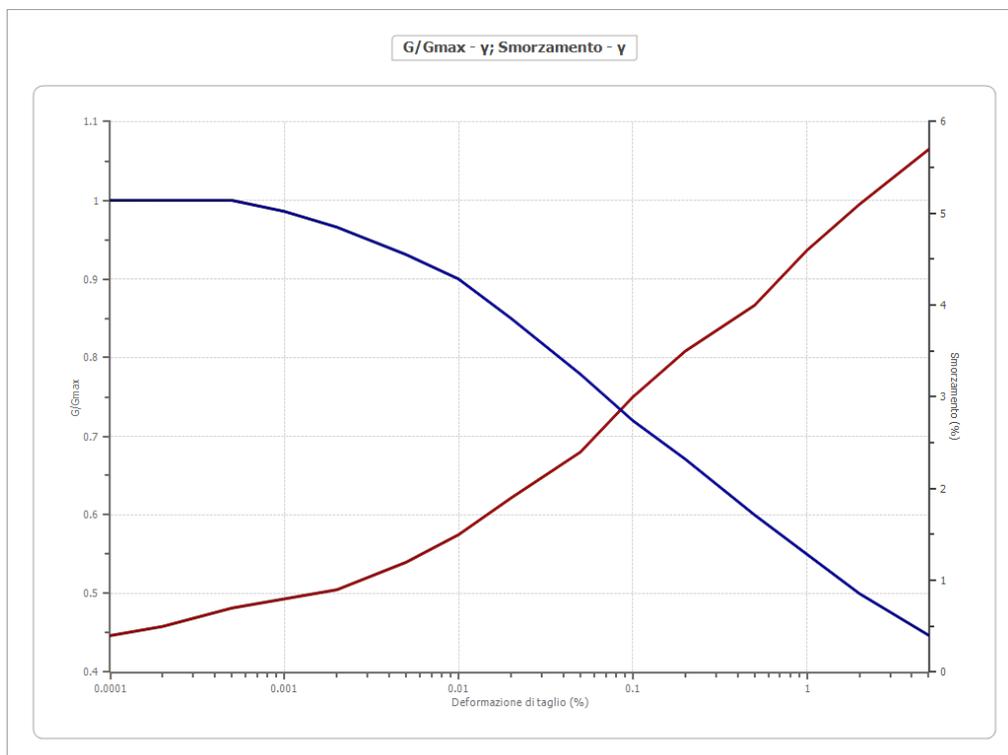
Dati generali

Latitudine 39.17385[°]
 Longitudine 16.31805[°]

Terreni

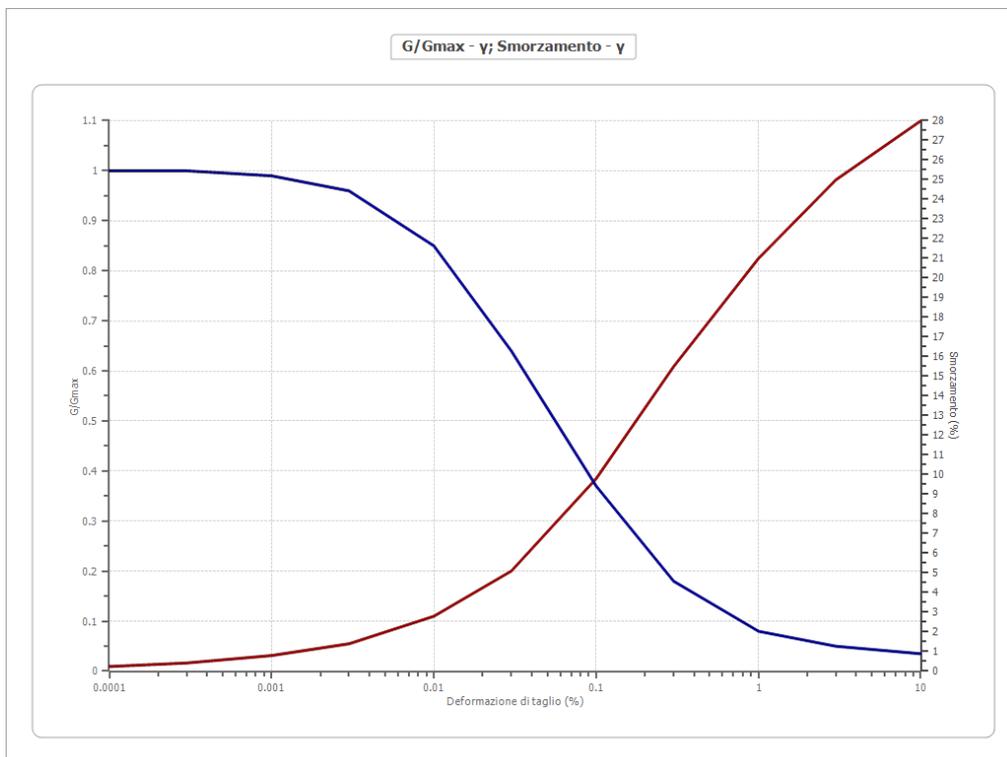
Idriss (1990) Rock

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700



Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400
0.010	0.850	0.010	2.800
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000	0.035	10.000	28.000



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	9.6	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	151.53	--	19.8	274.0	48.0
2		9.6	16.4	Idriss (1990) Rock	0	914.34	--	21.1	652.0	268.9
3		oo	--	Smorzamento costante	0	3229.36	--	22.0	1200.0	441.9

Strato con falda: 2
 Strato rilevamento accelerogramma: 3 Affiorante

Profilo			Velocità onde di taglio		Tensione verticale	
9.60 [m]			274.0 [m/s]		48.0 [kPa]	
9.60 [m]						
16.40 [m]			652.0 [m/s]		268.9 [kPa]	
26.00 [m]						
			1200.0 [m/s]		441.9 [kPa]	
		oo				

Elaborazione

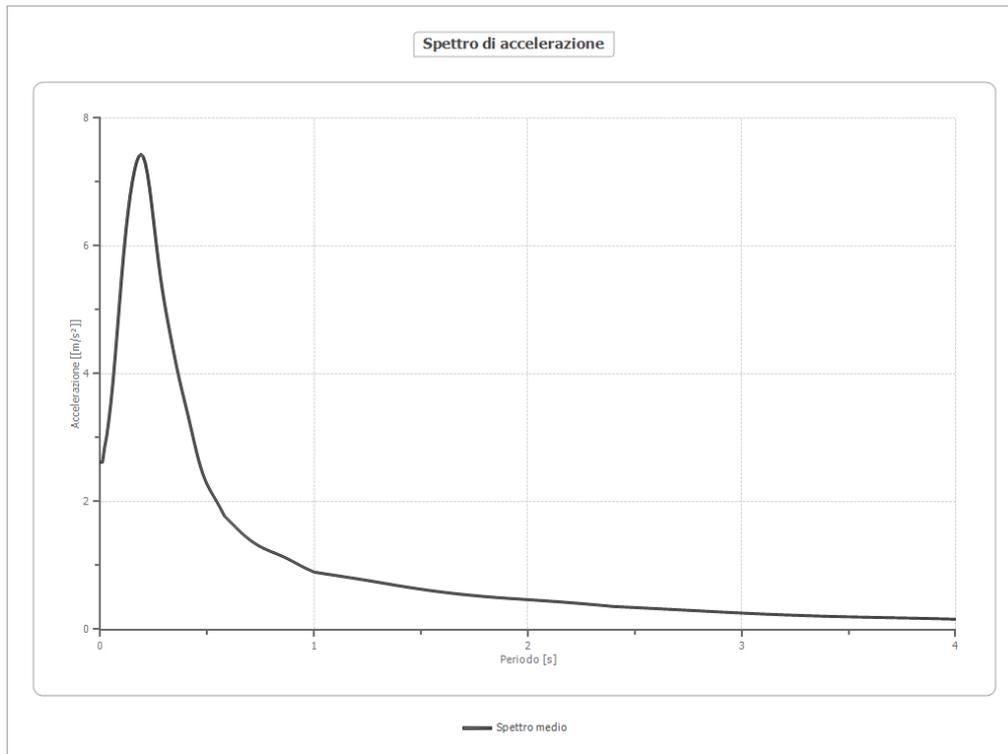
Numero di iterazioni 20
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza --

Fattori di amplificazione

Tai	0.270 [s]
Tvi	2.300 [s]
Tao	0.190 [s]
Tvo	0.320 [s]
Sami	2.774 [m/s ²]
Svmi	0.164 [m/s]
Samo	6.657 [m/s ²]
Svmo	0.247 [m/s]
Fa	2.399 [-]
Fv	1.510 [-]
TB	0.130 [s]
TC	0.240 [s]
TD	2.352 [s]
SA(0)	3.129 [m/s ²]
SA(TB)	7.434 [m/s ²]

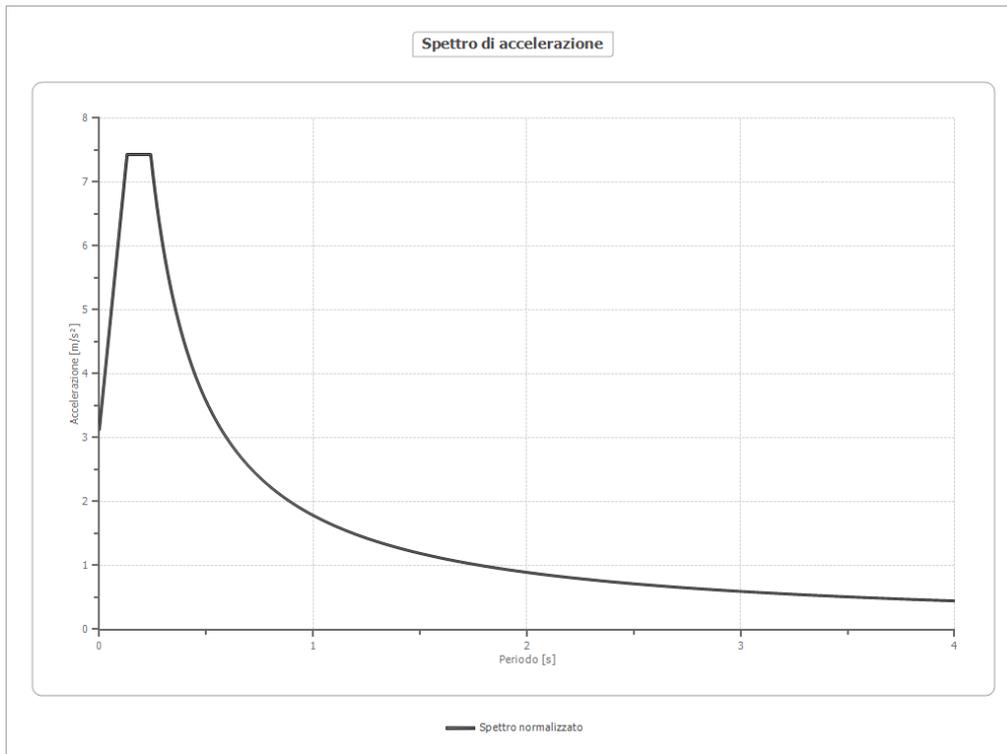
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]								
0.00	2.6156	0.26	6.0719	0.52	2.1387	0.98	0.9260	2.25	0.4040
0.01	2.6160	0.27	5.7951	0.53	2.0817	1.00	0.8971	2.30	0.3896
0.02	2.8520	0.28	5.5410	0.54	2.0249	1.05	0.8702	2.35	0.3745
0.03	3.0307	0.29	5.3123	0.55	1.9663	1.10	0.8445	2.40	0.3588
0.04	3.2790	0.30	5.1060	0.56	1.9052	1.15	0.8189	2.50	0.3423
0.05	3.5662	0.31	4.9160	0.57	1.8413	1.20	0.7925	2.60	0.3252
0.06	3.9074	0.32	4.7354	0.58	1.7751	1.25	0.7652	2.70	0.3077
0.07	4.2901	0.33	4.5595	0.60	1.7077	1.30	0.7370	2.80	0.2900
0.08	4.7008	0.34	4.3870	0.62	1.6402	1.35	0.7085	2.90	0.2726
0.09	5.1201	0.35	4.2190	0.64	1.5742	1.40	0.6805	3.00	0.2560
0.10	5.5283	0.36	4.0580	0.66	1.5111	1.45	0.6536	3.10	0.2406
0.11	5.9085	0.37	3.9059	0.68	1.4522	1.50	0.6283	3.20	0.2269
0.12	6.2494	0.38	3.7621	0.70	1.3987	1.55	0.6048	3.30	0.2150
0.13	6.5466	0.39	3.6239	0.72	1.3513	1.60	0.5832	3.40	0.2050
0.14	6.8004	0.40	3.4873	0.74	1.3100	1.65	0.5633	3.50	0.1966
0.15	7.0131	0.41	3.3488	0.76	1.2745	1.70	0.5452	3.60	0.1893
0.16	7.1862	0.42	3.2064	0.78	1.2435	1.75	0.5286	3.70	0.1824
0.17	7.3181	0.43	3.0611	0.80	1.2155	1.80	0.5137	3.80	0.1756
0.18	7.4034	0.44	2.9161	0.82	1.1884	1.85	0.5002	3.90	0.1682
0.19	7.4336	0.45	2.7761	0.84	1.1605	1.90	0.4878	4.00	0.1600
0.20	7.4007	0.46	2.6458	0.86	1.1305	1.95	0.4763		
0.21	7.3006	0.47	2.5288	0.88	1.0980	2.00	0.4652		
0.22	7.1348	0.48	2.4267	0.90	1.0632	2.05	0.4541		
0.23	6.9120	0.49	2.3391	0.92	1.0273	2.10	0.4426		
0.24	6.6478	0.50	2.2640	0.94	0.9916	2.15	0.4304		
0.25	6.3614	0.51	2.1984	0.96	0.9576	2.20	0.4176		



Spettro normalizzato di risposta elastica

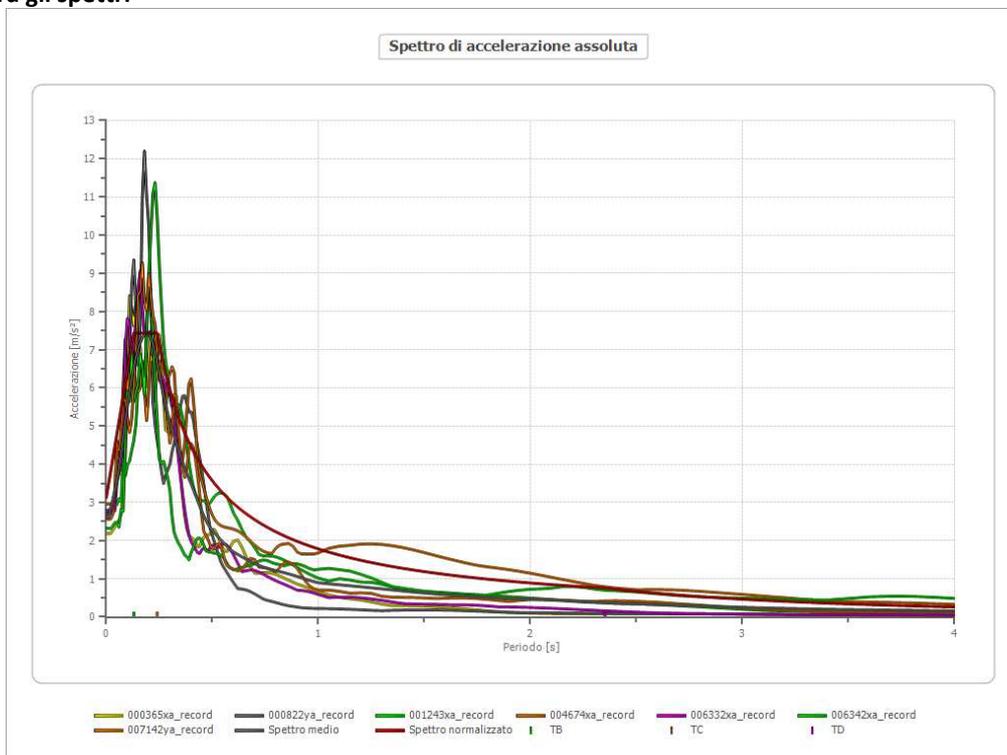
Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]								
0.00	3.1286	0.26	6.8618	0.52	3.4309	0.98	1.8205	2.25	0.7929
0.01	3.4598	0.27	6.6077	0.53	3.3662	1.00	1.7841	2.30	0.7757
0.02	3.7909	0.28	6.3717	0.54	3.3038	1.05	1.6991	2.35	0.7592
0.03	4.1221	0.29	6.1520	0.55	3.2438	1.10	1.6219	2.40	0.7434
0.04	4.4533	0.30	5.9469	0.56	3.1858	1.15	1.5514	2.50	0.7136
0.05	4.7844	0.31	5.7551	0.57	3.1300	1.20	1.4867	2.60	0.6862
0.06	5.1156	0.32	5.5752	0.58	3.0760	1.25	1.4273	2.70	0.6608
0.07	5.4467	0.33	5.4063	0.60	2.9735	1.30	1.3724	2.80	0.6372
0.08	5.7779	0.34	5.2473	0.62	2.8775	1.35	1.3215	2.90	0.6152
0.09	6.1090	0.35	5.0974	0.64	2.7876	1.40	1.2743	3.00	0.5947
0.10	6.4402	0.36	4.9558	0.66	2.7031	1.45	1.2304	3.10	0.5755
0.11	6.7713	0.37	4.8218	0.68	2.6236	1.50	1.1894	3.20	0.5575
0.12	7.1025	0.38	4.6949	0.70	2.5487	1.55	1.1510	3.30	0.5406
0.13	7.4336	0.39	4.5745	0.72	2.4779	1.60	1.1150	3.40	0.5247
0.14	7.4336	0.40	4.4602	0.74	2.4109	1.65	1.0813	3.50	0.5097
0.15	7.4336	0.41	4.3514	0.76	2.3475	1.70	1.0495	3.60	0.4956
0.16	7.4336	0.42	4.2478	0.78	2.2873	1.75	1.0195	3.70	0.4822
0.17	7.4336	0.43	4.1490	0.80	2.2301	1.80	0.9912	3.80	0.4695
0.18	7.4336	0.44	4.0547	0.82	2.1757	1.85	0.9644	3.90	0.4575
0.19	7.4336	0.45	3.9646	0.84	2.1239	1.90	0.9390	4.00	0.4460
0.20	7.4336	0.46	3.8784	0.86	2.0745	1.95	0.9149		
0.21	7.4336	0.47	3.7959	0.88	2.0274	2.00	0.8920		
0.22	7.4336	0.48	3.7168	0.90	1.9823	2.05	0.8703		
0.23	7.4336	0.49	3.6410	0.92	1.9392	2.10	0.8496		
0.24	7.4336	0.50	3.5681	0.94	1.8980	2.15	0.8298		
0.25	7.1363	0.51	3.4982	0.96	1.8584	2.20	0.8109		



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s ²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s ²]	Se(TB) [m/s ²]
3.129	2.376	0.240	0.130	0.240	2.352	3.129	7.434

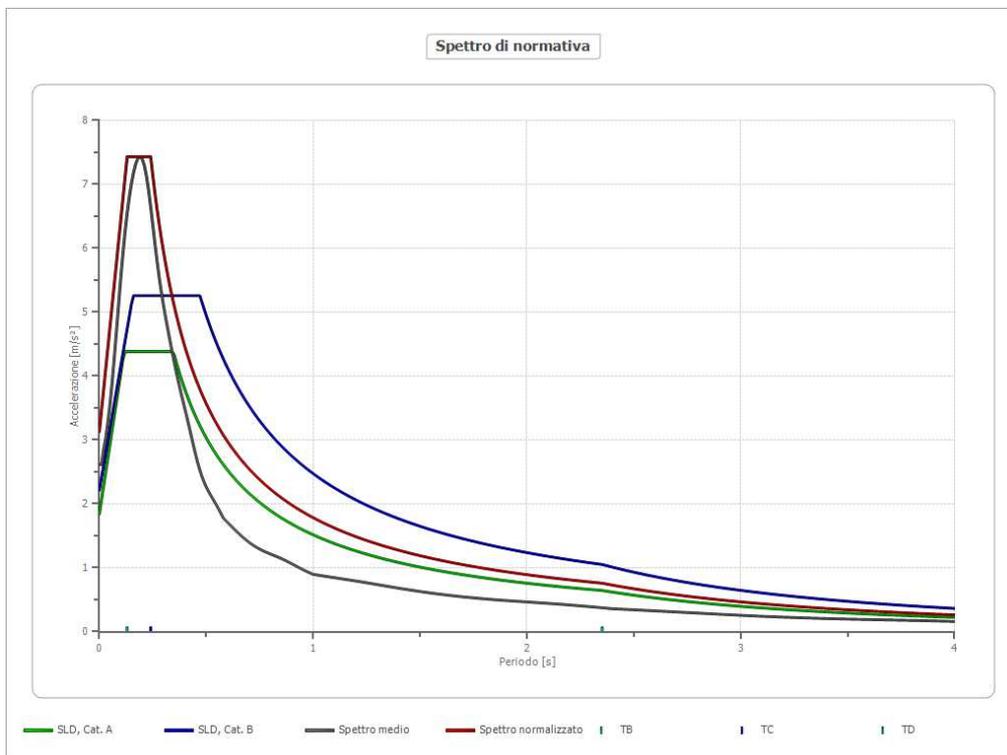
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa - SLD

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardi a vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardi a vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	120	201	1898	2475	120	201	1898	2475
ag [m/s ²]	1.442	1.844	4.571	5.042	1.442	1.844	4.571	5.042
Fo	2.345	2.376	2.509	2.527	2.345	2.376	2.509	2.527
Tc* [s]	0.33	0.346	0.439	0.448	0.33	0.346	0.439	0.448
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.37	1.36	1.30	1.29
TB [s]	0.110	0.115	0.146	0.149	0.151	0.157	0.190	0.193
TC [s]	0.330	0.346	0.439	0.448	0.453	0.471	0.569	0.579
TD [s]	2.188	2.352	3.464	3.656	2.188	2.352	3.464	3.656
Se(0) [m/s ²]	1.442	1.844	4.571	5.042	1.730	2.213	4.571	5.042
Se(TB) [m/s ²]	3.381	4.381	11.469	12.741	4.058	5.258	11.469	12.741



7 ANALISI DINAMICA PER LO STATO LIMITE SLV

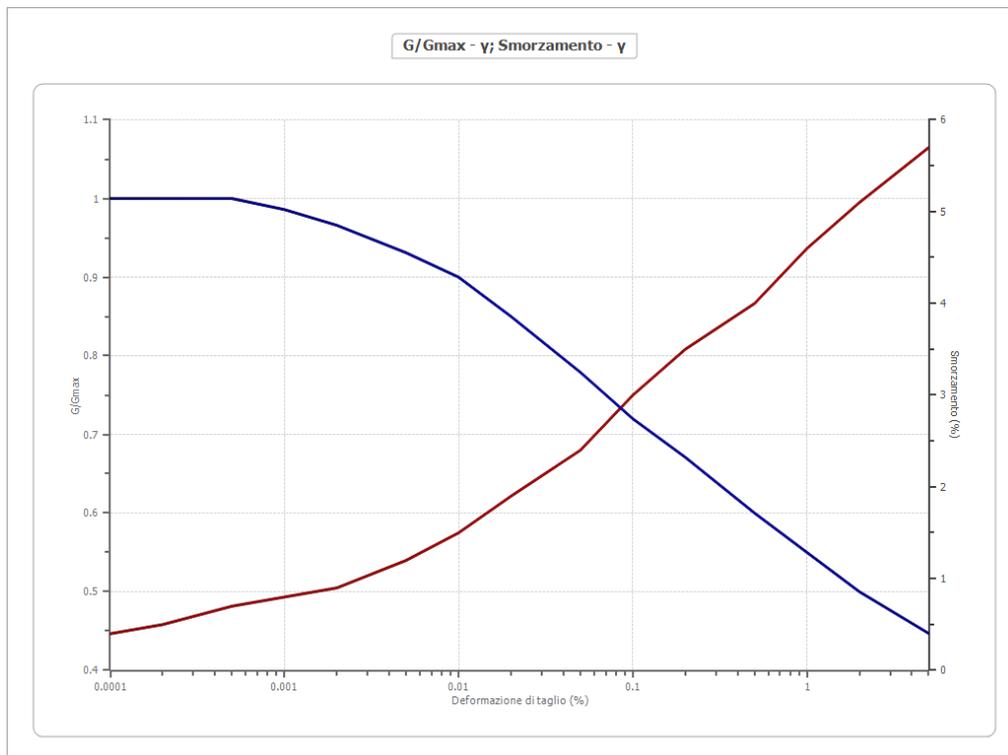
Dati generali

Latitudine 39.17385[°]
 Longitudine 16.31805[°]

Terreni

Idriss (1990) Rock

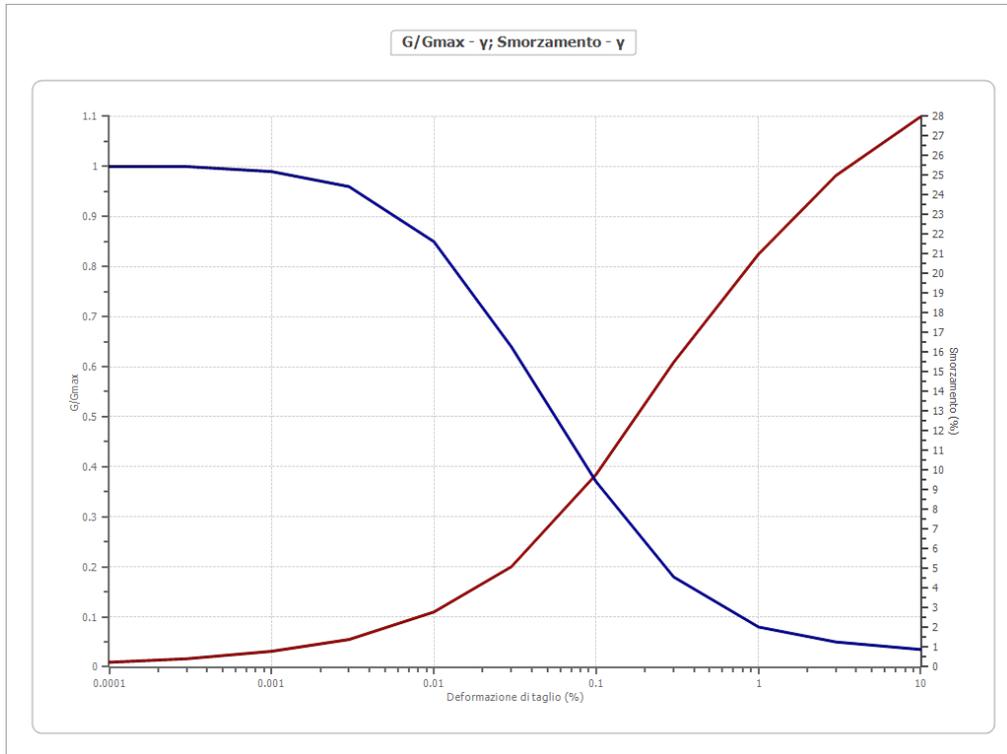
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700



Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400

0.010	0.850	0.010	2.800
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000	0.035	10.000	28.000



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	9.6	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	151.53	--	19.8	274.0	48.0
2		9.6	16.4	Idriss (1990) Rock	0	914.34	--	21.1	652.0	268.9
3		oo	--	Smorzamento costante	0	3229.36	--	22.0	1200.0	441.9

Strato con falda: 2
 Strato rilevamento accelerogramma: 3 Affiorante

Profilo			Velocità onde di taglio		Tensione verticale	
9.60 [m]			274.0 [m/s]		48.0 [kPa]	
	9.60 [m]					
16.40 [m]			652.0 [m/s]		268.9 [kPa]	
	26.00 [m]					
			1200.0 [m/s]		441.9 [kPa]	
		oo				

Elaborazione

Numero di iterazioni 20

Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5

Tipo di modulo elastico Shake

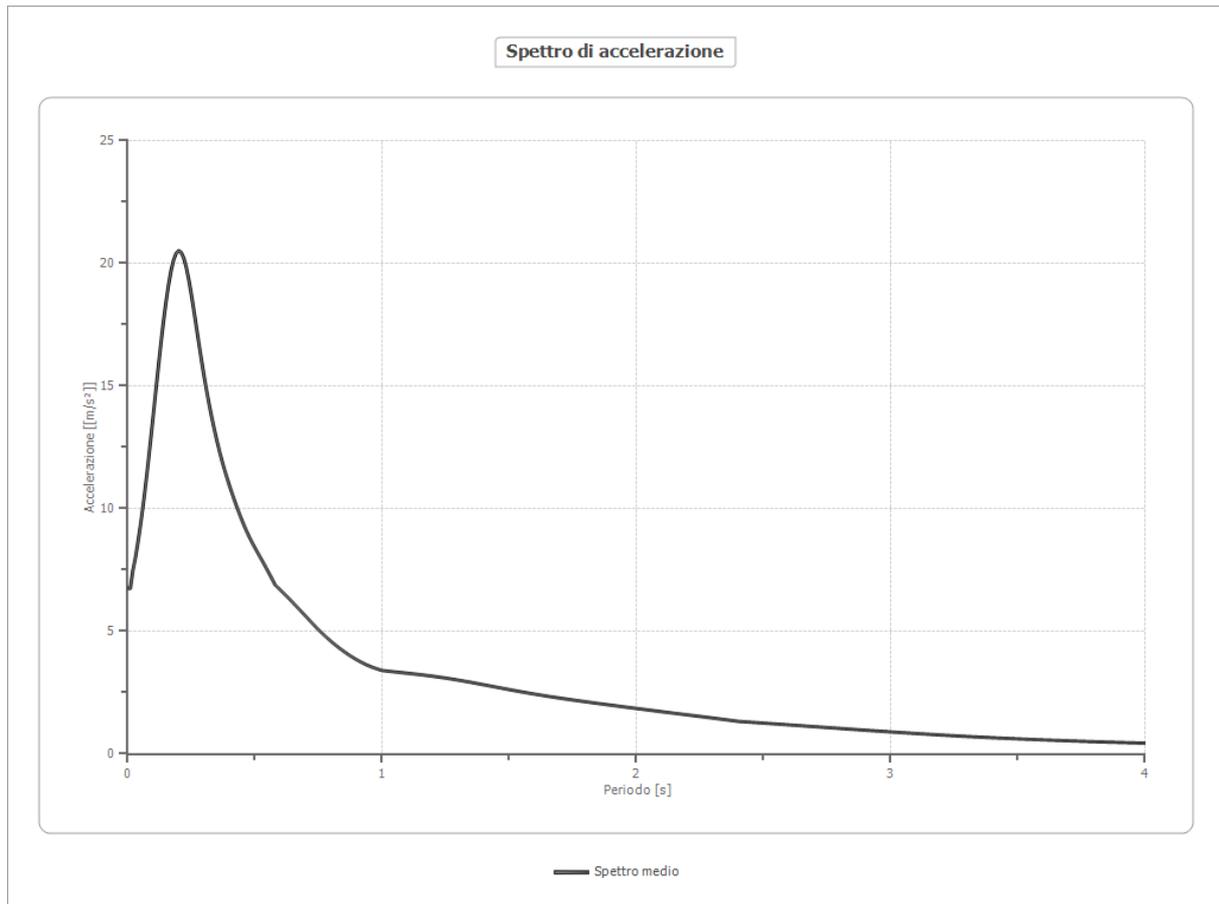
Massimo errore percentuale di convergenza 2.33 E-05

Fattori di amplificazione

Tai	0.160 [s]
Tvi	1.850 [s]
Tao	0.200 [s]
Tvo	1.800 [s]
Sami	7.372 [m/s ²]
Svmi	0.657 [m/s]
Samo	18.225 [m/s ²]
Svmo	0.744 [m/s]
Fa	2.472 [-]
Fv	1.132 [-]
TB	0.156 [s]
TC	0.250 [s]
TD	3.464 [s]
SA(0)	8.177 [m/s ²]
SA(TB)	20.516 [m/s ²]

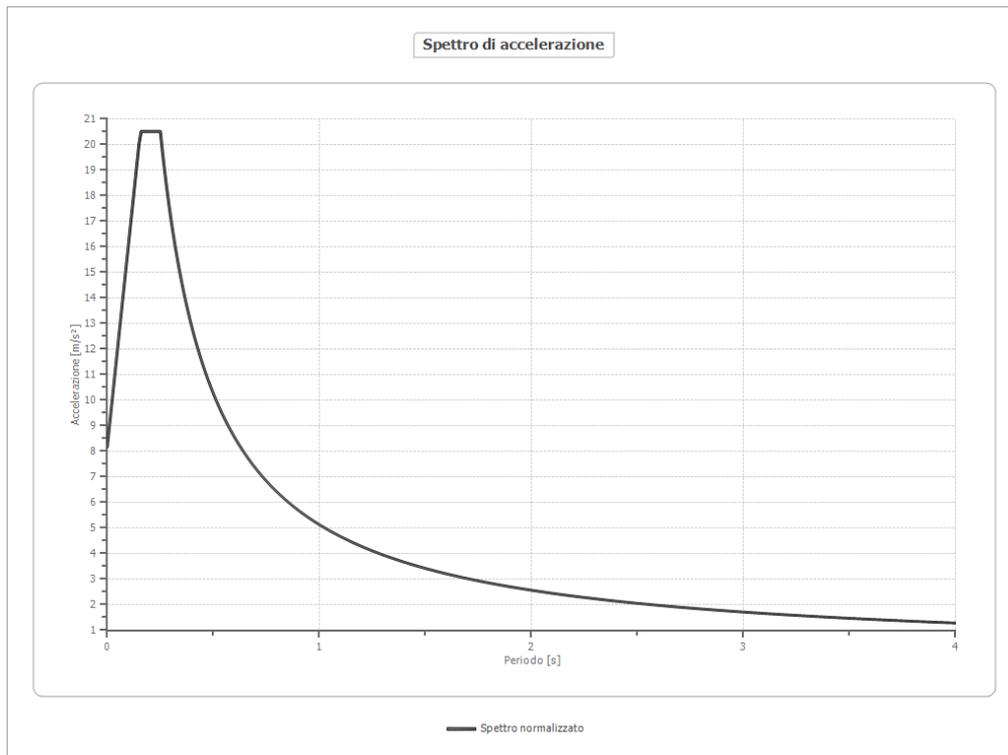
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]								
0.00	6.7466	0.26	18.0751	0.52	8.0323	0.98	3.4634	2.25	1.5255
0.01	6.7477	0.27	17.3902	0.53	7.8467	1.00	3.3997	2.30	1.4601
0.02	7.4843	0.28	16.7050	0.54	7.6586	1.05	3.3426	2.35	1.3934
0.03	7.9840	0.29	16.0397	0.55	7.4676	1.10	3.2873	2.40	1.3248
0.04	8.6397	0.30	15.4064	0.56	7.2739	1.15	3.2291	2.50	1.2543
0.05	9.3278	0.31	14.8106	0.57	7.0780	1.20	3.1641	2.60	1.1822
0.06	10.1046	0.32	14.2527	0.58	6.8800	1.25	3.0901	2.70	1.1092
0.07	10.9485	0.33	13.7312	0.60	6.6790	1.30	3.0066	2.80	1.0361
0.08	11.8563	0.34	13.2436	0.62	6.4740	1.35	2.9150	2.90	0.9642
0.09	12.8103	0.35	12.7884	0.64	6.2640	1.40	2.8179	3.00	0.8946
0.10	13.7930	0.36	12.3642	0.66	6.0485	1.45	2.7187	3.10	0.8285
0.11	14.7840	0.37	11.9696	0.68	5.8285	1.50	2.6204	3.20	0.7667
0.12	15.7625	0.38	11.6021	0.70	5.6061	1.55	2.5257	3.30	0.7098
0.13	16.7070	0.39	11.2581	0.72	5.3847	1.60	2.4358	3.40	0.6580
0.14	17.5955	0.40	10.9332	0.74	5.1683	1.65	2.3514	3.50	0.6113
0.15	18.4050	0.41	10.6230	0.76	4.9606	1.70	2.2720	3.60	0.5692
0.16	19.1125	0.42	10.3245	0.78	4.7642	1.75	2.1967	3.70	0.5312
0.17	19.6954	0.43	10.0365	0.80	4.5804	1.80	2.1244	3.80	0.4966
0.18	20.1334	0.44	9.7596	0.82	4.4094	1.85	2.0541	3.90	0.4646
0.19	20.4104	0.45	9.4957	0.84	4.2502	1.90	1.9853	4.00	0.4349
0.20	20.5164	0.46	9.2470	0.86	4.1022	1.95	1.9174		
0.21	20.4496	0.47	9.0147	0.88	3.9650	2.00	1.8504		
0.22	20.2172	0.48	8.7983	0.90	3.8390	2.05	1.7843		
0.23	19.8359	0.49	8.5958	0.92	3.7252	2.10	1.7190		
0.24	19.3307	0.50	8.4034	0.94	3.6245	2.15	1.6543		
0.25	18.7327	0.51	8.2168	0.96	3.5376	2.20	1.5900		



Spettro normalizzato di risposta elastico

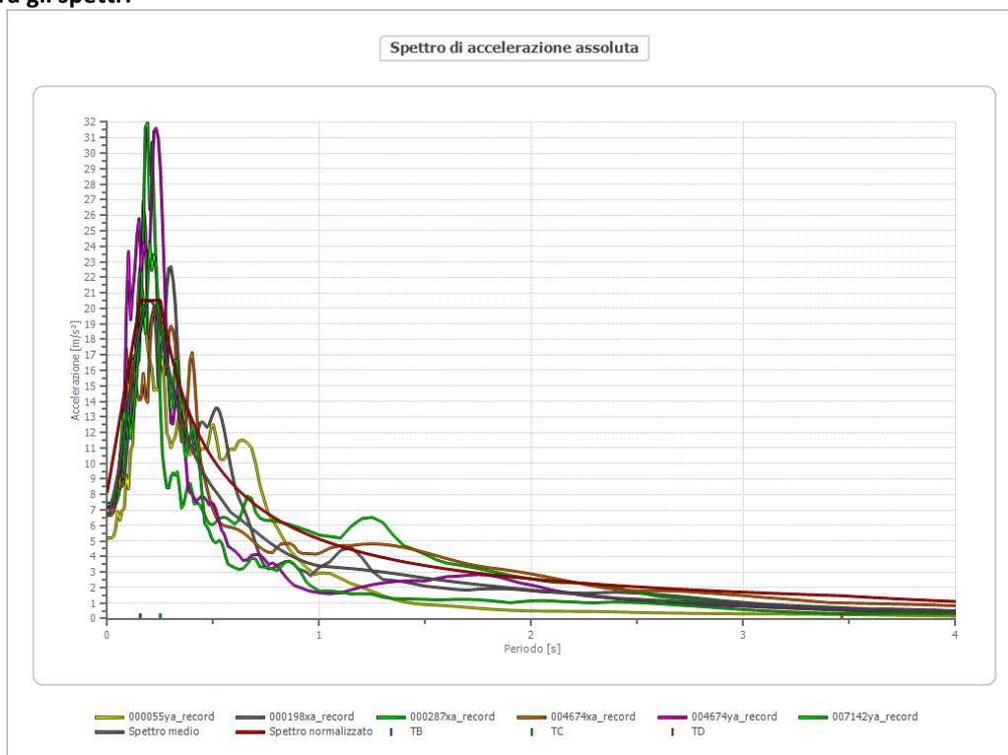
Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]								
0.00	8.1771	0.26	19.7274	0.52	9.8637	0.98	5.2338	2.25	2.2796
0.01	8.9681	0.27	18.9967	0.53	9.6776	1.00	5.1291	2.30	2.2300
0.02	9.7591	0.28	18.3183	0.54	9.4984	1.05	4.8849	2.35	2.1826
0.03	10.5501	0.29	17.6866	0.55	9.3257	1.10	4.6628	2.40	2.1371
0.04	11.3411	0.30	17.0970	0.56	9.1591	1.15	4.4601	2.50	2.0516
0.05	12.1320	0.31	16.5455	0.57	8.9984	1.20	4.2743	2.60	1.9727
0.06	12.9230	0.32	16.0285	0.58	8.8433	1.25	4.1033	2.70	1.8997
0.07	13.7140	0.33	15.5428	0.60	8.5485	1.30	3.9455	2.80	1.8318
0.08	14.5050	0.34	15.0856	0.62	8.2728	1.35	3.7993	2.90	1.7687
0.09	15.2960	0.35	14.6546	0.64	8.0142	1.40	3.6637	3.00	1.7097
0.10	16.0870	0.36	14.2475	0.66	7.7714	1.45	3.5373	3.10	1.6546
0.11	16.8779	0.37	13.8625	0.68	7.5428	1.50	3.4194	3.20	1.6028
0.12	17.6689	0.38	13.4977	0.70	7.3273	1.55	3.3091	3.30	1.5543
0.13	18.4599	0.39	13.1516	0.72	7.1238	1.60	3.2057	3.40	1.5086
0.14	19.2509	0.40	12.8228	0.74	6.9312	1.65	3.1086	3.50	1.4655
0.15	20.0419	0.41	12.5100	0.76	6.7488	1.70	3.0171	3.60	1.4248
0.16	20.5164	0.42	12.2122	0.78	6.5758	1.75	2.9309	3.70	1.3862
0.17	20.5164	0.43	11.9282	0.80	6.4114	1.80	2.8495	3.80	1.3498
0.18	20.5164	0.44	11.6571	0.82	6.2550	1.85	2.7725	3.90	1.3152
0.19	20.5164	0.45	11.3980	0.84	6.1061	1.90	2.6995	4.00	1.2823
0.20	20.5164	0.46	11.1502	0.86	5.9641	1.95	2.6303		
0.21	20.5164	0.47	10.9130	0.88	5.8285	2.00	2.5646		
0.22	20.5164	0.48	10.6857	0.90	5.6990	2.05	2.5020		
0.23	20.5164	0.49	10.4676	0.92	5.5751	2.10	2.4424		
0.24	20.5164	0.50	10.2582	0.94	5.4565	2.15	2.3856		
0.25	20.5164	0.51	10.0571	0.96	5.3428	2.20	2.3314		



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s ²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s ²]	Se(TB) [m/s ²]
8.177	2.509	0.250	0.156	0.250	3.464	8.177	20.516

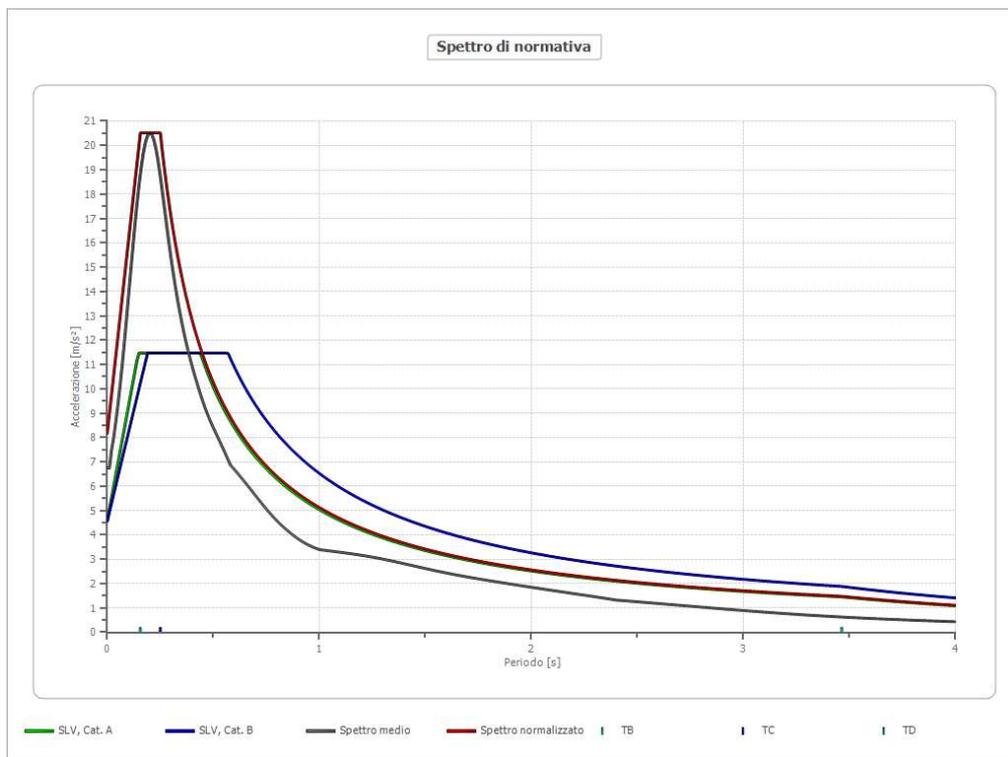
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa - SLV

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardi a vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardi a vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	120	201	1898	2475	120	201	1898	2475
ag [m/s ²]	1.442	1.844	4.571	5.042	1.442	1.844	4.571	5.042
Fo	2.345	2.376	2.509	2.527	2.345	2.376	2.509	2.527
Tc* [s]	0.33	0.346	0.439	0.448	0.33	0.346	0.439	0.448
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.37	1.36	1.30	1.29
TB [s]	0.110	0.115	0.146	0.149	0.151	0.157	0.190	0.193
TC [s]	0.330	0.346	0.439	0.448	0.453	0.471	0.569	0.579
TD [s]	2.188	2.352	3.464	3.656	2.188	2.352	3.464	3.656
Se(0) [m/s ²]	1.442	1.844	4.571	5.042	1.730	2.213	4.571	5.042
Se(TB) [m/s ²]	3.381	4.381	11.469	12.741	4.058	5.258	11.469	12.741



8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le indagini geognostiche e geofisiche effettuate, hanno consentito un'analisi interpretativa approfondita per la definizione delle azioni sismiche in osservanza della normativa vigente (D.M. 14/01/2008). In merito alle valutazioni effettuate, si rileva che:

Il terreno di fondazione è stato classificato come suolo di categoria B e le caratteristiche topografiche sono state classificate, come un profilo di categoria T1.

Essendo le strutture in oggetto annoverate nella Classe d'Uso IV (D.M. 14/01/2008), è stata definita la Risposta Sismica Locale (RSL) tramite l'utilizzo di modelli sofisticati di analisi basati sull'impiego di accelerogrammi reali rappresentativi della sismicità del sito e la composizione sismostratigrafica del sottosuolo.

Si è scelto di utilizzare le velocità sismiche trasversali ottenute mediante la prova Down-Hole e mediante la prospezione MASW, poiché esse sono rappresentative di intervalli sismici corrispondenti a quelli stratigrafici della zona. Le indagini geofisiche hanno evidenziato la presenza del bedrock sismico (come indicato dalle NTC 2008 $V_s > 800$ m/sec), intorno ai 26.00 m dal p.c..

La definizione delle azioni sismiche di progetto, sia mediante l'approccio semplificato e sia tramite la RSL ai sensi del D.M. 14/01/2008, è stata effettuata impostando come stati limite di riferimento SLO, SLD e SLV, classe d'uso IV e vita nominale della struttura 100 anni.

I grafici relativi ai vari stati limite trattati, mostrano che sia agli SLE che agli SLU la R.S.L. mediante modellazione 1D fornisce uno spettro elastico normalizzato superiore rispetto allo spettro di normativa.

Lo strutturista pertanto, per progettare a vantaggio di sicurezza potrà utilizzare gli spettri normalizzati calcolati mediante la modellazione 1D.

Ai progettisti sono stati forniti gli accelerogrammi di input generati da REXEL e lo spettro normalizzato in formato .txt per i vari stati limite ricavati dalla modellazione con RSL III.

Il Geologo

Dott. Salvatore ACRI