



Ministero dell'Ambiente e della
Sicurezza Energetica



Regione Calabria



Comune di Scandale

Provvedimento di VIA nell'ambito del provvedimento unico in materia ambientale ai sensi dell'art.27 del D.Lgs152/2006 per la "Costruzione ed esercizio di un impianto fotovoltaico della potenza complessiva pari a 25,1085 Mw, da ubicare nel comune di Scandale (KR) in località Collarica e località Fota e relative opere di connessione"

PROPONENTE

MYT RENEWABLES DEVELOPMENT 5 S.R.L.
Piazza Fontana 6 - 20122 Milano (MI)
Pec: mytdevelopment5srl@legalmail.it

ELABORATO

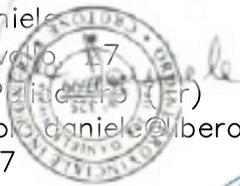
Relazione sismica

SCALA: ____

C.1.1

PROGETTAZIONE:

Ing. Nicola Daniele
Via Carnine Cavallo, 17
88837 Petilia Palicci (Kr)
e-mail: ing-nicola.daniele@libero.it
cell.333.7152607



Ing. Annibale Marrella
Via Vittorio Emanuele II, 240
88836 Cotronei (Kr)
e-mail: ingannibalemarrella@libero.it
cell. 339.2264510



TECNICO:

Dott.Pasquale Chiodo Via Donato,1
88044 Marcellinara (Cz)
e-mail: pasq.chiodo@gmail.com
cell.348.3062722



Aggiornamenti	Numero	Data	Motivo
	Rev 0	Giugno 2023	Provvedimento di VIA nell'ambito del provvedimento unico in materia ambientale ai sensi dell'art.27 del D.Lgs.152/2006

SPAZIO RISERVATO AGLI ENTI

INDICE

PREMESSA.	3
1. LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	6
1.1. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (NTC2018) DELLA STRATEGIA DI PROGETTO UTILIZZATA E SUOI VALORI DI DISAGGREGAZIONE.	6
1.2. CENNI TEORICI SULLA SCELTA E/O GENERAZIONE DEGLI ACCELEROGRAMMI AL BEDROCK SPETTRO COMPATIBILI CON IL SITO DI STUDIO	17
1.3. SCELTA E/O GENERAZIONE DEGLI ACCELEROGRAMMI AL BEDROCK DEL SITO DI STUDIO	20
2. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	25
2.1 RISPOSTA SISMICA LOCALE.	27
2.1.1. <i>Condizionamento geologico sulla risposta sismica locale, stratigrafia del sito e relativi parametri elasto-dinamici</i>	27
2.1.2. <i>Analisi semplificata della risposta sismica locale (livello II di analisi - NTC2018)</i>	29
2.1.3. <i>Analisi Numerica della Risposta Sismica Locale (Livello III di analisi), calcolo degli accelerogrammi e degli spettri di risposta in superficie.</i>	35
3. VALUTAZIONI CONCLUSIVE	56

PREMESSA.

Per il *Progetto per la costruzione e l'esercizio di n impianto fotovoltaico della potenza complessiva pari a 25,1085 MW, da ubicare nel Comune di Scandale (KR) in località Fota-Collarica e relative opere di connessione* è stato conferito al sottoscritto Dott. Geol. Pasquale Chiodo, incarico di condurre lo Studio sulla Pericolosità Sismica di Base dell'area d'intervento e la sua modificazione in superficie attraverso lo studio di Risposta Sismica Locale di Livello II NTC2018 e Livello III numerica (modificazione per effetti di sito).

Lo studio è redatto secondo le direttive della vigente normativa nazionale e regionale in materia emanate nel: **D.M. del 17-01-2018** “*Norme tecniche per le costruzioni*”; **Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 del C. S. LL. PP.** – *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*”; **Legge Regionale n. 37 del 31/12/2015** “*Modifica alla legge regionale n. 35 del 19 ottobre 2009 e s.m.i. (Procedure per la denuncia degli interventi di carattere strutturale e per la pianificazione territoriale in prospettiva sismica - Testo coordinato con le modifiche ed integrazioni di cui alla L.r. 29 giugno 2016, n.16)*”; **Regolamento regionale del 29/11/2016 n. 15** “*Procedure per la denuncia, il deposito e l'autorizzazione di interventi di carattere strutturale e per la pianificazione territoriale in prospettiva sismica di cui alla legge regionale n. 37 del 28 dicembre 2015*”; **Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMZS)**, “*Standard di Rappresentazione ed Archiviazione dei Dati*” per la Microzonazione Sismica predisposti dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM n. 3907 del 13/11/2010);

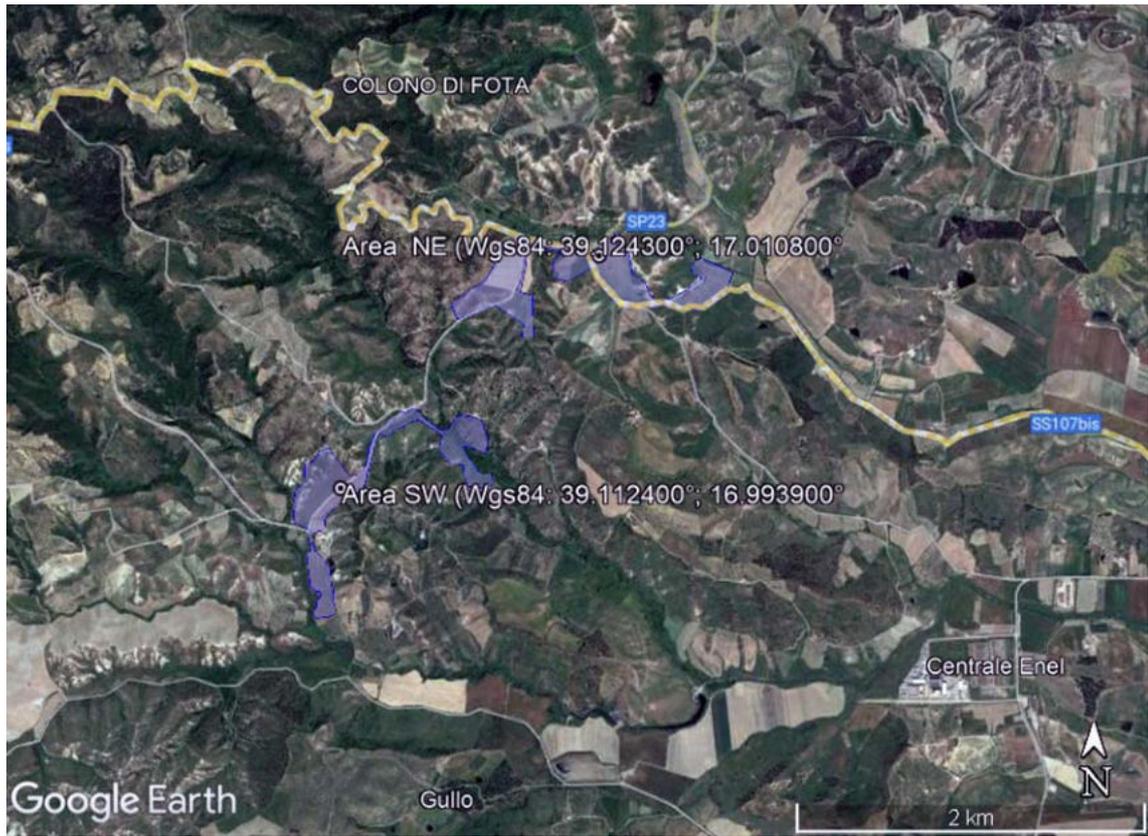
Lo studio si articola nelle seguenti fasi:

§ Descrizione delle caratteristiche sismotettoniche e della sismicità storica dell'area.

§ Studio della pericolosità sismica di base del sito d'intervento con individuazione dell'input sismico al bedrock dell'area di studio tramite generazione di accelerogrammi simulati e/o scelta di accelerogrammi naturali nelle due componenti orizzontali, tra loro ortogonali, e successiva scalatura alla pericolosità sismica di base dell'area (spettro-compatibilità), tramite i relativi spettri di risposta elastici. Essendo

l'area di intervento abbastanza vasta e che raggruppa varie zone, gli interventi sono stati raggruppati in due zone omogenee chiamate: Zona NE e Zona SW. Le coordinate centrali delle due zone sono: Zona NE – ED50, lat. 39.125317°N, lon. 17.011589°E; WGS84 - lat. 39.124300° N, lon. 17.010800° E); Zona SW – ED50, lat. 39.113415°N, lon. 16.994690°E; WGS84 - lat. 39.112400° N, lon. 16.993900° E). La pericolosità sismica di base tra le due zone è molto piccola (differisce di circa 0.001g per lo stato limite SLO e di circa 0.002g per lo stato limite SLC) valori molto bassi e non influenti nel calcolo, si è deciso di considerare rappresentativa dell'intera area la pericolosità sismica di base della Zona SW (la zona con il carico sismico maggiore).

- Ricostruzione, attraverso indagini geognostiche e geofisiche, di un modello litotecnico del sottosuolo, almeno sino al bedrock sismico, con le sue caratteristiche geotecniche ed elasto dinamiche (modello geologico derivante dalla relazione geologica).
- Valutazione della Risposta Sismica Locale con scalatura degli accelerogrammi in superficie attraverso le modificazioni indotte nel segnale dalle condizioni stratigrafiche del sito.
- Calcolo dei file degli accelerogrammi, dei relativi spettri di risposta elastici riferiti sia al bedrock che alla superficie e degli spettri medi e normalizzati in superficie per le verifiche strutturali.
- Generazione dei file relativi: agli accelerogrammi, agli spettri di risposta medi e normalizzati, riferiti sia al bedrock che alla superficie con lo standard richiesto dal *SISMI.CA Sistema Informativo per l'analisi strutturale ed il monitoraggio degli interventi in Calabria*.



1. LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE.

1.1. Pericolosità sismica di base (NTC2018) della strategia di progetto utilizzata e suoi valori di disaggregazione.

Dalla bibliografia esistente il Comune di Scandale (KR) per la normativa antisismica, *Ordinanza del P.C.M. del 12-06-1998 "Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale"*, era classificato come *Zona sismica di seconda categoria S=09 con $k=0,07$* . Con l'*Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 allegato 1* e successive modificazioni, viene riclassificato come *Zona sismica II con $a_g=0,25$* . Di seguito viene riportato il record afferente al Comune di Crotona (Elenco dei Comuni ad elevato rischio sismico ai sensi dell'art. 12 della Legge 27.12.1997, n. 449 contenuto nell'*Ordinanza del P.C.M. del 12-06-1998 "Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale"*).

Codice ISTAT	Regione	Provincia	Comune	Popolazione residente (1991)	Abitazioni (1991)	Grado di Sismicità	Data di classificazione	Indice di rischio	Intensità massima osservata (MCS)
18101024	CALABRIA	CROTONE	SCANDALE	3558	1456	9	18/04/09	0.1881	≥ 10

L'*Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"*, nell'Allegato 1B "*Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale*", riporta in carta, per territorio nazionale, la pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_s > 800$ m/s). In tale elaborato l'area di sedime è compresa nel tratto di territorio comunale di Crotona ricadente nella fascia di accelerazione massima: **$0,175 < a_{max} < 0,200$** . Il *D.M. del 17 gennaio 2018 "Norme Tecniche per le costruzioni"*, nell'Allegato B: "*Tabella dei parametri che definiscono l'azione sismica*", la Tabella 1 fornisce, per 10.751 punti del reticolo di riferimento e per 9 valori del periodo di ritorno TR (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni), i valori dei parametri a_g , F_0 , T^*c da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle NTC. Secondo l'NTC2018 l'area di studio (Datum: ED50, lat. 39.113415°N,

lon. 16.994690°E; WGS84 - lat. 39.112400° N, lon. 16.993900° E), ricade all'interno dei punti del reticolo di riferimento nazionale riportati in tab. 01.

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	40569	39.130120	16.966950	3029.29
2	40570	39.128060	17.031300	3553.37
3	40792	39.078110	17.028600	4896.46
4	40791	39.080160	16.964350	4530.87

Da cui è soggetta ai parametri che definiscono l'azione sismica riportati in tab. 02, dove: a_g =accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 =valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

TR (anni)	a_g (g)	F_0 (---)	T_c^* (s)
30	0.049	2.330	0.280
50	0.064	2.339	0.306
72	0.077	2.353	0.320
101	0.092	2.358	0.329
140	0.108	2.360	0.337
201	0.129	2.350	0.346
475	0.187	2.384	0.364
975	0.247	2.448	0.379
2.475	0.344	2.498	0.406

Le NTC2018, nel § 2.1 Principi fondamentali, testualmente citano: “Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con livello di sicurezza previsto nelle presenti norme. La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata”. Alla luce di quanto sopra, per la scelta dei parametri sismici di base che intervengono nella verifica sismica, bisogna classificare l'opera in base alla sua Vita nominale (§ 2.4.1), Classe d'uso (§ 2.4.2) e Periodo di riferimento per l'azione sismica (§ 2.4.3)

§ 2.4.1 – Tab. 2.4.I, Vita nominale VN per diversi tipi di opere		
TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale VN (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

§ 2.4.2. – Classi d'uso	
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 D.M. 5 novembre 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.
* per quanto riguarda le Classi III e IV definizioni dettagliate sulle opere sono contenute nel Decreto del Capo di Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003.	

Periodo di riferimento per l'azione sismica VR (§ 2.4.3): $V_R = V_N \times C_U$

§ 2.4.3 – Tab. 2.4.II, Valori del coefficiente d'uso CU				
CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFICIENTE CU	0,7	1,0	1,5	2,0

Per le verifiche sismiche, dalle indicazioni fornite dai progettisti, le strutture in progetto sono identificate come

- Vita nominale $V_N = 100$ anni "Costruzioni con livelli di prestazioni elevati", (§ 2.4.1. Tab. 2.4.I.).

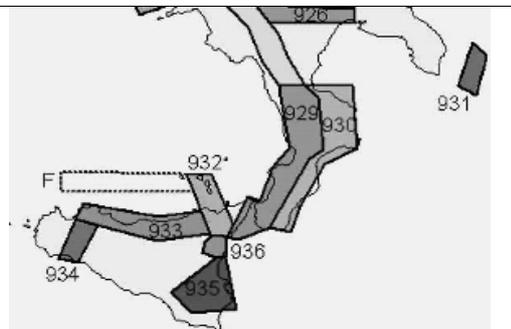
- Classe d'uso **IV** “*Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l’ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, “Norme 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*”. (§ 2.4.2.)
- Periodo di riferimento per l’azione sismica **$V_R = 200$ anni**. (§ 2.4.3. e con valore del Coefficiente d’uso **$C_U = 2.0$** per come definito nella Tab. 2.4.II. al variare della classe d’uso).

Per determinare la magnitudo attesa in un’area non esiste nella normativa un metodo univoco. Le Linee guida “Indirizzi e criteri per la zonazione sismica” (ICMS) della Protezione Civile (unico documento ufficiale in tema) indica due strade: La zonazione sismogenetica (ZS9) del territorio nazionale secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo; La disaggregazione della pericolosità sismica: un’operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito.

La zonizzazione sismogenetica contenuta nell’Ordinanza n° 3274/03 denominata “ZS9” propone la suddivisione del territorio nazionale in fasce che presentano al loro interno requisiti di omogeneità in relazione alle caratteristiche geo-strutturali, cinematiche e sismiche. Una base essenziale per la zonazione del territorio è rappresentata dal modello sismotettonico dell’area italiana, e contributi rilevanti per la definizione delle singole zone sono forniti dai cataloghi sismici disponibili. In particolare ZS9 è costruita facendo riferimento al modello sismotettonico di Meletti et al. (2000), rivisto ed integrato negli anni successivi alla sua formulazione. Inoltre ZS9 è definita sulla scorta delle informazioni disponibili dai cataloghi CPTI2 (catalogo parametrico dei terremoti italiani) e DISS (database delle sorgenti sismogenetiche). L’elemento di novità è rappresentato

dall'impiego di un catalogo sismico più aggiornato (CPTI2) e dall'introduzione delle conoscenze più recenti sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche (database DISS). 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 al 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. Nella nuova zonazione la Calabria è suddivisa in due zone sismogenetiche: una sul lato tirrenico della regione (zona 929) ed una sul versante ionico (zona 930). L'esistenza di queste due distinte zone rispecchia livelli di sismicità ben differenti. I terremoti con più elevata magnitudo (1783, 1905, 1908) hanno infatti interessato i bacini del Crati, del Savuto e del Mesima fino allo Stretto di Messina (zona 929). Sul versante ionico della Calabria solo 4 eventi hanno superato un valore di magnitudo pari a 6, tra questi il terremoto del 1638 appare come l'evento più forte. Nella tabella seguente si riporta la magnitudo momento massima "Mwmax" rispettivamente per la Zona Sismogenetica denominata "Calabria Tirrenica 929" e "Calabria Ionica 930". In particolare l'area oggetto di studio ricade nella **ZS n. 930**, che prevede una **Mwmax= 6.60**.

Valori della Magnitudo momento massima "Mwmax" per le Zone Sismogenetiche ZS9 (estratto da "Gruppo di Lavoro per la Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica"-2004)		
Zona Sismica - ZS9	Numero Zona Sismica	Mwmax
Calabria Tirrenica	929	7.29
Calabria Ionica	930	6.60

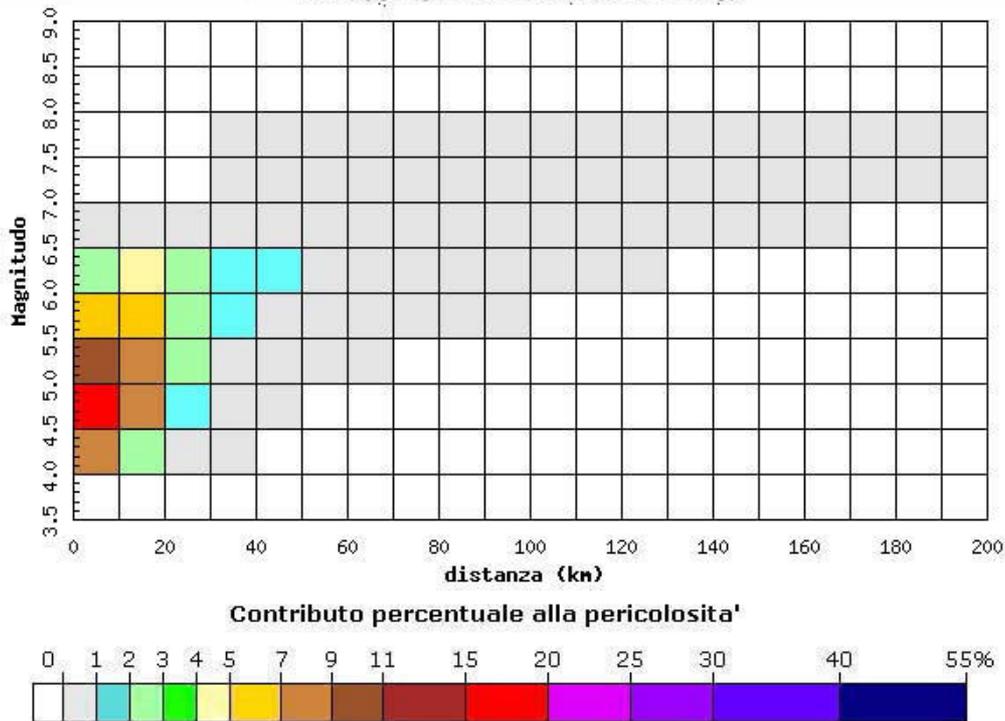


La disaggregazione della pericolosità sismica (es. McGuire, 1995; Bazzurro e Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Espresso in altri termini il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che

domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso. Analogamente alla disaggregazione in M - R è possibile definire la disaggregazione tridimensionale in M - R - ε dove ε rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R . L'analisi di disaggregazione è stata condotta per 16852 siti corrispondenti ai nodi della griglia adottata per la redazione della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (Gruppo di Lavoro MPS, 2004). In particolare, sono stati disaggregati i valori mediani di scuotimento (riferiti a suolo rigido), espresso in termini di accelerazione orizzontale di picco (PGA) corrispondenti a 9 periodi medi di ritorno (MRP) 30, 50, 72, 100, 140, 200, 475, 1000 e 2500 anni. Dall'elaborazione dei dati forniti dall'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) secondo le procedure della Deliverable D14 *“Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M - R - ε ”* (D. Spallarossa, S. Barani, 2007) e per come sopra brevemente riassunto, per i siti di studio, sono stati ricavati i dati di disaggregazione della pericolosità sismica, in termini di M - R , dei valori mediani di PGA con probabilità di superamento, rispettivamente del 81%, 63%, 10% e 5% in 75 anni corrispondenti ad un M.R.P. di 120, 201, 1898 e 2475 anni per come richiesti dalla strategia di progettazione adottata. Da quanto detto precedentemente, in sintesi, i parametri per la definizione della pericolosità sismica di base dell'area di studio sono i seguenti.

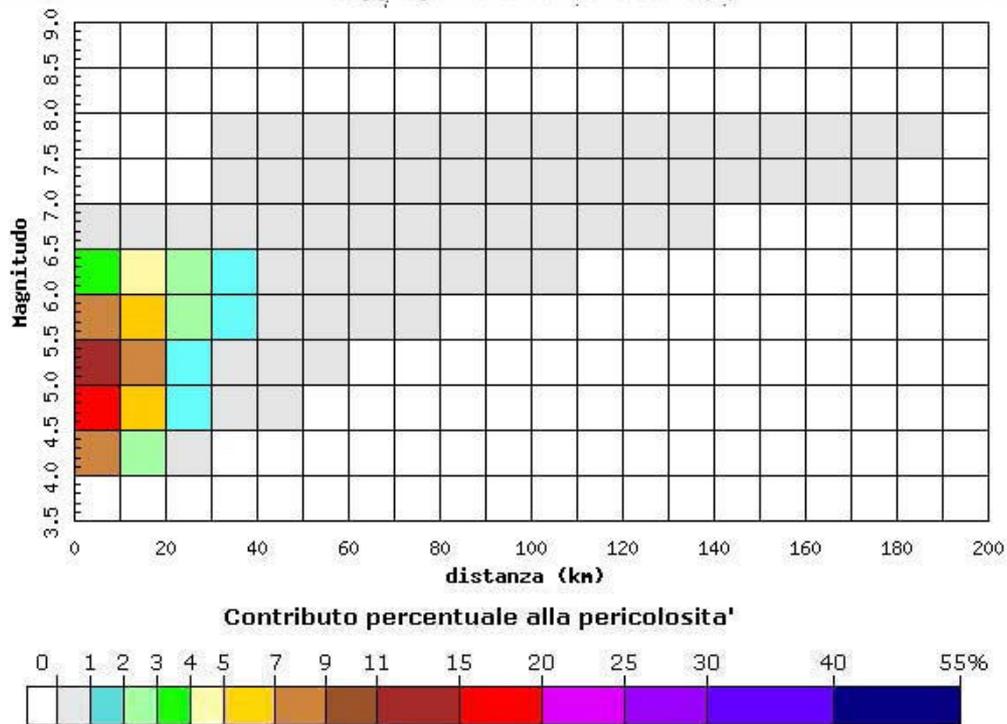
Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 81% in 200 anni										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	8.370	16.500	10.400	5.750	2.890	0.361	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	2.920	8.100	7.850	6.230	4.140	0.598	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.433	1.790	2.600	2.910	2.590	0.441	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.025	0.347	0.884	1.360	1.600	0.603	0.312	0.052	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.024	0.285	0.695	1.060	0.812	0.694	0.125	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.057	0.323	0.639	0.633	0.649	0.126	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.005	0.131	0.383	0.466	0.553	0.115	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.185	0.309	0.426	0.094	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.066	0.148	0.232	0.054	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.083	0.142	0.031	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.049	0.091	0.016	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.027	0.057	0.008	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.038	0.006	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.025	0.004	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.018	0.003	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.014	0.003	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.002	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Disaggregazione del valore di a(g)



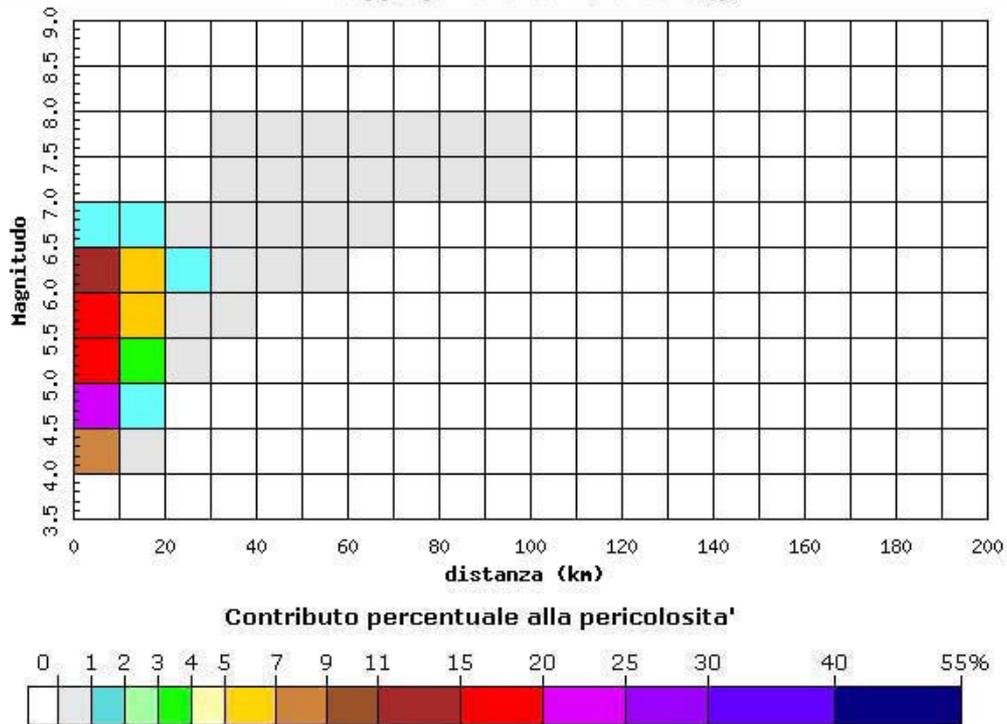
Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 63% in 200 anni										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	8.740	18.300	12.500	7.440	3.940	0.506	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	2.200	6.780	7.460	6.620	4.860	0.741	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.185	1.100	1.980	2.560	2.590	0.472	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.103	0.518	1.010	1.370	0.560	0.323	0.058	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.089	0.420	0.796	0.689	0.671	0.130	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.005	0.139	0.424	0.491	0.581	0.122	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.217	0.332	0.462	0.104	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.078	0.200	0.334	0.081	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.086	0.171	0.044	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.041	0.098	0.023	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.058	0.012	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.033	0.006	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.020	0.004	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.002	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.002	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Disaggregazione del valore di a(g)



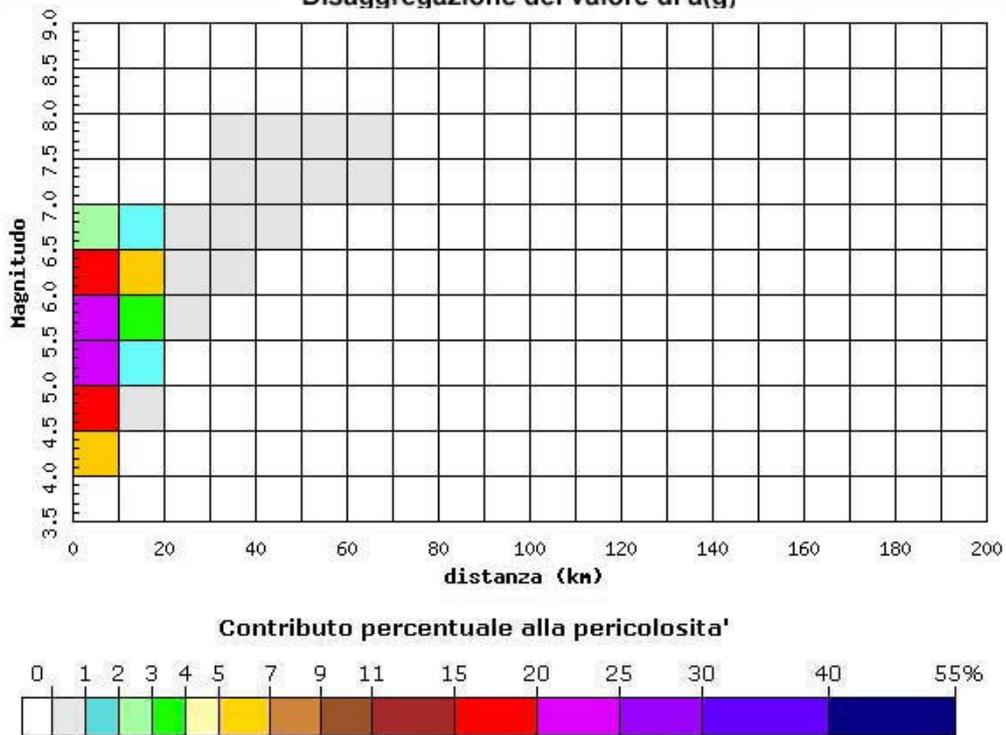
Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 200 anni										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	7.280	20.100	19.700	16.200	11.300	1.700	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.207	1.620	3.720	5.540	6.310	1.240	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.159	0.810	1.570	0.391	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.056	0.378	0.238	0.229	0.056	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050	0.170	0.351	0.094	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.044	0.204	0.063	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.100	0.039	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.021	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.007	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Disaggregazione del valore di a(g)



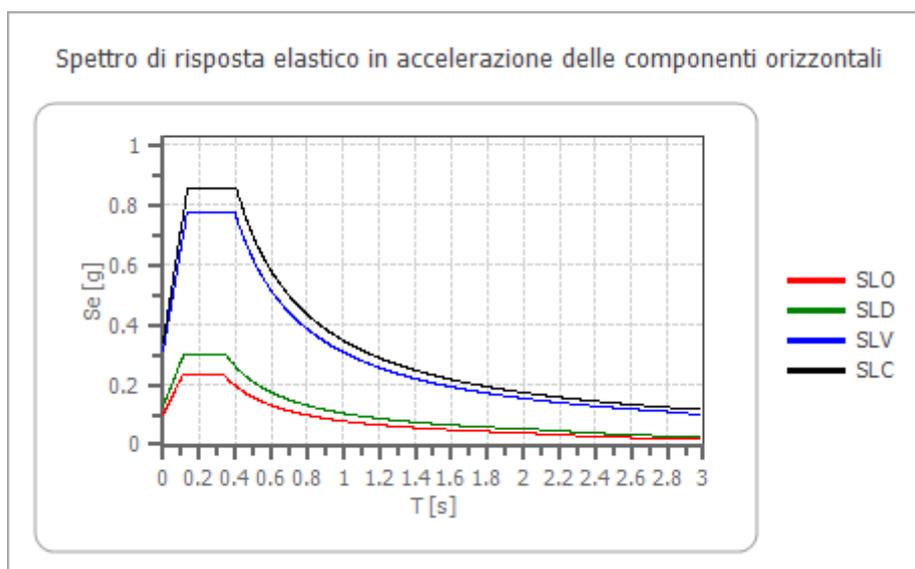
Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 5% in 75 anni										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	5.110	17.300	21.300	21.300	17.900	2.970	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.000	0.209	1.510	3.730	5.750	1.310	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.124	0.774	0.256	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.064	0.131	0.040	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.141	0.055	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.025	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.006	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Disaggregazione del valore di a(g)

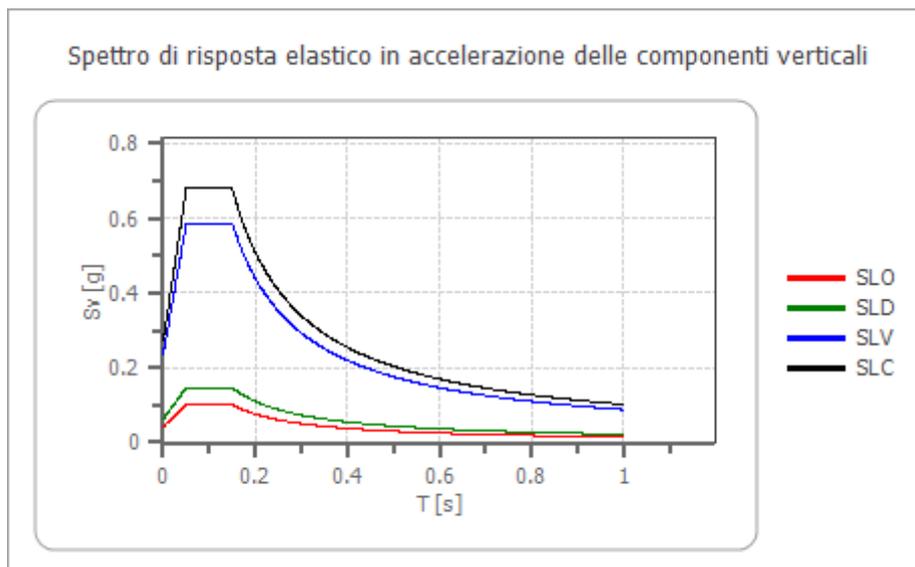


stato limite	TR (anni)	Prob. Sup. (%)	Disagg. della pericolosità sismica in ag con Pvr in 75 anni		Parametri che definiscono l'azione sismica di base (NTC2018)		
			M	R (Km)	Ag (g)	F0 (---)	Tc* (s)
SLO	120	81%	5.380 (4.0-6.5)	17.300 (0-30)	0.100	2.359	0.333
SLD	201	63%	5.380 (4.0-6.5)	14.600 (0-30)	0.129	2.350	0.346
SLV	1898	10%	5.460 (4.0-6.5)	7.940 (0-20)	0.313	2.483	0.398
SLC	2475	5%	5.560 (4.0-7.0)	6.040 (0-20)	0.343	2.498	0.406

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI														
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2.0	0.100	2.359	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.111	0.333	2.001	0.100	0.236
SLD	2.0	0.129	2.350	0.346	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.115	0.346	2.115	0.129	0.302
SLV	2.0	0.313	2.483	0.398	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.133	0.398	2.850	0.313	0.776
SLC	2.0	0.343	2.498	0.406	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.135	0.406	2.974	0.343	0.858



SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI VERTICALI														
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2.0	0.100	2.359	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.043	0.101
SLD	2.0	0.129	2.350	0.346	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.062	0.146
SLV	2.0	0.313	2.483	0.398	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.236	0.586
SLC	2.0	0.343	2.498	0.406	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.272	0.679



1.2. Cenni teorici sulla scelta e/o generazione degli accelerogrammi al bedrock spettro compatibili con il sito di studio

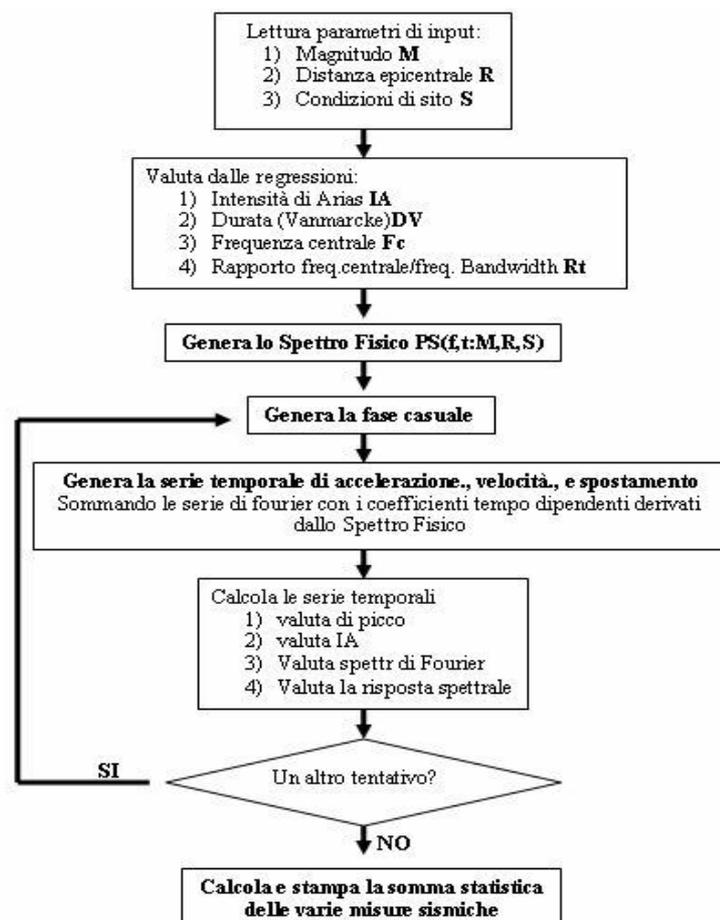
La normativa vigente (NTC2018) prevede che per gli studi di risposta sismica locale di III° livello gli accelerogrammi da usare nelle analisi possono essere di due tipi: **naturali** opportunamente scelti in base ai dati di disaggregazione della pericolosità sismica del sito e opportunamente scalati rispetto agli spettri elastici di normativa del sito stesso; **simulati** cioè generati in base ai dati di disaggregazione della pericolosità sismica del sito ed opportunamente scalati rispetto agli spettri elastici di normativa del sito stesso.

La ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle NTC2008 è operata mediante il codice **REXEL** “*Computer aided record selection for code-based seismic structural analysis*” (Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E.). Tale codice fa riferimento agli spettri degli accelerogrammi che, nello *ESD - European Strong-motion Database* (Ambraseys, N., Smit, P., Sigbjornsson, R., Suhadolc, P. and Margaris, B.) e nell’*ITACA - Data Base of the Italian strong motion data* (Working Group ITACA 2008), verificano le condizioni di campo libero o free field, (Ambraseys et al., 2000; Ambraseys et al., 2004). Il codice consente la selezione dando all’utente la possibilità di definire automaticamente, per qualunque luogo sul territorio nazionale, lo spettro di

normativa (spettro target) dalle coordinate geografiche del sito⁹, dalla geologia locale, dallo stato limite in esame, dalla vita nominale e classe d'utilizzo; Ricercare nel database gli spettri che rispondono ad una determinata coppia magnitudo e distanza d'interesse; specificare la tolleranza con cui lo spettro medio della combinazione deve rispettare il target nell'intervallo di periodi interesse assegnato, che può essere uno qualunque tra 0 sec e 4 sec. Il codice consente di effettuare analisi mirate a ottenere combinazioni di accelerogrammi compatibili con lo spettro che non necessitano di essere scalati, ma anche set di accelerogrammi che essendo stati normalizzati rispetto alla propria PGA sono compatibili con lo spettro se scalati linearmente il che, come dimostrato in Iervolino et al. (2008) e negli altri riferimenti in esso contenuti, consente di ottenere combinazioni i cui spettri sono simili rispetto a quello di normativa e quindi più raccolti attorno ad esso. Il programma analizza tutte le combinazioni di sette spettri definite dai parametri dell'input e restituisce una lista (che include tutte le informazioni sui singoli accelerogrammi) di quelle il cui spettro medio rispetta la compatibilità con il target nell'intervallo di periodo prescelto e con la tolleranza prevista. I risultati sono ordinati in modo che all'inizio si trovano le combinazioni che hanno i singoli spettri il meno dispersi possibile secondo i parametri di deviazione definiti in Iervolino et al. (2008). I risultati (file degli accelerogrammi e relativi spettri di risposta) vengono forniti in file ASCII e con unità di misura in m/sec^2 .

La generazione di accelerogrammi simulati compatibili con gli spettri delle NTC2008 è operata mediante il codice di calcolo **Belfagor 1.02** (Mucciarelli, 2004) che sfrutta la procedura messa a punto da Sabetta & Pugliese 1996. Il codice Belfagor deriva dal codice PhySimqe e si articola in due parti. Prima si ha la generazione di un accelerogramma simulato le cui caratteristiche di durata, ampiezza, involuppo e distribuzione delle fasi sono determinati da M, R e tipologia di suolo (S) dell'evento sismico che si vuole simulare. Successivamente si ottiene la convergenza dello spettro di risposta desiderato mediante una procedura iterativa che modifica la distribuzione delle ampiezze nel dominio delle frequenze (processo di scalatura dell'accelerogramma allo spettro di normativa NTC208 considerato). La sequenza dettagliata delle operazioni eseguita dal programma è riportata in figura. La time histories è valutata secondo un metodo empirico basato sulla sommatoria della serie di Fourier, con fase random e coefficienti tempo-dipendenti. E', quindi, possibile derivare i coefficienti dipendenti dal tempo della serie di Fourier da uno spettro fisico (PS) definito opportunamente in funzione di M, di R e di S. Questi parametri servono per

valutare le funzione $P_a(t)$, $F_c(t)$, $F_b(t)$, ottenute sperimentalmente da un'analisi di regressione di dati relativi a 190 componenti orizzontali relative a registrazioni di 17 terremoti italiani con magnitudo compresa tra 4,7 e 6,8. In particolare, $F_c(t)$ è la frequenza centrale ed $F_b(t)$ è la frequenza di "bandwidth". La funzione $P_a(t)$ è l'energia media istantanea. Essa è ottenuta da un'analisi non lineare dipendente dall'Intensità di Arias. Note le tre funzioni $P_a(t)$, $F_c(t)$, $F_b(t)$, il programma valuta lo spettro fisico approssimato. Generata la serie temporale, rappresentativa di precise condizioni, questa deve essere variata al fine di ottenere la coincidenza tra lo spettro di risposta elastico smorzato e lo spettro di riferimento, a meno di un errore stabilito a priori. Lo spettro di risposta del segnale simulato deve quindi essere corretto in modo da avvicinarsi il più possibile a quello di riferimento. La correzione è effettuata nel dominio delle frequenze in modo iterativo, variando l'ampiezza spettrale di Fourier dell'input sismico generato e mantenendo costanti le fasi durante tutta la procedura. I valori dello spettro di Fourier del segnale $F(f)$ sono corretti con un coefficiente r dato dal rapporto tra il valore dello spettro di risposta di riferimento in corrispondenza della frequenza f [$SRF(f)$] ed il valore dello spettro di risposta del segnale all'iterazione i -esima [$SR(f)$] in corrispondenza della stessa. L'accordo con lo spettro di riferimento è controllato con il limite inferiore della radice della media dei quadrati (RMS) che



può essere stabilita dall'utente, in quanto compare tra i parametri di input del programma. Raggiunta la soglia prefissata di convergenza tra gli spettri, la serie temporale viene

automaticamente aggiornata. Compagnoni e Pergalani [2008] confrontando risultati ottenuti da modellazione 1D e 2D per la valutazione dei fenomeni di amplificazione sismica utilizzando come moti di input accelerogrammi di diversa natura:

- Accelerogrammi simulati (Belfagor) mediante la legge di attenuazione di Sabetta e Pugliese scegliendo coppie di valori M-R compatibili con il valore di a_{max} attesa (0.16g; 0.21g). Gli accelerogrammi così ricavati sono ulteriormente elaborati, per renderli maggiormente compatibili con lo spettro target, costruiti sulla base delle indicazioni normative [NTC, 2008].
- Accelerogrammi registrati estratti dalla banca dati ITACA (2006) in funzione dei parametri di intensità e forma spettrale, picco di accelerazione (PGA). In particolare gli autori scelgono accelerogrammi in modo da far sì che la media degli spettri sia il più possibile simile allo spettro di riferimento, a meno di uno scarto in eccesso e in difetto inferiore al 20% per più punti spettrali consecutivi entro l'intervallo 0,15-2,00 s.

Tutti i modelli presentano un'amplificazione generalizzata su tutti i periodi dello spettro e analizzando i risultati ottenuti si osserva come non si rilevino particolari differenze nei risultati all'applicazione degli accelerogrammi simulati rispetto alle registrazioni naturali. In particolare analizzando le curve medie degli spettri di risposta in accelerazione, ottenute applicando il set di accelerogrammi generati e il set di accelerogrammi registrati, si nota come i valori siano molto simili. Tale comportamento può essere desunto anche dai valori dei fattori di amplificazione che risultano, anch'essi, molto simili.

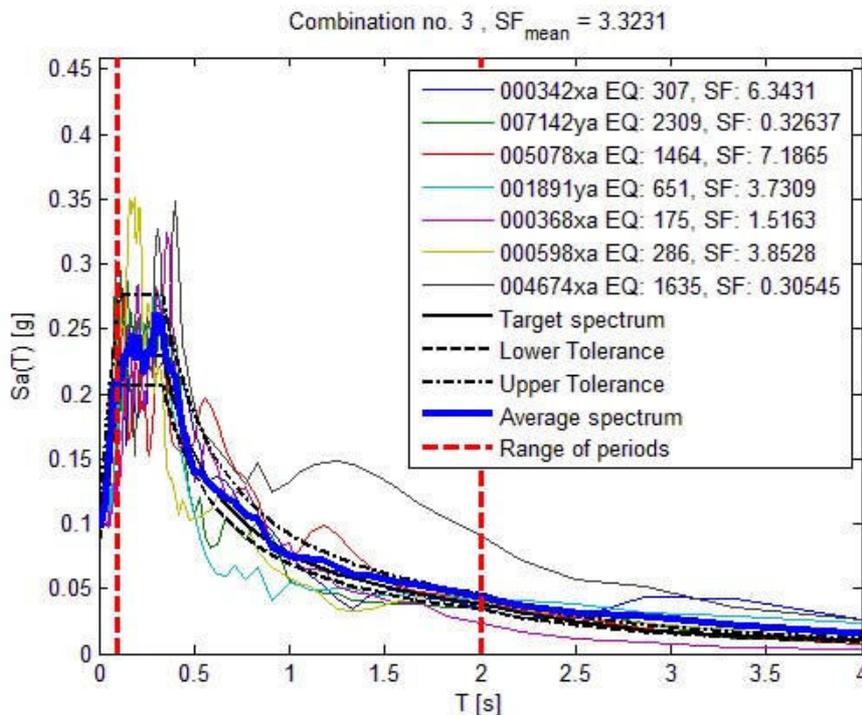
1.3. Scelta e/o generazione degli accelerogrammi al bedrock del sito di studio

Con la procedura descritta in precedenza, usando i dati di magnitudo e distanza (M, R) derivanti dalla disaggregazione della pericolosità sismica e per ogni stato limite considerato, ed adoperando nell'intervallo 0,10-2,00 sec uno scarto rispettivamente minore del 10% e del 20% sotto e sopra la curva che definisce lo spettro elastico della pericolosità sismica di base del sito (NTC2018), è stato individuato un set di n. 7 accelerogrammi

naturali (Rexel). I 7 accelerogrammi sono rappresentativi della componente orizzontale del moto del suolo. Inoltre per il set di accelerogrammi è stato ricavato lo spettro di risposta elastico medio per il confronto con il relativo spettro di risposta della normativa NTC2018. Il codice Rexel, per ogni stato limite, ha restituito i record dei seguenti accelerogrammi simulati spettro compatibili con i relativi spettri di risposta, inoltre vengono plottati anche lo spettro di risposta medio del set di accelerogrammi e lo spettro elastico target (NTC2018) per il sito di studio.

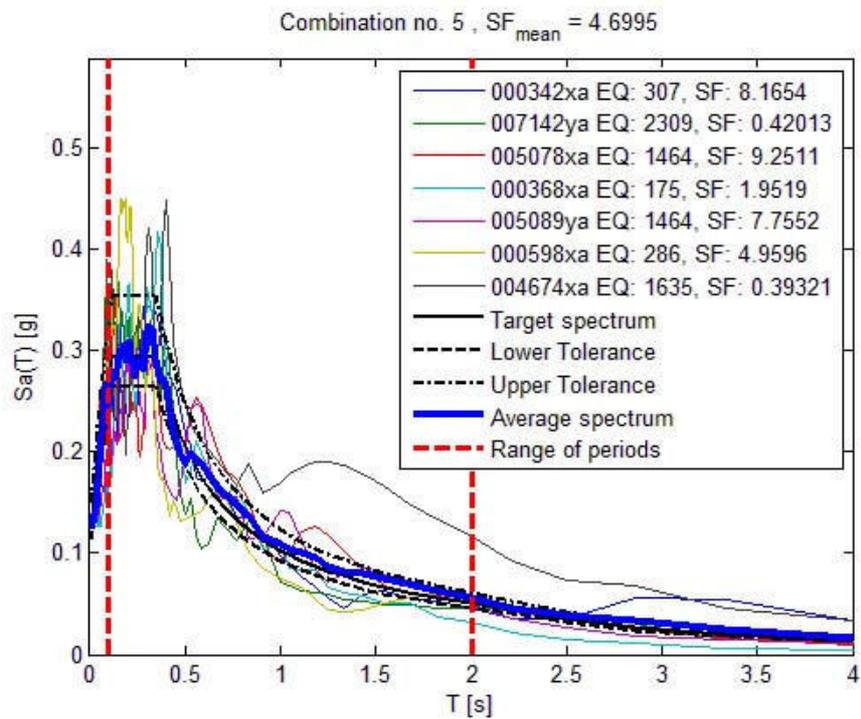
Dati identificativi del set di accelerogrammi reali spettro compatibili con lo Stato limite SLO

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	EC8 Site class
342	307	ST124	Cazulas	24/06/1984	4.9	oblique	24	A
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	22	A
598	286	ST222	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal	27	A
1891	651	ST1320	Kranidia	25/10/1984	5.5	?	23	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	5	A
5078	1464	ST2496	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	18	A
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14	A



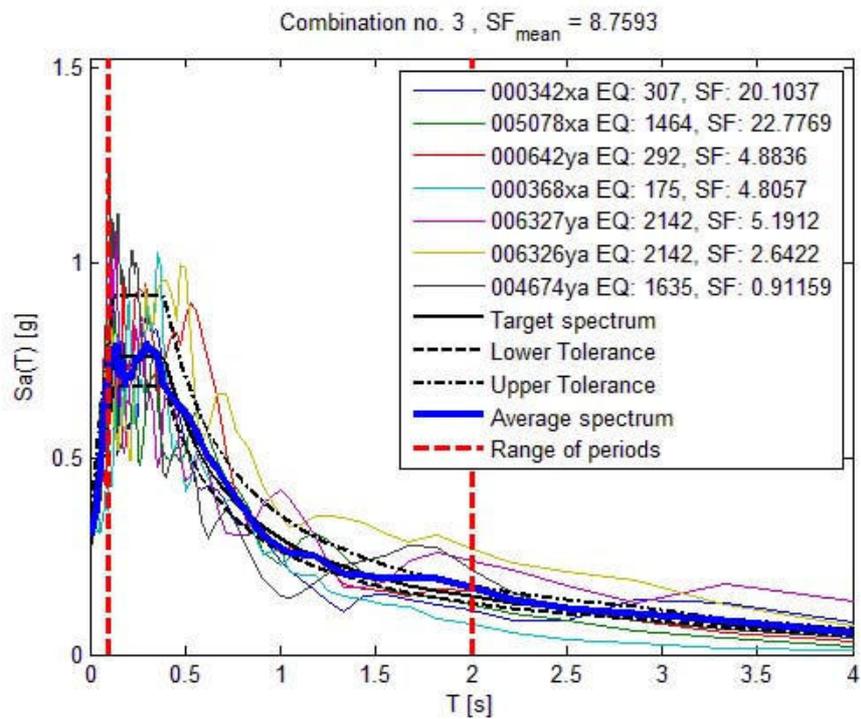
Dati identificativi del set di accelerogrammi reali spettro compatibili con lo Stato limite SLD

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	EC8 Site class
342	307	ST124	Cazulas	24/06/1984	4.9	oblique	24	A
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	22	A
598	286	ST222	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal	27	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	5	A
5078	1464	ST2496	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	18	A
5089	1464	ST2493	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	23	A
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14	A



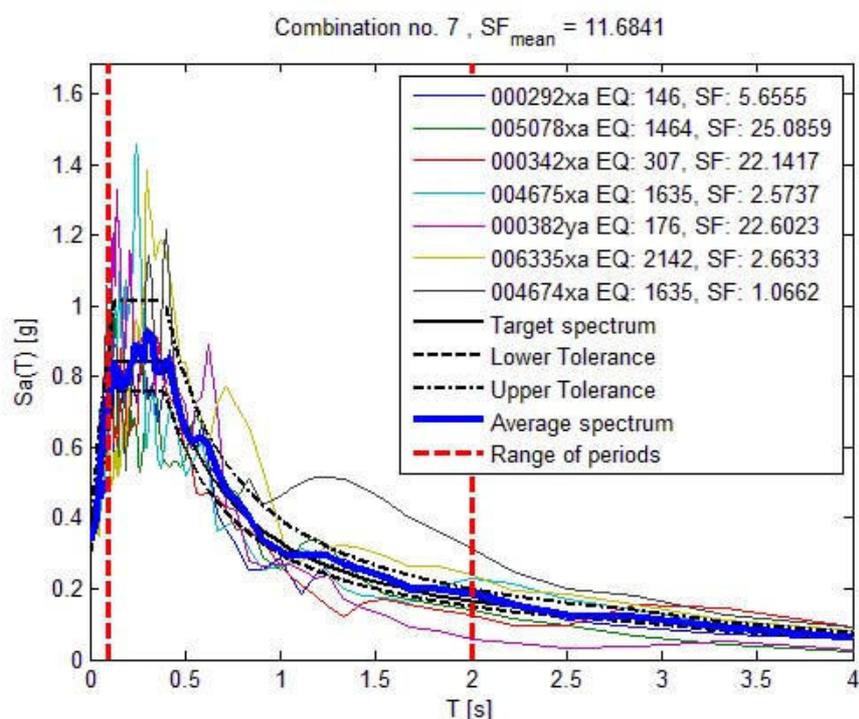
Dati identificativi del set di accelerogrammi reali spettro compatibili con lo Stato limite SLV

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	EC8 Site class
342	307	ST124	Cazulas	24/06/1984	4.9	oblique	24	A
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	22	A
642	292	ST225	Umbria Marche (aftershock)	14/10/1997	5.6	normal	23	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	5	A
5078	1464	ST2496	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	18	A
6326	2142	ST2496	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	14	A
6327	2142	ST2552	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	24	A



Dati identificativi del set di accelerogrammi reali spettro compatibili con lo Stato limite SLC

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	EC8 Site class
292	146	ST98	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	25	A
342	307	ST124	Cazulas	24/06/1984	4.9	oblique	24	A
382	176	ST140	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5.5	normal	16	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	5	A
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13	A
5078	1464	ST2496	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	18	A
6335	2142	ST2557	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	15	A



Lo spettro medio del set di accelerogrammi, per ogni stato limite considerato mostra un buon accordo con lo spettro di normativa riferito al bedrock (Categoria di sottosuolo A, Categoria topografica T1 - NTC2018), ciò li rende adoperabili per le successive analisi numeriche sulla risposta sismica locale.

2. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Un'analisi di risposta sismica locale, finalizzato alla definizione del moto sismico in superficie in corrispondenza di un determinato sito, dovrebbe, concettualmente comprendere almeno due fasi fondamentali: la definizione del moto sismico al bedrock e la trasmissione del moto sismico dal bedrock alla superficie. La definizione del moto sismico al bedrock, che rientra nel campo degli studi della pericolosità sismica di base per la definizione dell'input sismico, è condizionato: dal *Meccanismo di sorgente*, cioè dalla quantità di energia liberata, dai meccanismi focali, dalla lunghezza della frattura, ecc.; e dal *Cammino di propagazione*, cioè dalla distanza ipocentrale e dai processi fisici di attenuazione dell'energia sismica. Il moto sismico in superficie è condizionato dai *meccanismi di trasmissione del moto sismico dal bedrock alla superficie* (risposta sismica locale ed in particolare gli *effetti di sito*) ed è legato alle trasformazioni in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che subiscono le onde sismiche per l'azione filtro operata dagli strati più superficiali. (effetti 1D determinati dalla stratigrafia del sito dal bedrock sismico alla superficie libera; effetti 2D o 3D dovuti alla geometria (bedrock sepolto come nelle valli concave, rilievi). Gli effetti stratigrafici 1D sono legati all'interazione tra onde sismiche e caratteristiche dinamiche dei terreni (in particolare al rapporto d'impedenza sismica tra gli strati e al rapporto di smorzamento del terreno D), ed ai fenomeni di risonanza tra moto sismico e deposito che si verificano quando il periodo fondamentale del deposito (dipendente dallo spessore H e dalla velocità delle onde sismiche V_s) coincide con quello del moto sismico. Gli effetti di valle 2D o 3D sono legati alla interazione tra le onde sismiche e la morfologia sepolta e si esplica con effetti di focalizzazione delle onde sismiche e generazione di onde di superficie in prossimità dei bordi. Rispetto al caso 1D si hanno maggiori amplificazioni ed aumento significativo della durata. Gli effetti topografici 2D o 3D sono legati alla interazione tra onde sismiche e morfologia superficiale e si esplica con effetti di focalizzazione delle onde sismiche. Rispetto al caso 1D si hanno maggiori amplificazioni specialmente in sommità e complessa interazione tra campo d'onda incidente e diffratto. Gli studi di **risposta sismica locale** constano di tre livelli di approfondimento: *Analisi di livello 1*, *Analisi di livello 2*, *Analisi di livello 3*.

L'Analisi di livello 1 - approccio di tipo qualitativo. Tale analisi semplificata dell'azione sismica di progetto si basa sull'individuazione dei danni subiti dalle strutture durante eventi sismici per la determinazione qualitativa della risposta sismica del sito.

L'Analisi di livello 2 - approccio di tipo semiquantitativo. Questa metodologia semplificata prevede l'impiego di parametri che quantificano la variazione del moto sismico in superficie che sono determinabili con metodi semplificati. Tali parametri sono organizzati in abachi riferiti alle singole condizioni stratigrafiche per le quali sono applicabili. In Italia l'abaco comunemente usato è quello riferito alle NTC2018. In tale analisi semplificata dell'azione sismica di progetto si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (§ 3.2.2 – Tab. 3.2.II, Categorie di sottosuolo – NTC2018). La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_{Seq} . Per l'amplificazione dovuta alle condizioni topografiche semplici si adotta la classificazione semplificata (T1, T2, T3, T4) (§ 3.2.2 – Tab. 3.2.III, Categorie topografiche – NTC2018). Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e vengono considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

L'Analisi di livello 3 - approccio di tipo quantitativo. L'analisi numerica della risposta sismica per il sito di studio prevede l'utilizzo di codici di calcolo monodimensionali, bidimensionali e tridimensionali, simulando la propagazione delle onde sismiche nei terreni dalla sottostante formazione rocciosa di base (bedrock sismico) fino alla superficie. Questa metodologia se applicata rigorosamente, ha il vantaggio di considerare il vero fenomeno fisico e, quindi, di aumentare il grado di accuratezza nella previsione dell'amplificazione. Come facilmente deducibile dalla sua definizione, il livello 3, approfondisce il livello di studio dei precedenti, andando a definire puntualmente il valore dell'amplificazione in un particolare sito.

Lo scopo delle analisi di risposta sismica locale, ai vari livelli, è quello di determinare l'amplificazione sismica. Le NTC2018, come già detto, al punto 3.2.2 valutano l'effetto di tale amplificazione tramite una categorizzazione del suolo a mezzo del parametro equivalente V_{Seq} nella tabella 3.2.II. A ciascuna categoria quindi corrisponde un fattore di amplificazione stratigrafico S_s deducibile dalla tabella 3.2.IV, applicabili direttamente agli

spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti rispettivamente orizzontali e verticali. Questo, sempre citando le suddette norme, in assenza di ulteriori specifiche analisi. In alternativa si fa riferimento invece al punto 7.11.3 della stessa norma, e più precisamente al punto 2 in cui viene specificato che "Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore (a_{max}) può essere ricavato dalla relazione $a_{max}=S_S*a_g$ dove a_g è l'accelerazione massima su di un sito di riferimento rigido ed S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafico. Per categorie di sottosuolo non rientranti nelle categorie di Tab. 3.2.II, per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove". Nella sezione sottolineata sopra, trova il campo di applicazione l'analisi di livello 3, in quanto valuta l'amplificazione stratigrafica specifica del sito, tramite un'accelerazione attesa al bedrock, scalata da una funzione di amplificazione del sito dipendente dalla stratigrafia e dai parametri elasto dinamici di ogni strato. Secondo le citate norme tecniche NTC2018, l'accelerazione attesa al bedrock deve risultare da una serie di accelerogrammi (naturali o simulati) che ben approssimano la storia sismica del sito. Particolare importanza, per la scelta degli accelerogrammi naturali o per la generazione di accelerogrammi simulati, ha lo studio della Disaggregazione della Pericolosità Sismica.

2.1 Risposta Sismica Locale.

2.1.1. Condizionamento geologico sulla risposta sismica locale, stratigrafia del sito e relativi parametri elasto-dinamici

La definizione del modello geologico di riferimento dell'area investigata serve, oltre che per gli aspetti più strettamente geotecnici, come base per verificare l'applicabilità delle diverse metodologie di calcolo della risposta sismica locale. In presenza di bacini sepolti,

ovvero di forme concave del basamento sismico con riempimenti costituiti da terreni soffici gli effetti bidimensionali possono giocare un ruolo dominante e quindi rendere irrealistiche le stime effettuate con metodologie 1D. Per valutare in prima approssimazione nelle valli alluvionali della presenza di eventuali effetti 2D dovuti ad un bedrock fortemente inclinato, si può utilizzare l'approccio semplificato proposto da Bard e Bouchon (1985) con l'applicazione della seguente formula:

$$\frac{h}{l} \leq 0.65 / \sqrt{C_v - 1}$$

dove: h è la profondità massima del deposito, l la sua semiampiezza, C_v il rapporto fra la velocità V_s nel basamento sismico e quella media nei terreni di riempimento della valle. Altro fattore che rende irrealistiche le valutazioni con metodi 1D sono la presenza di versanti ad acclività elevata (inclinazione del pendio maggiore di 15° con sviluppo verticale maggiore di 30-40 metri), che possono comportare amplificazioni topografiche sia sulla cresta che lungo il versante.

L'area di studio, posta ad una quota di circa 75.0-115.0 metri s.l.m., morfologicamente insiste su una vasta area pedecollinare da sub-pianeggiante a debole pendenza classificabile come Categoria Topografica T1.

Quindi si può concludere che è possibile stimare l'amplificazione del sito attraverso uno studio monodimensionale della risposta sismica locale. In conclusione, dalle considerazioni emerse, possiamo assimilare l'assetto geologico e geotecnico dell'area investigata ad un modello fisico monodimensionale con n strati piani, orizzontali, paralleli, continui, di estensione infinita, omogenei a comportamento visco-elastico che giacciono sul bedrock sismico. Nello studio si è deciso di procedere all'analisi della risposta sismica locale sia in termini di sito semplificato (NTC2018 – livello II d'analisi), sia in termini di risposta sismica locale numerica (RSL III) con la definizione degli accelerogrammi e degli spettri di risposta specifici per il sito sotto forma di spettri medi e di spettri normalizzati (livello III di analisi).

Per valutare la Risposta Sismica Locale dell'intervento in progetto, dalla Relazione Geologica è stato acquisito il seguente modello geologico medio sino al bedrock sismico, a cui sono stati associati i relativi parametri elasto-dinamici. Tra i vari modelli previsti per l'area d'intervento esso risulta il più cautelativo.

n.	Descrizione	Prof. [m]	Spess. [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	Copertura colluvio alluvionale scarsamente consistente altamente plastica costituita da un limo argillo sabbioso di colore bruno avana	0.00	1.50	Vucetic & Dorby (1991) PI=15	52.4	19.6	162	14.7
		1.50	4.50					73.5
2	Copertura eluviale scarsamente consistente plastica costituita da argille limose debolmente sabbiose di colore bruno avana	6.00	12.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=15	112.0	19.9	235	237.0
3	Substrato sedimentario locale mediamente consistente costituito da argille siltose di colore grigio azzurro	18.0	27.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=30	244.4	20.5	342	633.2
4	Substrato sedimentario locale da mediamente consistente a consistente costituito da argille siltose di colore grigio azzurro	45.0	40.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=30	587.8	21.0	524	1329.9
5	Substrato sedimentario locale consistente costituito da argille siltoso marnose di colore grigio azzurro	85.0	45.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=30	842.5	21.5	620	2233.7
6	Substrato sedimentario locale altamente consistente (bedrock sismico) costituito da argille siltoso marnose di colore grigio azzurro	130.0	>20.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=30	1620.3	22.0	850	2717.4

2.1.2. Analisi semplificata della risposta sismica locale (livello II di analisi - NTC2018)

L'analisi semplificata dell'azione sismica di progetto si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (§ 3.2.2 – Tab. 3.2.II, Categorie di sottosuolo – NTC2018). La classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente **VSeq** di propagazione delle onde di taglio. Tale parametro viene calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} h_i / V_{S,i}}$$

dove **h_i** e **V_{S,i}** sono rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde di taglio dell'*i*-esimo strato; **N** è il numero di strati; **H** la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/sec. Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano d'imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel

caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla tesa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni la profondità è riferita al piano d'imposta della fondazione. Per depositi con profondità **H** del substrato superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro VS_{30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella tabella seguente (§ 3.2.2 – Tab. 3.2.II, Categorie di sottosuolo – NTC2018)

Classe	Descrizione
A	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.
B	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.
C	Depositati 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.
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti con la 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.
E	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.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC2018. Per qualsiasi condizioni di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale mentre per quelle semplici si può adottare la classificazione semplificata (§ 3.2.2 – Tab. 3.2.III, Categorie topografiche – NTC2018). Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

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

Come su indicato, nelle NTC2018, a ciascuna categoria di sottosuolo è associato uno spettro di risposta elastico. La classificazione dei siti nasce a livello normativo per definire in maniera semplificata le azioni sismiche sui singoli edifici e, secondo la stessa norma, la costruzione dello spettro di risposta elastico dell'accelerazione, viene effettuata mediante espressioni matematiche in cui compaiono coefficienti tabellati legati alle diverse categorie di suolo. Le forme spettrali di una specificata area del territorio nazionale, su sottosuolo di categoria **A**, associate ai diversi tempi di ritorno (§ 3.2.3.2.1 NTC2018) vengono modificate attraverso il coefficiente stratigrafico S_s , il coefficiente topografico S_T ed il coefficiente C_C che modifica il valore del periodo T_C , indicati nelle tabelle.

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_s e C_C valgono **1.0**. Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti S_s e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni seguenti (Tab. 3.2.IV Espressioni di S_s e C_C – NTC2018), nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo (T) è espresso in secondi.

Categoria sottosuolo	S_s	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Per tener conto delle condizioni topografiche ed in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati di seguito (Tab. 3.2.V Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T – NTC2018), in funzione delle categorie topografiche (§ 3.2.2 – NTC2018) e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Le espressioni che definiscono lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale e verticale (§ 3.2.3.2.1 e § 3.2.3.2.2 – NTC2018) sono di seguito riportate

$$\begin{array}{ll}
 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{array}$$

nelle quali: **T** ed **Se** sono, rispettivamente, il periodo di vibrazione e l'accelerazione spettrale orizzontale; **S** è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente: **S = S_S × S_T**; **η** è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali **ξ** diversi dal 5%, mediante la relazione **η = 10/(5 + ξ)^{1/2} >= 0,55**; **ξ** (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione; **F_o** è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2; **T_C** è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da **T_C = C_C × T_C^{*}**, (T_C^{*} e C_C sono definiti in § 3.2 – NTC2018); **T_B** è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante ed è definito come **T_B = T_C/3**; **T_D** è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione: **T_D=4,0+(a_g/g)+1,6**.

$$\begin{array}{ll}
 0 \leq T < T_B & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{array}$$

nelle quali: **T** ed **S_v** sono, rispettivamente, il periodo di vibrazione e l'accelerazione spettrale verticale ed **F_v** è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

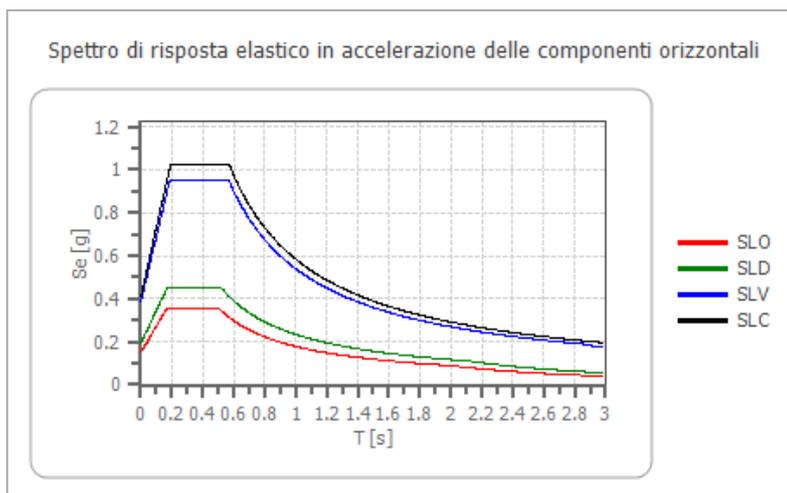
$$F_v = 1,35 * F_0 * \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

I valori di **a_g**, **F₀**, **S**, **η** sono definiti nel § 3.2.3.2.1 per le componenti orizzontali; i valori di **S_s**, **T_B**, **T_C** e **T_D**, salvo più accurate determinazioni, sono riportati di seguito (Tab. 3.2.VI Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale-NTC2018).

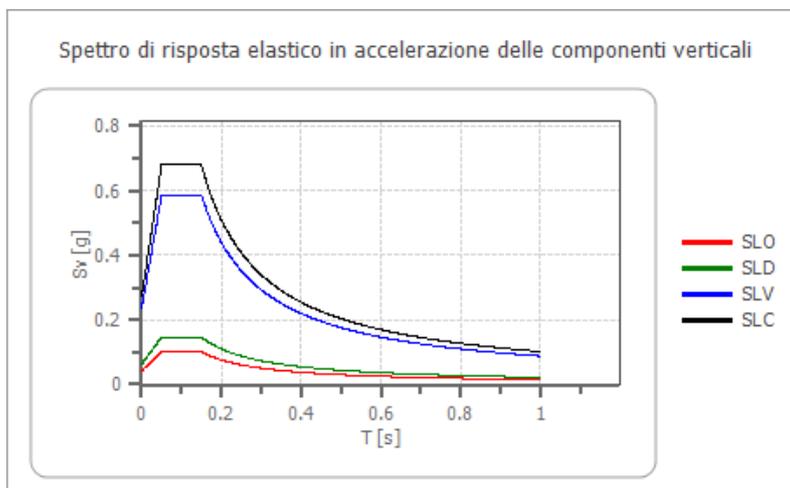
Categoria di sottosuolo	S _s	T _B	T _C	T _D
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

Dalle considerazioni sul modello geologico e sui piani fondali delle opere in progetto fornite dai progettisti (Fondazioni con p.f -1.50 m dal p.c), per la valutazione della risposta sismica locale si è fatto riferimento alla stratigrafia del sito con piano di calcolo posto a - 1.50 metri dal p.c.. Per come prevede la normativa (NTC2018), ne deriva una VSeq pari a: 253.56 m/sec. Considerando tale valore si può classificare il sito di realizzazione dell'opera appartenente alla **Categoria di sottosuolo C** "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." (§ 3.2.2., Tab. 3.2.II). Dalle considerazioni sulla geometria dell'area di studio (sito posto su fascia pedecollinare da subpianeggiate / debole pendenza) si può classificare il sito come **Categoria Topografica T1** " Superficie pianeggiante, Pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$ " 3.2.2., Tab. 3.2.III). Per come prescrive la normativa NTC2018, in base ai dati di pericolosità sismica di base riferiti alla scelta progettuale di verifica sismica ed alla classificazione del sito, sono stati ricavati i parametri che definiscono gli spettri di risposta elastici dei vari stati limite considerati, con coefficiente di smorzamento viscoso del 5%.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI														
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2.0	0.100	2.359	0.333	1.500	1.510	1.000	1.500	1.000	0.168	0.504	2.001	0.150	0.354
SLD	2.0	0.129	2.350	0.346	1.500	1.490	1.000	1.500	1.000	0.172	0.516	2.115	0.193	0.454
SLV	2.0	0.313	2.483	0.398	1.230	1.420	1.000	1.230	1.000	0.188	0.565	2.850	0.385	0.955
SLC	2.0	0.343	2.498	0.406	1.190	1.410	1.000	1.190	1.000	0.191	0.572	2.974	0.409	1.021

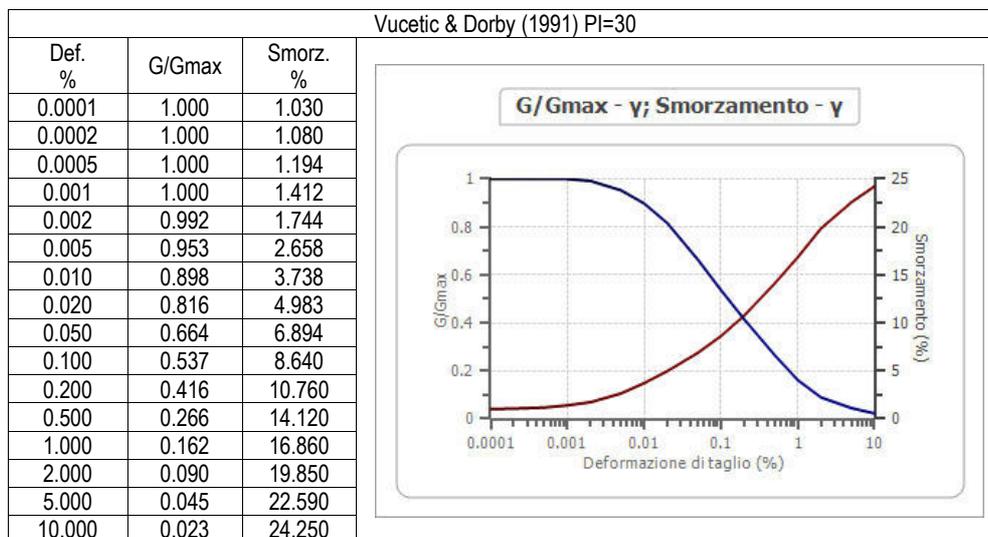
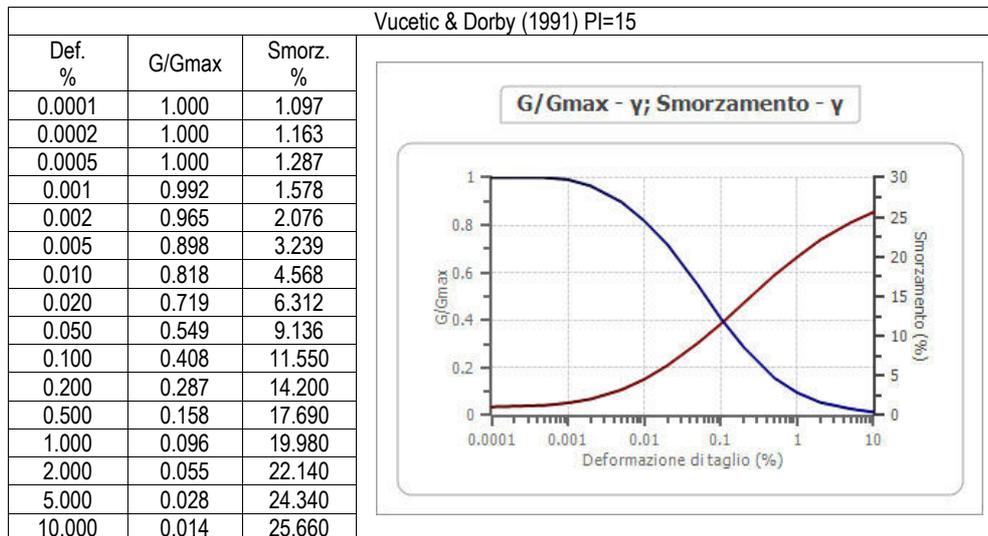


SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI VERTICALI														
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2.0	0.100	2.359	0.333	1.000	1.510	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.043	0.101
SLD	2.0	0.129	2.350	0.346	1.000	1.490	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.062	0.146
SLV	2.0	0.313	2.483	0.398	1.000	1.420	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.236	0.586
SLC	2.0	0.343	2.498	0.406	1.000	1.410	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.272	0.679



2.1.3. *Analisi Numerica della Risposta Sismica Locale (Livello III di analisi), calcolo degli accelerogrammi e degli spettri di risposta in superficie.*

Per la valutazione della risposta sismica locale si farà riferimento al modello geologico già riportato nella presente relazione (Paragrafo 2.1.1 - *Condizionamento geologico sulla risposta sismica locale, stratigrafia del sito e relativi parametri elasto-dinamici*), che risulta la stratigrafia più cautelativa. La colonna di terreno utilizzata per le simulazioni è suddivisa in 6 strati ed il piano di calcolo è posto a -1.50 metri dal p.c. Non essendo state effettuate specifiche indagini di laboratorio per la determinazione delle curve di decadimento del modulo di deformazione a taglio (G) e del coefficiente di smorzamento viscoso (β o D) sono state adoperate curve sperimentali medie per terreni dello stesso tipo, Curve: Vucetic & Dorby (1991).



Come input sismico sono stati adoperati il set di accelerogrammi spettro compatibili precedentemente individuati (7 naturali – Rexel). Tutti gli accelerogrammi utilizzati nelle analisi sono stati scalati al valore di PGA atteso al sito in riferimento ad ogni stato limite considerato, ciò in accordo con la classificazione sismica del territorio nazionale fissata dalle NTC2018. La procedura di calcolo adoperata è quella monodimensionale (RSL). La procedura di calcolo adoperata è quella monodimensionale (Software RSLIII della GeoStru srl). Le fasi procedurali e l’algoritmo che regola le analisi del software RSLIII sono, sinteticamente, di seguito riportate

ALGORITMO E PROCEDURA DI CALCOLO DEL SOFTWARE RSLIII

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od 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

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M 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

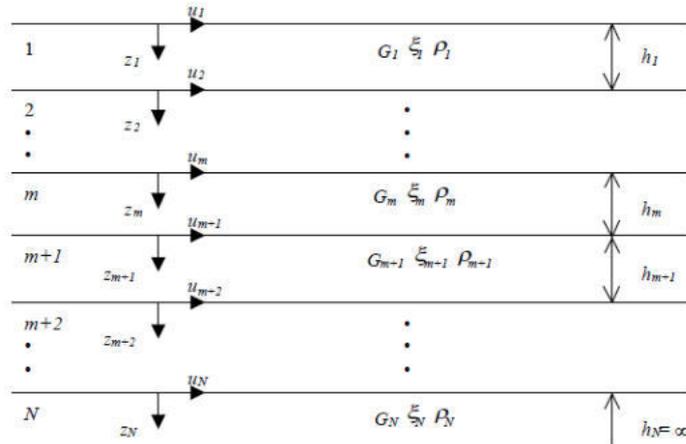
$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

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:

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



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:

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

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

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

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

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,

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

(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 :

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

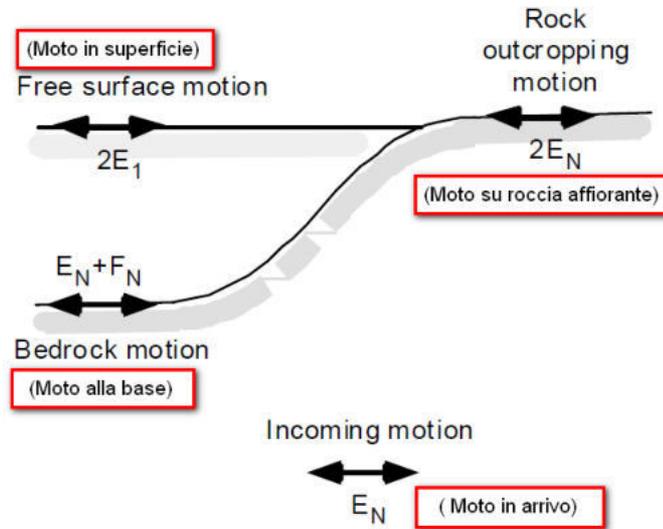
La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

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

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.



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:

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

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

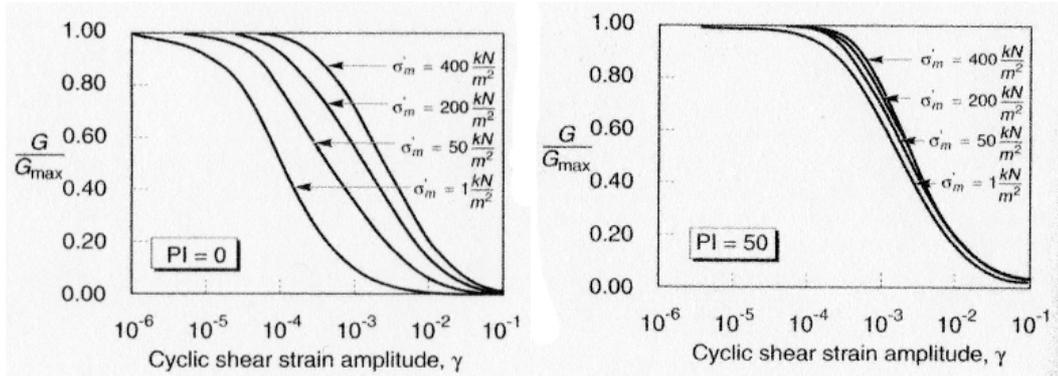
$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145PI^{1.3}) \quad (26)$$

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

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.

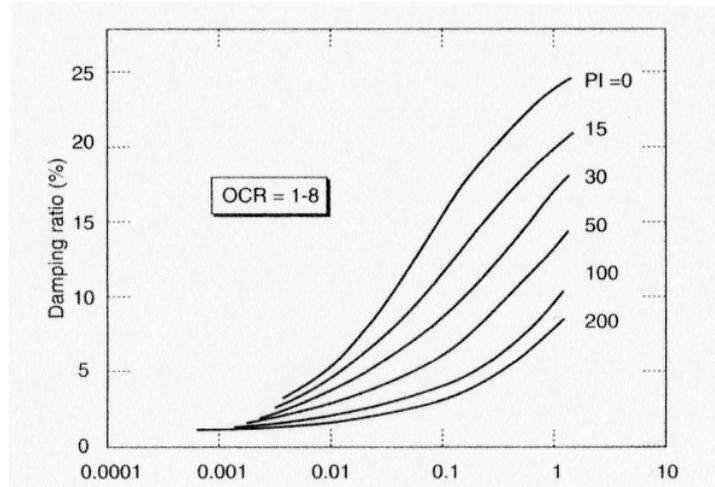


Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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

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

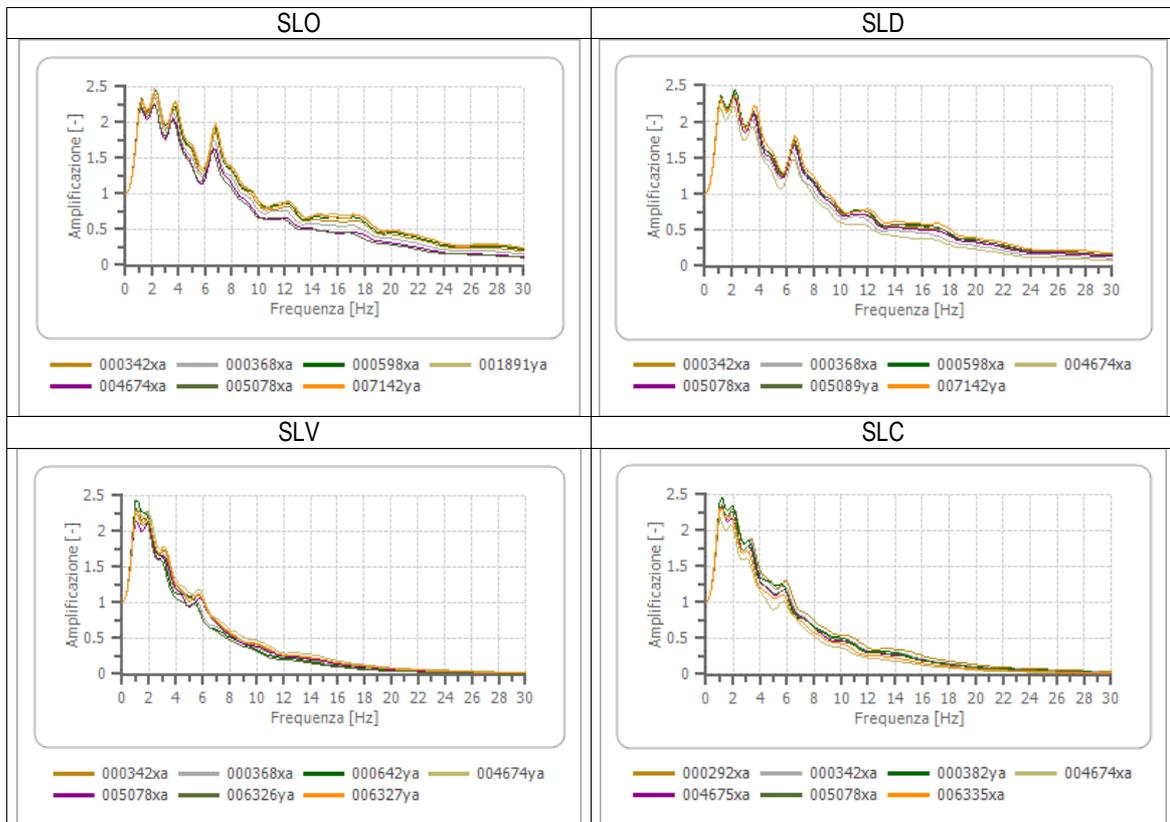
da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.



Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

La stratigrafia del sito, i parametri elasto dinamici e ogni accelerogramma di input determinano, per ogni stato limite considerato, un'ampiezza del segnale acciometrico dal bedrock alla superficie, con riferimento al piano di calcolo, esprimibile, mediante le

seguenti funzioni di amplificazione che esprimono il fattore amplificativo associato alle varie frequenze da cui è composto il segnale accelerometrico.



Applicando le funzioni amplificazione alla stratigrafia dal bedrock al piano fondale, al set di accelerogrammi riferiti al bedrock, ottenuti in precedenza, si ottiene il set di accelerogrammi scalati alla superficie (inteso come piano fondale opere), nello specifico: 7 accelerogrammi riferiti alla componente orizzontale per ogni stato limite considerato e per le due direzioni ortogonali del moto (N-S, E-W, considerate uguali). Relativamente al set di accelerogrammi scalati in superficie, è stato ricavato lo spettro di risposta elastico medio. Per la definizione degli spettri di risposta normalizzati (§ 2.5.3.3.2, 2.5.3.3.3, 2.5.4.3.1, 2.5.4.3.3, 3.2.3 – ICMZS). Dagli spettri medi, degli accelerogrammi scalati in superficie mediante l'analisi numerica, per ogni stato limite, riferiti al bedrock (b) ed in superficie (s) in accelerazione e pseudo velocità $SAb(T)$, $SAs(T)$, $SVb(T)$, $SVs(T)$, sono stati calcolati i fattori di amplificazione FA ed FV attraverso le seguenti leggi:

$$FA = \frac{SA_{ms}}{SA_{mb}}; \quad FV = \frac{SV_{ms}}{SV_{mb}};$$

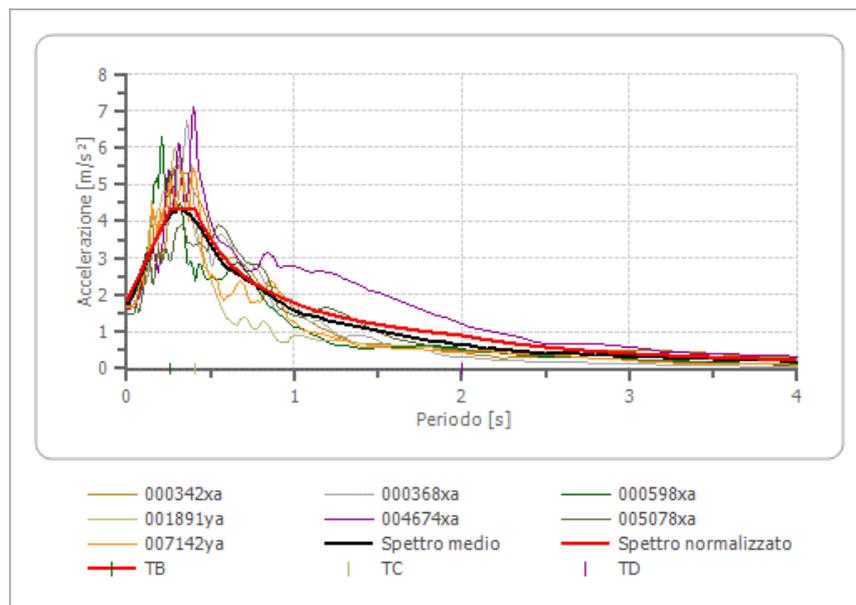
dove: SA_{mb} , SA_{ms} sono rispettivamente il valore medio dello spettro di accelerazione ($SA_b(T)$, $SA_s(T)$) nell'intorno di TA (periodo proprio in cui è massimo il valore dello spettro); SV_{mb} , SV_{ms} sono rispettivamente il valore medio dello spettro di pseudo velocità ($SV_b(T)$, $SV_s(T)$) nell'intorno di TV (periodo proprio in cui è massimo il valore dello spettro).

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0.5*TA}^{1.5*TA} SA(T)dT \quad SV_m = \frac{1}{0.4*TV} \int_{0.8*TV}^{1.2*TV} SV(T)dT$$

		SLO	SLD	SLV	SLC
TAi	[s]	0.260	0.270	0.310	0.310
TVi	[s]	2.150	1.550	2.100	2.150
TA0	[s]	0.320	0.330	0.430	0.410
TV0	[s]	0.820	0.840	0.800	0.800
Sami	[m/s ²]	2.171	2.682	6.540	7.498
Svmi	[m/s]	0.149	0.196	0.535	0.608
Samo	[m/s ²]	3.991	4.849	10.680	12.675
Svmo	[m/s]	0.277	0.384	0.994	1.127
FA	[-]	1.838	1.808	1.633	1.690
FV	[-]	1.861	1.961	1.859	1.853
TB	[s]	0.260	0.250	0.310	0.330
TC	[s]	0.410	0.460	0.560	0.540
TD	[s]	2.000	2.116	2.852	2.972
SA(0)	[m/s ²]	1.826	2.199	4.619	5.464
SA(TB)	[m/s ²]	4.307	5.168	11.469	13.649

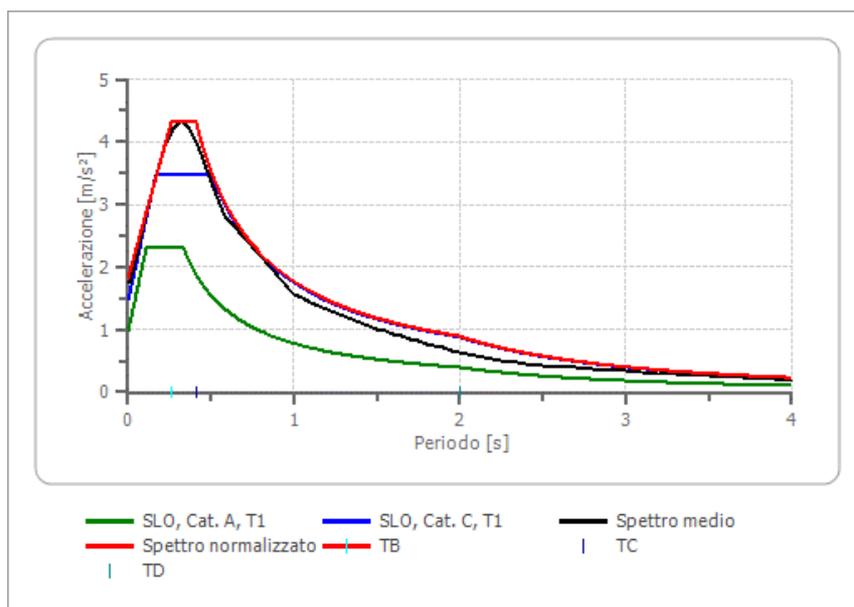
Il codice di calcolo RSLIII, per ogni stato limite, ha restituito i dati, sia in forma tabellare che di grafico, dei valori dei parametri del tempo T (*sec*) e dell'accelerazione sismica orizzontale massima ag espressa in (m/sec^2) atti a definire gli spettri di risposta elastici (medi e normalizzati) della componente orizzontale in superficie. Inoltre vengono messi a confronto sia tra loro sia con gli spettri ricavati con l'approccio semplificato delle NTC2018

SLO - SPETTRO DI RISPOSTA MEDIO - ORIZZONTALE									
Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]
0.00	1.7354	0.26	4.1619	0.52	3.2219	0.98	1.6145	2.25	0.5094
0.01	1.7352	0.27	4.2068	0.53	3.1525	1.00	1.5545	2.30	0.4865
0.02	1.8783	0.28	4.2437	0.54	3.0845	1.05	1.4953	2.35	0.4646
0.03	1.9671	0.29	4.2723	0.55	3.0179	1.10	1.4369	2.40	0.4436
0.04	2.0771	0.30	4.2924	0.56	2.9526	1.15	1.3796	2.50	0.4235
0.05	2.1799	0.31	4.3039	0.57	2.8886	1.20	1.3234	2.60	0.4042
0.06	2.2864	0.32	4.3070	0.58	2.8258	1.25	1.2685	2.70	0.3856
0.07	2.3925	0.33	4.3016	0.60	2.7639	1.30	1.2151	2.80	0.3677
0.08	2.4999	0.34	4.2881	0.62	2.7029	1.35	1.1631	2.90	0.3505
0.09	2.6077	0.35	4.2666	0.64	2.6426	1.40	1.1127	3.00	0.3339
0.10	2.7162	0.36	4.2376	0.66	2.5827	1.45	1.0640	3.10	0.3179
0.11	2.8248	0.37	4.2015	0.68	2.5232	1.50	1.0170	3.20	0.3024
0.12	2.9334	0.38	4.1588	0.70	2.4638	1.55	0.9717	3.30	0.2875
0.13	3.0415	0.39	4.1101	0.72	2.4044	1.60	0.9281	3.40	0.2730
0.14	3.1487	0.40	4.0561	0.74	2.3448	1.65	0.8864	3.50	0.2590
0.15	3.2546	0.41	3.9973	0.76	2.2851	1.70	0.8463	3.60	0.2455
0.16	3.3584	0.42	3.9344	0.78	2.2250	1.75	0.8080	3.70	0.2325
0.17	3.4598	0.43	3.8683	0.80	2.1647	1.80	0.7714	3.80	0.2199
0.18	3.5580	0.44	3.7994	0.82	2.1040	1.85	0.7365	3.90	0.2077
0.19	3.6525	0.45	3.7286	0.84	2.0430	1.90	0.7032	4.00	0.1960
0.20	3.7427	0.46	3.6563	0.86	1.9818	1.95	0.6714		
0.21	3.8280	0.47	3.5833	0.88	1.9204	2.00	0.6411		
0.22	3.9079	0.48	3.5100	0.90	1.8589	2.05	0.6122		
0.23	3.9816	0.49	3.4368	0.92	1.7974	2.10	0.5846		
0.24	4.0489	0.50	3.3642	0.94	1.7361	2.15	0.5584		
0.25	4.1091	0.51	3.2925	0.96	1.6751	2.20	0.5333		

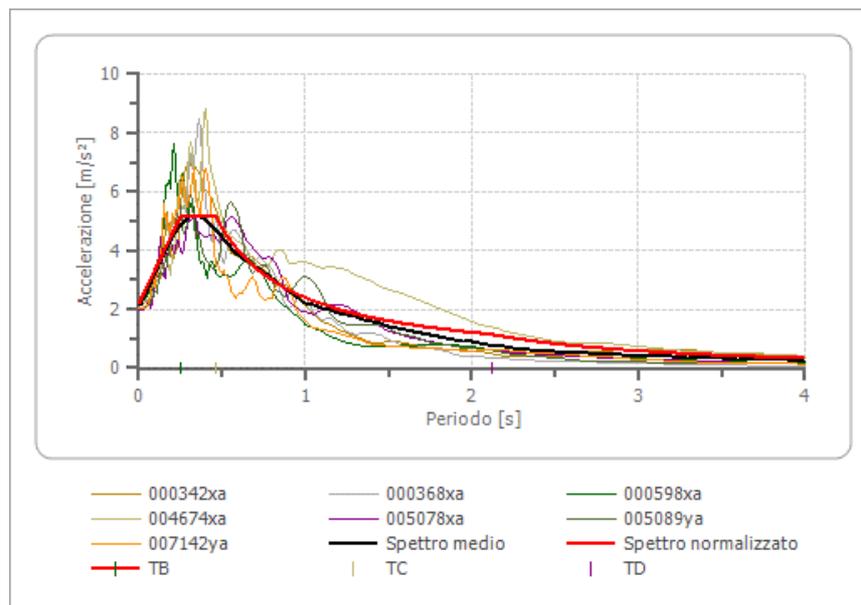


SLO - SPETTRO DI RISPOSTA NORMALIZZATO - ORIZZONTALE

Periodo [s]	Acc. [m/s ²]								
0.00	1.8258	0.26	4.3070	0.52	3.3959	0.98	1.8019	2.25	0.7848
0.01	1.9212	0.27	4.3070	0.53	3.3318	1.00	1.7659	2.30	0.7678
0.02	2.0166	0.28	4.3070	0.54	3.2701	1.05	1.6818	2.35	0.7514
0.03	2.1121	0.29	4.3070	0.55	3.2107	1.10	1.6053	2.40	0.7358
0.04	2.2075	0.30	4.3070	0.56	3.1533	1.15	1.5355	2.50	0.7063
0.05	2.3029	0.31	4.3070	0.57	3.0980	1.20	1.4716	2.60	0.6792
0.06	2.3984	0.32	4.3070	0.58	3.0446	1.25	1.4127	2.70	0.6540
0.07	2.4938	0.33	4.3070	0.60	2.9431	1.30	1.3584	2.80	0.6307
0.08	2.5892	0.34	4.3070	0.62	2.8482	1.35	1.3080	2.90	0.6089
0.09	2.6847	0.35	4.3070	0.64	2.7592	1.40	1.2613	3.00	0.5886
0.10	2.7801	0.36	4.3070	0.66	2.6756	1.45	1.2178	3.10	0.5696
0.11	2.8755	0.37	4.3070	0.68	2.5969	1.50	1.1772	3.20	0.5518
0.12	2.9709	0.38	4.3070	0.70	2.5227	1.55	1.1393	3.30	0.5351
0.13	3.0664	0.39	4.3070	0.72	2.4526	1.60	1.1037	3.40	0.5194
0.14	3.1618	0.40	4.3070	0.74	2.3863	1.65	1.0702	3.50	0.5045
0.15	3.2572	0.41	4.3070	0.76	2.3235	1.70	1.0387	3.60	0.4905
0.16	3.3527	0.42	4.2044	0.78	2.2639	1.75	1.0091	3.70	0.4773
0.17	3.4481	0.43	4.1067	0.80	2.2073	1.80	0.9810	3.80	0.4647
0.18	3.5435	0.44	4.0133	0.82	2.1535	1.85	0.9545	3.90	0.4528
0.19	3.6390	0.45	3.9241	0.84	2.1022	1.90	0.9294	4.00	0.4415
0.20	3.7344	0.46	3.8388	0.86	2.0533	1.95	0.9056		
0.21	3.8298	0.47	3.7572	0.88	2.0067	2.00	0.8829		
0.22	3.9253	0.48	3.6789	0.90	1.9621	2.05	0.8614		
0.23	4.0207	0.49	3.6038	0.92	1.9194	2.10	0.8409		
0.24	4.1161	0.50	3.5317	0.94	1.8786	2.15	0.8213		
0.25	4.2116	0.51	3.4625	0.96	1.8394	2.20	0.8027		

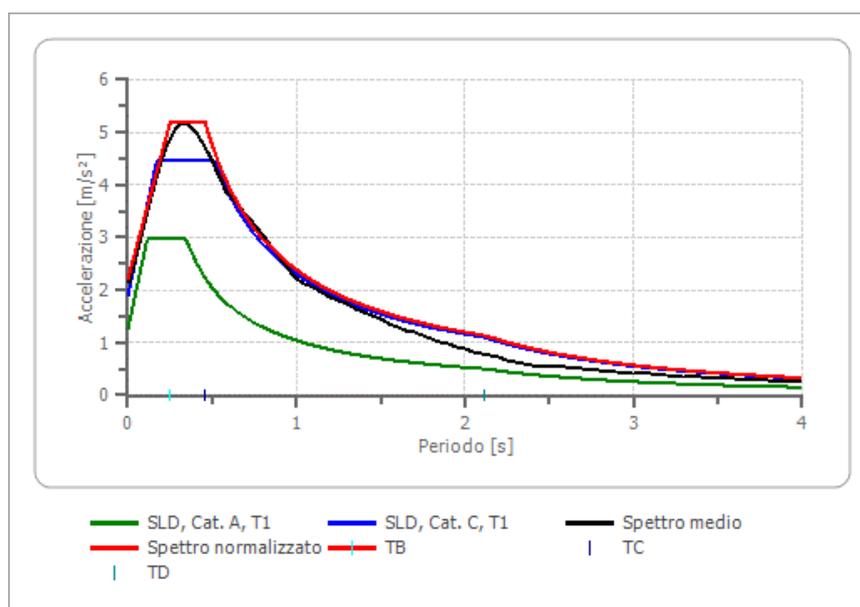


SLD - SPETTRO DI RISPOSTA MEDIO - ORIZZONTALE									
Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]
0.00	2.1321	0.26	4.9420	0.52	4.3091	0.98	2.2862	2.25	0.6780
0.01	2.1319	0.27	4.9988	0.53	4.2404	1.00	2.2027	2.30	0.6439
0.02	2.3024	0.28	5.0476	0.54	4.1712	1.05	2.1199	2.35	0.6113
0.03	2.4079	0.29	5.0883	0.55	4.1014	1.10	2.0381	2.40	0.5803
0.04	2.5385	0.30	5.1207	0.56	4.0311	1.15	1.9573	2.50	0.5508
0.05	2.6598	0.31	5.1448	0.57	3.9602	1.20	1.8779	2.60	0.5227
0.06	2.7851	0.32	5.1606	0.58	3.8886	1.25	1.8000	2.70	0.4959
0.07	2.9094	0.33	5.1684	0.60	3.8164	1.30	1.7236	2.80	0.4703
0.08	3.0344	0.34	5.1684	0.62	3.7433	1.35	1.6491	2.90	0.4459
0.09	3.1594	0.35	5.1607	0.64	3.6694	1.40	1.5764	3.00	0.4227
0.10	3.2843	0.36	5.1458	0.66	3.5945	1.45	1.5057	3.10	0.4005
0.11	3.4089	0.37	5.1241	0.68	3.5187	1.50	1.4371	3.20	0.3792
0.12	3.5330	0.38	5.0961	0.70	3.4419	1.55	1.3707	3.30	0.3590
0.13	3.6561	0.39	5.0621	0.72	3.3640	1.60	1.3066	3.40	0.3396
0.14	3.7778	0.40	5.0228	0.74	3.2852	1.65	1.2448	3.50	0.3210
0.15	3.8976	0.41	4.9786	0.76	3.2053	1.70	1.1852	3.60	0.3033
0.16	4.0152	0.42	4.9301	0.78	3.1245	1.75	1.1281	3.70	0.2864
0.17	4.1298	0.43	4.8779	0.80	3.0427	1.80	1.0732	3.80	0.2702
0.18	4.2410	0.44	4.8223	0.82	2.9602	1.85	1.0207	3.90	0.2547
0.19	4.3483	0.45	4.7640	0.84	2.8770	1.90	0.9705	4.00	0.2399
0.20	4.4510	0.46	4.7034	0.86	2.7931	1.95	0.9225		
0.21	4.5486	0.47	4.6407	0.88	2.7088	2.00	0.8767		
0.22	4.6405	0.48	4.5766	0.90	2.6242	2.05	0.8330		
0.23	4.7262	0.49	4.5111	0.92	2.5395	2.10	0.7914		
0.24	4.8053	0.50	4.4445	0.94	2.4548	2.15	0.7517		
0.25	4.8774	0.51	4.3772	0.96	2.3703	2.20	0.7140		

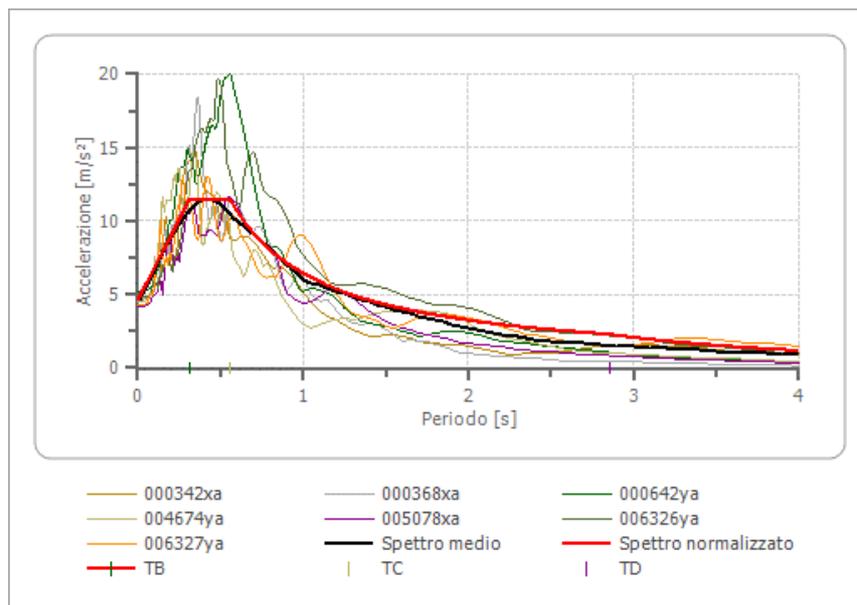


SLD - SPETTRO DI RISPOSTA NORMALIZZATO - ORIZZONTALE

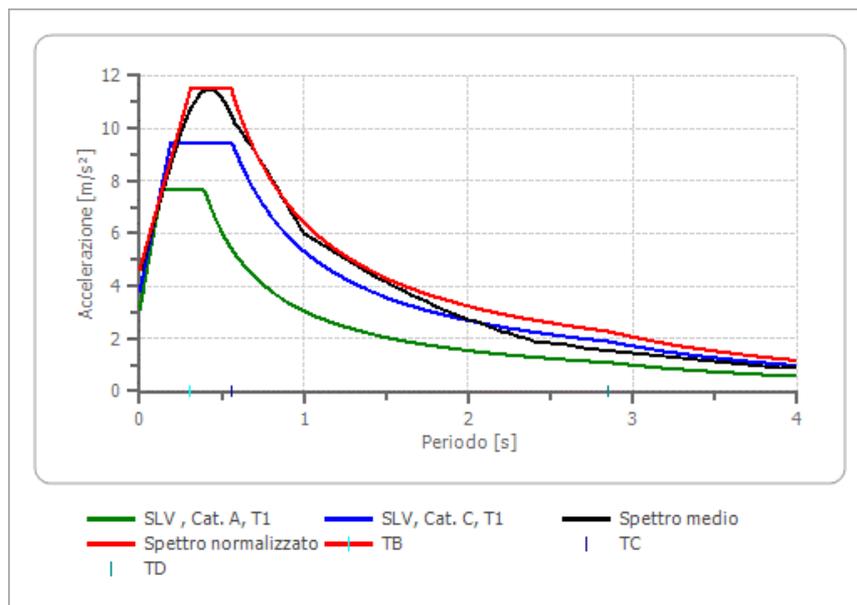
Periodo [s]	Acc. [m/s ²]								
0.00	2.1993	0.26	5.1684	0.52	4.5721	0.98	2.4260	2.25	1.0567
0.01	2.3181	0.27	5.1684	0.53	4.4858	1.00	2.3775	2.30	1.0337
0.02	2.4369	0.28	5.1684	0.54	4.4027	1.05	2.2643	2.35	1.0117
0.03	2.5556	0.29	5.1684	0.55	4.3227	1.10	2.1613	2.40	0.9906
0.04	2.6744	0.30	5.1684	0.56	4.2455	1.15	2.0674	2.50	0.9510
0.05	2.7932	0.31	5.1684	0.57	4.1710	1.20	1.9812	2.60	0.9144
0.06	2.9119	0.32	5.1684	0.58	4.0991	1.25	1.9020	2.70	0.8805
0.07	3.0307	0.33	5.1684	0.60	3.9625	1.30	1.8288	2.80	0.8491
0.08	3.1494	0.34	5.1684	0.62	3.8346	1.35	1.7611	2.90	0.8198
0.09	3.2682	0.35	5.1684	0.64	3.7148	1.40	1.6982	3.00	0.7925
0.10	3.3870	0.36	5.1684	0.66	3.6022	1.45	1.6396	3.10	0.7669
0.11	3.5057	0.37	5.1684	0.68	3.4963	1.50	1.5850	3.20	0.7430
0.12	3.6245	0.38	5.1684	0.70	3.3964	1.55	1.5339	3.30	0.7204
0.13	3.7433	0.39	5.1684	0.72	3.3021	1.60	1.4859	3.40	0.6993
0.14	3.8620	0.40	5.1684	0.74	3.2128	1.65	1.4409	3.50	0.6793
0.15	3.9808	0.41	5.1684	0.76	3.1283	1.70	1.3985	3.60	0.6604
0.16	4.0996	0.42	5.1684	0.78	3.0481	1.75	1.3586	3.70	0.6426
0.17	4.2183	0.43	5.1684	0.80	2.9718	1.80	1.3208	3.80	0.6257
0.18	4.3371	0.44	5.1684	0.82	2.8994	1.85	1.2851	3.90	0.6096
0.19	4.4558	0.45	5.1684	0.84	2.8303	1.90	1.2513	4.00	0.5944
0.20	4.5746	0.46	5.1684	0.86	2.7645	1.95	1.2192		
0.21	4.6934	0.47	5.0585	0.88	2.7017	2.00	1.1887		
0.22	4.8121	0.48	4.9531	0.90	2.6416	2.05	1.1597		
0.23	4.9309	0.49	4.8520	0.92	2.5842	2.10	1.1321		
0.24	5.0497	0.50	4.7550	0.94	2.5292	2.15	1.1058		
0.25	5.1684	0.51	4.6617	0.96	2.4765	2.20	1.0807		



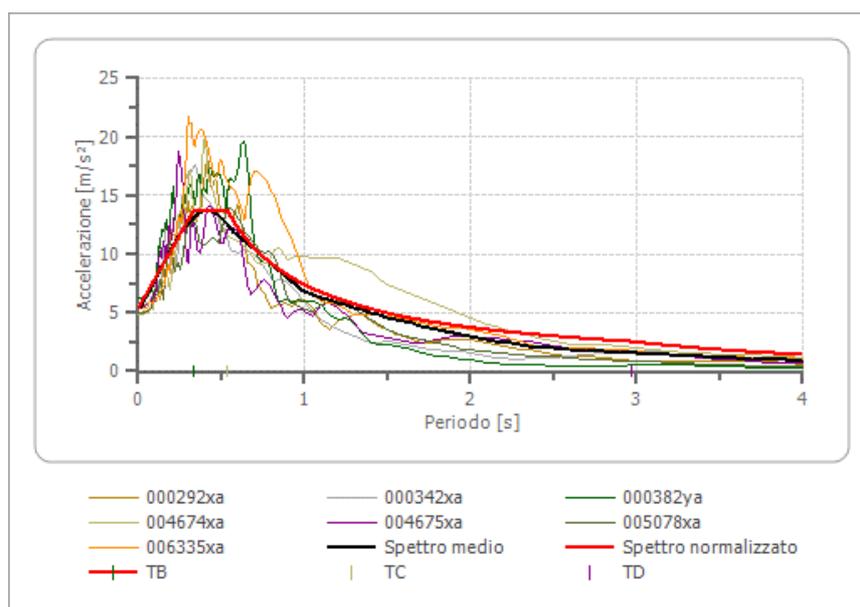
SLV - SPETTRO DI RISPOSTA MEDIO - ORIZZONTALE									
Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]
0.00	4.6311	0.26	9.9708	0.52	10.9679	0.98	6.2156	2.25	2.2001
0.01	4.6306	0.27	10.1365	0.53	10.8597	1.00	6.0103	2.30	2.1034
0.02	4.9361	0.28	10.2945	0.54	10.7419	1.05	5.8078	2.35	2.0102
0.03	5.1249	0.29	10.4441	0.55	10.6150	1.10	5.6083	2.40	1.9205
0.04	5.3584	0.30	10.5850	0.56	10.4793	1.15	5.4121	2.50	1.8341
0.05	5.5750	0.31	10.7167	0.57	10.3351	1.20	5.2196	2.60	1.7508
0.06	5.7983	0.32	10.8388	0.58	10.1830	1.25	5.0309	2.70	1.6706
0.07	6.0192	0.33	10.9509	0.60	10.0232	1.30	4.8462	2.80	1.5934
0.08	6.2413	0.34	11.0527	0.62	9.8563	1.35	4.6658	2.90	1.5190
0.09	6.4630	0.35	11.1439	0.64	9.6828	1.40	4.4899	3.00	1.4474
0.10	6.6847	0.36	11.2242	0.66	9.5031	1.45	4.3184	3.10	1.3785
0.11	6.9062	0.37	11.2934	0.68	9.3177	1.50	4.1516	3.20	1.3121
0.12	7.1273	0.38	11.3514	0.70	9.1272	1.55	3.9894	3.30	1.2482
0.13	7.3477	0.39	11.3979	0.72	8.9320	1.60	3.8320	3.40	1.1867
0.14	7.5671	0.40	11.4330	0.74	8.7327	1.65	3.6793	3.50	1.1275
0.15	7.7852	0.41	11.4565	0.76	8.5299	1.70	3.5314	3.60	1.0705
0.16	8.0017	0.42	11.4685	0.78	8.3241	1.75	3.3882	3.70	1.0157
0.17	8.2160	0.43	11.4688	0.80	8.1158	1.80	3.2497	3.80	0.9630
0.18	8.4279	0.44	11.4576	0.82	7.9055	1.85	3.1158	3.90	0.9124
0.19	8.6368	0.45	11.4350	0.84	7.6939	1.90	2.9864	4.00	0.8637
0.20	8.8421	0.46	11.4010	0.86	7.4814	1.95	2.8615		
0.21	9.0435	0.47	11.3558	0.88	7.2685	2.00	2.7410		
0.22	9.2402	0.48	11.2995	0.90	7.0558	2.05	2.6248		
0.23	9.4319	0.49	11.2323	0.92	6.8437	2.10	2.5127		
0.24	9.6179	0.50	11.1545	0.94	6.6326	2.15	2.4046		
0.25	9.7977	0.51	11.0662	0.96	6.4231	2.20	2.3004		



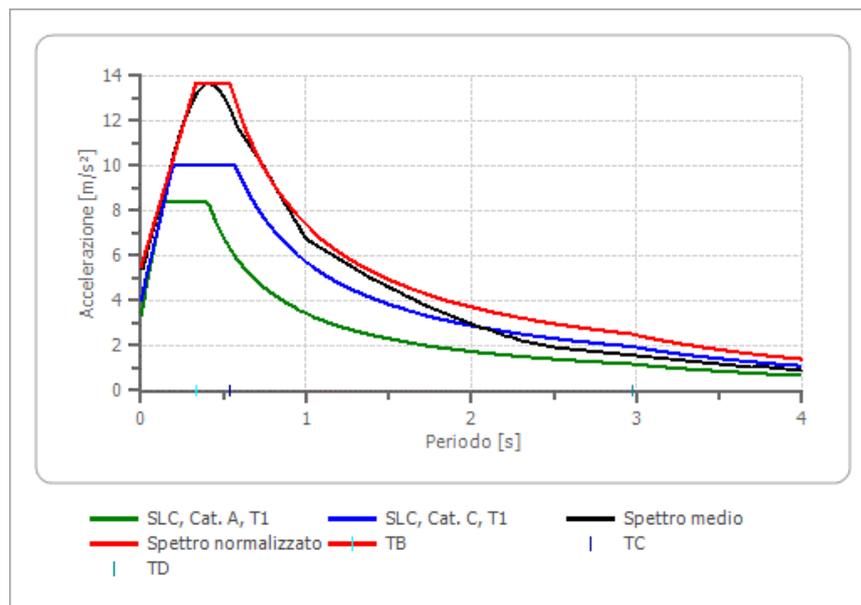
SLV - SPETTRO DI RISPOSTA NORMALIZZATO - ORIZZONTALE									
Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]
0.00	4.6189	0.26	10.3640	0.52	11.4688	0.98	6.5536	2.25	2.8545
0.01	4.8399	0.27	10.5850	0.53	11.4688	1.00	6.4225	2.30	2.7924
0.02	5.0609	0.28	10.8059	0.54	11.4688	1.05	6.1167	2.35	2.7330
0.03	5.2818	0.29	11.0269	0.55	11.4688	1.10	5.8387	2.40	2.6761
0.04	5.5028	0.30	11.2479	0.56	11.4688	1.15	5.5848	2.50	2.5690
0.05	5.7238	0.31	11.4688	0.57	11.2676	1.20	5.3521	2.60	2.4702
0.06	5.9447	0.32	11.4688	0.58	11.0734	1.25	5.1380	2.70	2.3787
0.07	6.1657	0.33	11.4688	0.60	10.7042	1.30	4.9404	2.80	2.2938
0.08	6.3867	0.34	11.4688	0.62	10.3589	1.35	4.7574	2.90	2.2147
0.09	6.6076	0.35	11.4688	0.64	10.0352	1.40	4.5875	3.00	2.1408
0.10	6.8286	0.36	11.4688	0.66	9.7311	1.45	4.4293	3.10	2.0718
0.11	7.0495	0.37	11.4688	0.68	9.4449	1.50	4.2817	3.20	2.0070
0.12	7.2705	0.38	11.4688	0.70	9.1751	1.55	4.1436	3.30	1.9462
0.13	7.4915	0.39	11.4688	0.72	8.9202	1.60	4.0141	3.40	1.8890
0.14	7.7124	0.40	11.4688	0.74	8.6791	1.65	3.8924	3.50	1.8350
0.15	7.9334	0.41	11.4688	0.76	8.4507	1.70	3.7780	3.60	1.7840
0.16	8.1544	0.42	11.4688	0.78	8.2340	1.75	3.6700	3.70	1.7358
0.17	8.3753	0.43	11.4688	0.80	8.0282	1.80	3.5681	3.80	1.6901
0.18	8.5963	0.44	11.4688	0.82	7.8324	1.85	3.4716	3.90	1.6468
0.19	8.8173	0.45	11.4688	0.84	7.6459	1.90	3.3803	4.00	1.6056
0.20	9.0382	0.46	11.4688	0.86	7.4681	1.95	3.2936		
0.21	9.2592	0.47	11.4688	0.88	7.2983	2.00	3.2113		
0.22	9.4801	0.48	11.4688	0.90	7.1362	2.05	3.1329		
0.23	9.7011	0.49	11.4688	0.92	6.9810	2.10	3.0584		
0.24	9.9221	0.50	11.4688	0.94	6.8325	2.15	2.9872		
0.25	10.1430	0.51	11.4688	0.96	6.6901	2.20	2.9193		



SLC - SPETTRO DI RISPOSTA MEDIO - ORIZZONTALE									
Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]
0.00	5.3818	0.26	11.9241	0.52	12.8319	0.98	6.9889	2.25	2.3621
0.01	5.3812	0.27	12.1326	0.53	12.6820	1.00	6.7498	2.30	2.2537
0.02	5.7376	0.28	12.3302	0.54	12.5215	1.05	6.5141	2.35	2.1497
0.03	5.9581	0.29	12.5161	0.55	12.3510	1.10	6.2822	2.40	2.0497
0.04	6.2314	0.30	12.6896	0.56	12.1709	1.15	6.0545	2.50	1.9538
0.05	6.4859	0.31	12.8501	0.57	11.9819	1.20	5.8312	2.60	1.8617
0.06	6.7492	0.32	12.9969	0.58	11.7846	1.25	5.6125	2.70	1.7733
0.07	7.0111	0.33	13.1296	0.60	11.5794	1.30	5.3986	2.80	1.6883
0.08	7.2756	0.34	13.2478	0.62	11.3670	1.35	5.1898	2.90	1.6068
0.09	7.5414	0.35	13.3512	0.64	11.1480	1.40	4.9862	3.00	1.5285
0.10	7.8088	0.36	13.4394	0.66	10.9230	1.45	4.7879	3.10	1.4532
0.11	8.0776	0.37	13.5123	0.68	10.6926	1.50	4.5951	3.20	1.3810
0.12	8.3476	0.38	13.5697	0.70	10.4574	1.55	4.4078	3.30	1.3116
0.13	8.6184	0.39	13.6117	0.72	10.2180	1.60	4.2261	3.40	1.2449
0.14	8.8896	0.40	13.6383	0.74	9.9750	1.65	4.0501	3.50	1.1809
0.15	9.1608	0.41	13.6494	0.76	9.7290	1.70	3.8797	3.60	1.1193
0.16	9.4313	0.42	13.6454	0.78	9.4807	1.75	3.7149	3.70	1.0603
0.17	9.7004	0.43	13.6263	0.80	9.2305	1.80	3.5558	3.80	1.0036
0.18	9.9674	0.44	13.5925	0.82	8.9792	1.85	3.4022	3.90	0.9492
0.19	10.2315	0.45	13.5442	0.84	8.7272	1.90	3.2541	4.00	0.8970
0.20	10.4919	0.46	13.4817	0.86	8.4752	1.95	3.1114		
0.21	10.7476	0.47	13.4055	0.88	8.2235	2.00	2.9740		
0.22	10.9977	0.48	13.3158	0.90	7.9728	2.05	2.8418		
0.23	11.2414	0.49	13.2132	0.92	7.7236	2.10	2.7146		
0.24	11.4776	0.50	13.0980	0.94	7.4762	2.15	2.5924		
0.25	11.7055	0.51	12.9708	0.96	7.2312	2.20	2.4749		



SLC - SPETTRO DI RISPOSTA NORMALIZZATO - ORIZZONTALE									
Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]	Periodo [s]	Acc. [m/s ²]
0.00	5.4641	0.26	11.9132	0.52	13.6494	0.98	7.5211	2.25	3.2759
0.01	5.7122	0.27	12.1612	0.53	13.6494	1.00	7.3707	2.30	3.2047
0.02	5.9602	0.28	12.4092	0.54	13.6494	1.05	7.0197	2.35	3.1365
0.03	6.2083	0.29	12.6573	0.55	13.4013	1.10	6.7006	2.40	3.0711
0.04	6.4563	0.30	12.9053	0.56	13.1620	1.15	6.4093	2.50	2.9483
0.05	6.7043	0.31	13.1534	0.57	12.9311	1.20	6.1422	2.60	2.8349
0.06	6.9524	0.32	13.4014	0.58	12.7081	1.25	5.8966	2.70	2.7299
0.07	7.2004	0.33	13.6494	0.60	12.2845	1.30	5.6698	2.80	2.6324
0.08	7.4485	0.34	13.6494	0.62	11.8882	1.35	5.4598	2.90	2.5416
0.09	7.6965	0.35	13.6494	0.64	11.5167	1.40	5.2648	3.00	2.4569
0.10	7.9445	0.36	13.6494	0.66	11.1677	1.45	5.0832	3.10	2.3776
0.11	8.1926	0.37	13.6494	0.68	10.8393	1.50	4.9138	3.20	2.3033
0.12	8.4406	0.38	13.6494	0.70	10.5296	1.55	4.7553	3.30	2.2335
0.13	8.6887	0.39	13.6494	0.72	10.2371	1.60	4.6067	3.40	2.1679
0.14	8.9367	0.40	13.6494	0.74	9.9604	1.65	4.4671	3.50	2.1059
0.15	9.1847	0.41	13.6494	0.76	9.6983	1.70	4.3357	3.60	2.0474
0.16	9.4328	0.42	13.6494	0.78	9.4496	1.75	4.2118	3.70	1.9921
0.17	9.6808	0.43	13.6494	0.80	9.2134	1.80	4.0948	3.80	1.9397
0.18	9.9289	0.44	13.6494	0.82	8.9887	1.85	3.9842	3.90	1.8899
0.19	10.1769	0.45	13.6494	0.84	8.7746	1.90	3.8793	4.00	1.8427
0.20	10.4249	0.46	13.6494	0.86	8.5706	1.95	3.7798		
0.21	10.6730	0.47	13.6494	0.88	8.3758	2.00	3.6853		
0.22	10.9210	0.48	13.6494	0.90	8.1897	2.05	3.5955		
0.23	11.1691	0.49	13.6494	0.92	8.0116	2.10	3.5099		
0.24	11.4171	0.50	13.6494	0.94	7.8412	2.15	3.4282		
0.25	11.6651	0.51	13.6494	0.96	7.6778	2.20	3.3503		



Dallo spettro di risposta elastico normalizzato (ricavato dallo spettro medio), vengono ricavati i parametri essenziali che lo definiscono (parametri che caratterizzano gli spettri per come definiti nelle NTC2018). I parametri che definiscono gli spettri elastici orizzontali derivati dallo studio numerico di risposta sismica locale sono i seguenti:

PARAMETRI SPETTRO ELASTICO ORIZZONTALE IN SUPERFICIE RSL livello III regolarizzazione spettro di risposta elastico medio in superficie RSL livello III				
Sito Coordinale MEDIE - ED50: Lat.: 39.113415°; Lon.: 16.994690°				
Opera: Classe d'uso IV, Coeff. d'uso Cu=2.0, Vita nom. Vn = 100 anni. Periodo di rif. Vr=200 anni				
Spettro Pericolosità sismica di base livello II NTC2018 (Bedrock): A; T1				
Spettro Pericolosità sismica di sito livello II NTC2018 (Superficie): C; T1				
	SLO	SLD	SLV	SLC
Tr (anni)	120	201	1898	2475
Ag/g o ag [g]	0.100	0.129	0.313	0.343
ag [m/s ²]	0.981	1.265	3.071	3.365
Fo	2.359	2.350	2.483	2.498
T*c [s]	0.333	0.346	0.398	0.406
Cc	1.231	1.329	1.407	1.330
Ss	1.861	1.738	1.504	1.624
St	1.000	1.000	1.000	1.000
S	1.861	1.738	1.504	1.624
ξ [%]	5.000	5.000	5.000	5.000
η	1.000	1.000	1.000	1.000
TB [s] - oriz.	0.260	0.250	0.310	0.330
TC [s] - oriz.	0.410	0.460	0.560	0.540
TD [s] - oriz.	2.000	2.116	2.852	2.972
Sa(0) [g]	0.186	0.224	0.471	0.557
Sa(Tb) [g]	0.439	0.527	1.169	1.391
Sa(0) [m/s²]	1.826	2.199	4.619	5.464
Sa(Tb) [m/s²]	4.307	5.168	11.469	13.649
Nelle caselle in grigio i risultati dell' accelerazione sismica Sa in superficie da studio di Risposta Sismica Locale di livello III , per il periodo T=0 (ancoraggio delle spettro) e per il periodo T=TB (plateau). I valori dell'accelerazione sono espressi sia in [m/s ²], sia in funzione di [g].				

Le espressioni che legano tra loro tali parametri e che definiscono lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale (§ 3.2.3.2.1 – NTC2018) sono di seguito riportate

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

In tali espressioni: **T** ed **Se** sono, rispettivamente, il periodo di vibrazione e l'accelerazione spettrale orizzontale; **S** è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente: $S = S_S \times S_T$; η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione $\eta = 10/(5 + \xi)^{1/2} \geq 0,55$; ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione; **Fo** è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale; **T_C** è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_C = C_C \times T_C^*$; **T_B** è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante; **T_D** è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi. Tale approccio al problema serve per poter ricavare, con la stessa metodologia adottata dalle NTC2018, gli spettri di risposta verticale in funzione degli spettri di risposta orizzontale. Tale metodo consente di avere a disposizione degli spettri di risposta verticali che, rispetto a quelli verticali ricavati direttamente dallo studio numerico, sono più cautelativi e quindi consigliati per la progettazione. Con tale approccio le espressioni che definiscono lo spettro di risposta elastico della componente verticale § 3.2.3.2.2 – NTC2018) sono di seguito riportate

$$\begin{array}{ll}
 0 \leq T < T_B & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{array}$$

I valori di **ag**, **Fo**, **S**, η sono stati definiti in precedenza, mentre i valori di **S_S**, **T_B**, **T_C** e **T_D** sono riportati di seguito (Tab. 3.2.VI Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale - NTC2018).

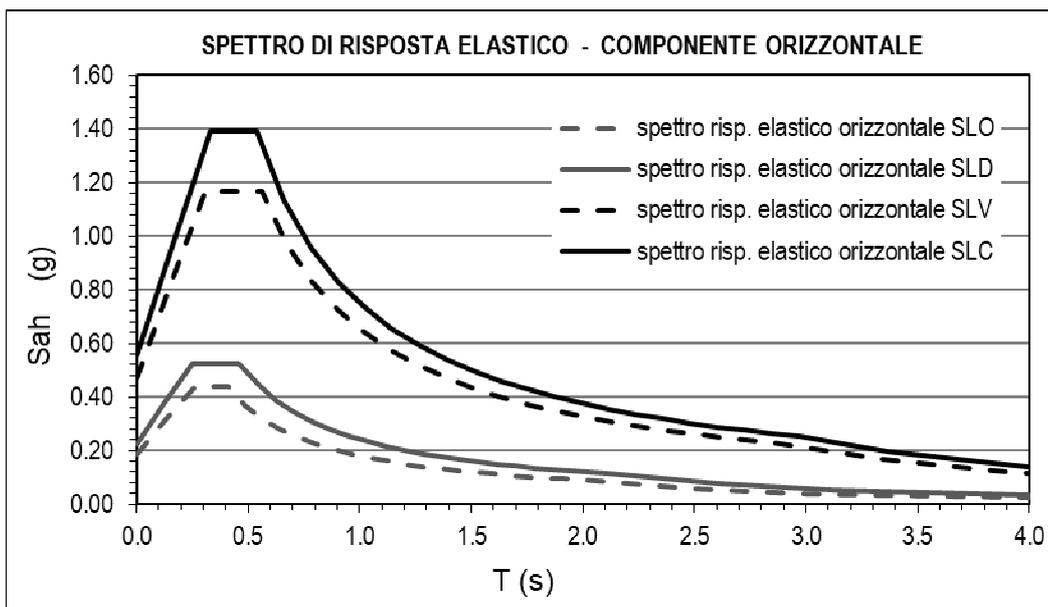
Categoria di sottosuolo	S _S	T _B	T _C	T _D
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

T ed **Sve** sono, rispettivamente, il periodo di vibrazione e l'accelerazione spettrale verticale ed **Fv** è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno **ag** su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

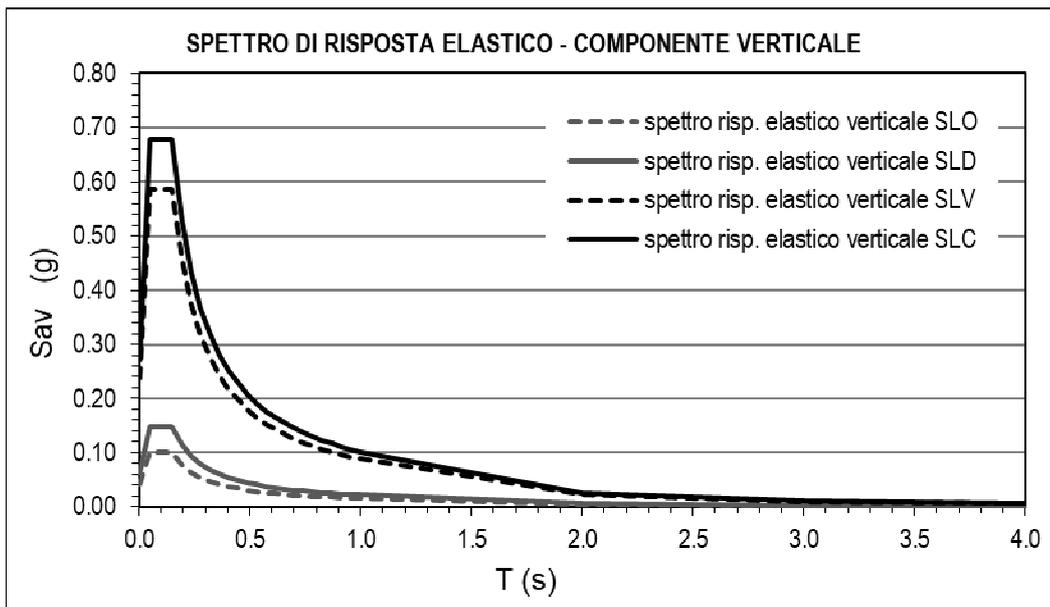
$$F_v = 1,35 * F_0 * \left(\frac{ag}{g} \right)^{0,5}$$

L'applicazione delle espressioni precedenti, per ogni stato limite, ha restituito i dati, sia in forma tabellare che di grafico, dei valori dei parametri del tempo **T** (sec) e dell'accelerazione sismica massima **ag** espressa in (g) atti a definire gli spettri di risposta elastici (normalizzati) della componente orizzontale e verticale in superficie.

SLO - ORIZZONTALE		SLD - ORIZZONTALE		SLV - ORIZZONTALE		SLC - ORIZZONTALE	
T (s)	Sa (g)						
0.000	0.186	0.000	0.224	0.000	0.471	0.000	0.557
0.130	0.313	0.125	0.375	0.155	0.820	0.165	0.974
0.260	0.439	0.250	0.527	0.310	1.169	0.330	1.391
0.335	0.439	0.355	0.527	0.435	1.169	0.435	1.391
0.410	0.439	0.460	0.527	0.560	1.169	0.540	1.391
0.490	0.368	0.543	0.446	0.675	0.971	0.662	1.136
0.569	0.316	0.626	0.387	0.789	0.830	0.783	0.959
0.649	0.278	0.708	0.342	0.904	0.724	0.905	0.830
0.728	0.247	0.791	0.306	1.018	0.643	1.026	0.732
0.808	0.223	0.874	0.277	1.133	0.578	1.148	0.654
0.887	0.203	0.957	0.253	1.248	0.525	1.270	0.592
0.967	0.186	1.040	0.233	1.362	0.481	1.391	0.540
1.046	0.172	1.122	0.216	1.477	0.443	1.513	0.497
1.126	0.160	1.205	0.201	1.591	0.411	1.634	0.460
1.205	0.149	1.288	0.188	1.706	0.384	1.756	0.428
1.285	0.140	1.371	0.177	1.821	0.360	1.878	0.400
1.364	0.132	1.454	0.167	1.935	0.338	1.999	0.376
1.444	0.125	1.536	0.158	2.050	0.319	2.121	0.354
1.523	0.118	1.619	0.150	2.164	0.302	2.242	0.335
1.603	0.112	1.702	0.142	2.279	0.287	2.364	0.318
1.682	0.107	1.785	0.136	2.394	0.274	2.486	0.302
1.762	0.102	1.868	0.130	2.508	0.261	2.607	0.288
1.841	0.098	1.950	0.124	2.623	0.250	2.729	0.275
1.921	0.094	2.033	0.119	2.737	0.239	2.850	0.264
2.000	0.090	2.116	0.115	2.852	0.230	2.972	0.253
2.500	0.058	2.616	0.075	3.352	0.166	3.172	0.222
3.000	0.040	3.116	0.053	3.852	0.126	3.372	0.196
4.000	0.023	4.000	0.032	4.000	0.117	4.000	0.140



SLO - VERTICALE		SLD - VERTICALE		SLV - VERTICALE		SLC - VERTICALE	
T (s)	Sa (g)						
0.000	0.043	0.000	0.063	0.000	0.236	0.000	0.271
0.025	0.072	0.025	0.105	0.025	0.412	0.025	0.474
0.050	0.101	0.050	0.147	0.050	0.587	0.050	0.677
0.100	0.101	0.100	0.147	0.100	0.587	0.100	0.677
0.150	0.101	0.150	0.147	0.150	0.587	0.150	0.677
0.193	0.078	0.193	0.114	0.193	0.457	0.193	0.528
0.235	0.064	0.235	0.094	0.235	0.375	0.235	0.432
0.278	0.054	0.278	0.079	0.278	0.317	0.278	0.366
0.320	0.047	0.320	0.069	0.320	0.275	0.320	0.318
0.363	0.042	0.363	0.061	0.363	0.243	0.363	0.280
0.405	0.037	0.405	0.054	0.405	0.217	0.405	0.251
0.448	0.034	0.448	0.049	0.448	0.197	0.448	0.227
0.490	0.031	0.490	0.045	0.490	0.180	0.490	0.207
0.533	0.028	0.533	0.041	0.533	0.165	0.533	0.191
0.575	0.026	0.575	0.038	0.575	0.153	0.575	0.177
0.618	0.024	0.618	0.036	0.618	0.143	0.618	0.165
0.660	0.023	0.660	0.033	0.660	0.133	0.660	0.154
0.703	0.022	0.703	0.031	0.703	0.125	0.703	0.145
0.745	0.020	0.745	0.030	0.745	0.118	0.745	0.136
0.788	0.019	0.788	0.028	0.788	0.112	0.788	0.129
0.830	0.018	0.830	0.027	0.830	0.106	0.830	0.122
0.873	0.017	0.873	0.025	0.873	0.101	0.873	0.116
0.915	0.017	0.915	0.024	0.915	0.096	0.915	0.111
0.958	0.016	0.958	0.023	0.958	0.092	0.958	0.106
1.000	0.015	1.000	0.022	1.000	0.088	1.000	0.102
2.000	0.004	2.000	0.006	2.000	0.022	2.000	0.025
3.000	0.002	3.000	0.002	3.000	0.010	3.000	0.011
4.000	0.001	4.000	0.001	4.000	0.006	4.000	0.006



3. VALUTAZIONI CONCLUSIVE.

Al passaggio dal tetto dei depositi rigidi (Bedrock sismico) alla superficie dei depositi di copertura, le onde sismiche interagiscono con i terreni producendo, in funzione di specifiche condizioni locali, fenomeni di amplificazione del moto sismico che condizionano la Risposta Sismica Locale. Per valutare tale risposta si è fatto riferimento a due diverse metodologie di calcolo, al fine di confrontare numericamente i risultati ottenuti. In particolare la risposta sismica locale è stata determinata secondo l'approccio semplificato (NTC2018 - livello II di analisi) e con un'analisi numerica di risposta sismica locale (livello III di analisi). L'analisi dei dati è rappresentata compiutamente nei paragrafi precedenti con grafici, tabelle numeriche e confronto tra gli spettri ottenuti dalle diverse analisi di risposta sismica locale per ogni stato limite considerato.

Per le verifiche sismiche da effettuare, se specificatamente richiesti, vengono forniti i file riferiti al bedrock ed alla superficie degli accelerogrammi. Per i dati numerici da inserire nel *Sistema Informativo per l'analisi strutturale ed il monitoraggio degli interventi in Calabria SISMI.CA*, verrà fornita la tabella riguardante i dati dei terremoti adoperati per il calcolo nelle varie direzioni per come specificato nella scheda: SCHEDA (F1_EQK_AGN) relativa agli accelerogrammi naturali.

CAMPO	TIPO	VAL. MIN	VAL. MAX	MISURA	STATO	NOTE	DESCRIZIONE
ID	intero	1	4		essenziale	1	identificatore ordinale dello stato limite
GRUPPO	intero	1	100		essenziale	2	indice del gruppo di accelerogrammi di appartenenza
DIR	intero	1	3		essenziale	3	direzioni sismiche (1=X, 2=Y, 3=Z)
SORGENTE	stringa	-	-		essenziale		luogo dell'evento sismico
STAZIONE	stringa	-	-		essenziale		luogo di registrazione dell'evento
DATA	stringa	-	-	[gg/mm/aaaa]	essenziale		data della registrazione
ORARIO	stringa	-	-	[hh:min]	essenziale		ora della registrazione
SUOLO	stringa	-	-	[A, B, ..., S1, S2]	essenziale		caratterizzazione del suolo ai sensi delle NTC08
MW	decimale	0	10		essenziale	4	magnitudo momento
PGA	decimale	0	5,6	[g]	essenziale	3, 4	accelerazione di picco registrata al suolo, in unità [g]
RMAX	decimale	0	1E+05	[km]	essenziale		distanza massima epicentrale
SCALA	decimale	0,1	100		essenziale	5	fattore di scala utilizzato per gli spettri elastici relativi allo SL considerato

Note:

1) E' necessario indicare lo stato limite per il quale è preso in considerazione l'accelerogramma. I valori ammessi per ID sono i seguenti: 1) Stato Limite di Operatività (SLO), 2) Stato Limite di Danno (SLD), 3) Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), 4) Stato Limite di Prevenzione del Collasso (SLC). Ciascuno stato limite potrà essere associato ad un particolare insieme di registrazioni, per cui le registrazioni prese in considerazione per un determinato stato limite potranno differire da quelle per un altro stato limite.

2) Per gruppo di appartenenza deve intendersi la coppia o la terna di valori registrati di PGA. Generalmente quando si fa riferimento a tre gruppi di registrazioni si parla di spettri ottenuti dall'involuppo dei massimi, mentre, con sette gruppi, di involuppo dei valori medi. La numerazione dei gruppi deve essere sequenziale a partire dal valore 1, così da indicare la sequenza 1, 2, 3, ... associata ad ogni stato limite sismico preso in considerazione. Ciascuno stato limite dovrà presentare lo stesso numero di gruppi.

3) Generalmente le registrazioni fanno riferimento alle due componenti di accelerazione orizzontale del suolo; qualora sia necessario considerare anche la componente sismica verticale l'accelerazione del suolo corrispondente potrà essere identificata, allo stesso modo, dalla relativa registrazione, se disponibile. Nel caso in cui la registrazione non dovesse riportare la componente verticale dell'accelerazione, lo spettro corrispondente sarà ottenuto correlando opportunamente i valori accelerometrici degli spettri orizzontali; in ogni caso, anche quando la registrazione del segnale accelerometrico dovesse limitarsi alle sole due componenti orizzontali, è necessario riportare i dati del rilevamento relativi alla terza direzione, assegnandone però una $PGA = 0$.

4) I valori registrati sono riferiti al segnale accelerometrico in arrivo alla stazione di rilevamento

5) Il fattore di scala è impiegato per tarare lo spettro di accelerazione registrato ai valori di compatibilità con gli spettri NTC. Nel caso di spettri verticali ottenuti per correlazione di quelli orizzontali, il fattore di scala dovrà essere determinato in virtù dei segnali accelerometrici corrispondenti agli spettri orizzontali appartenenti allo stesso gruppo.

Per quanto riguarda gli spettri elastici e di progetto, se specificatamente richiesti, verranno forniti con le specifiche tecniche richieste dal sistema (file ASCII nel formato: nomefile.txt). Il formato standard dei file di testo per il SISMI.CA richiede quanto specificato nella scheda SPETTRO SISMICO (F1_EQK_SPE):

CAMPO	TIPO	VAL. MIN	VAL. MAX	MISURA	STATO	NOTE	DESCRIZIONE
T	decimale	0,00	25,00	[s]	essenziale		periodo
SA/G	decimale	0,00	3,00		essenziale		accelerazione spettrale corrispondente al periodo T, in unità [g]

Ulteriori vincoli per il file sono: I punti spettrali debbono rispettare una sequenzialità crescente secondo i periodi; L'incremento del periodo, tra punti consecutivi, non deve risultare inferiore o uguale a 0.02 s; in ogni caso il numero di punti spettrali non potrà essere superiore a 400.

Per quanto riguarda gli spettri medi e normalizzati si può fare riferimento alle tabelle numeriche riportate nella presente relazione. In ogni caso **si consiglia, a vantaggio di sicurezza) l'uso degli spettri di risposta elastici normalizzati della componente orizzontale e verticale.** Si rammenta che essi non sono spettri di progetto ma spettri di risposta elastici. **Sinteticamente si può concludere che lo spettro di risposta elastico di normativa (Categoria di sottosuolo C, Categoria topografica T1) non è adeguato ad esprimere la reale accelerazione al piano fondale delle opere per periodi: SLO 0.16<T<0.50 sec; SLD 0.17<T<0.51 sec; SLV 0.19<T<1.5 sec; SLC 0.20<T<2.0. Per periodi diversi gli spettri elastici di normativa risultano comparabili o più cautelativi.**

Di seguito sono riportati i grafici e le tabelle con i parametri che descrivono gli spettri di risposta elastici derivanti dallo studio di risposta sismica locale di livello III. Tali parametri sono espressi sia in funzione dell'accelerazione al bedrock mediante un fattore amplificativo S_s , sia come parametri che descrivono direttamente gli spettri in superficie.

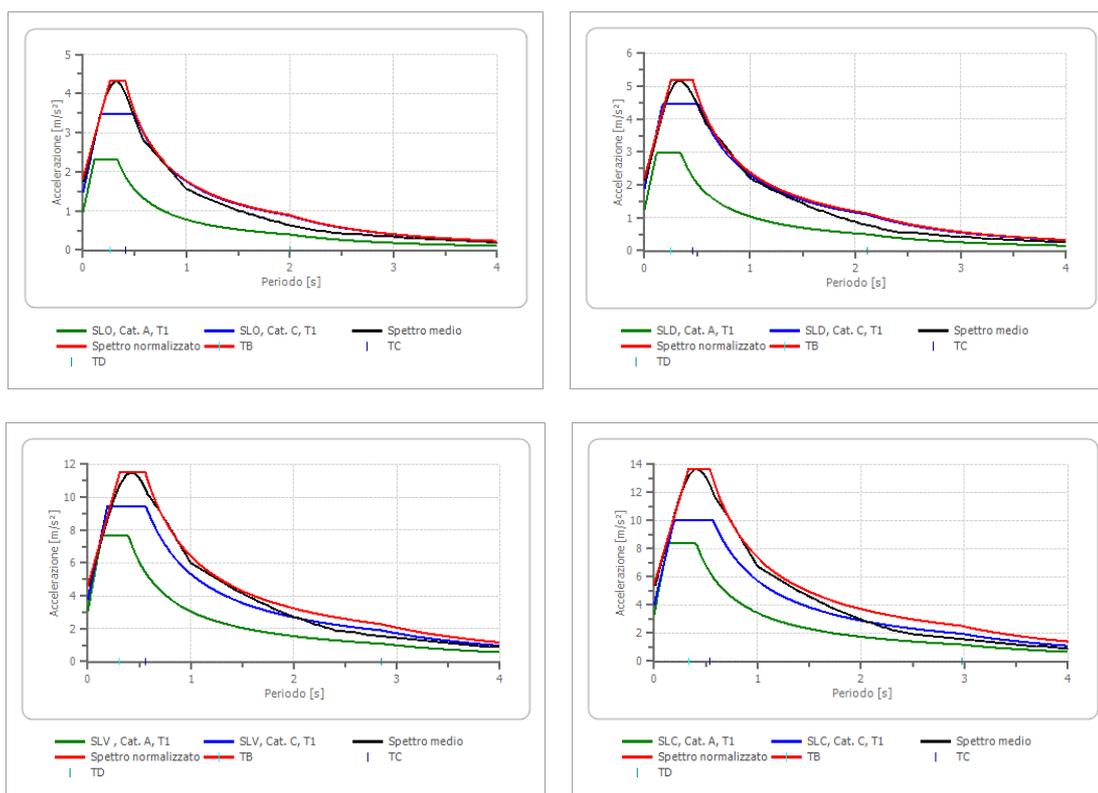
PARAMETRI SPETTRO ELASTICO ORIZZONTALE IN SUPERFICIE RSL livello III regolarizzazione spettro di risposta elastico medio in superficie RSL livello III				
Sito Coordinale MEDIE - ED50: Lat.: 39.113415°; Lon.: 16.994690° Opera: Classe d'uso IV, Coeff. d'uso $C_u=2.0$, Vita nom. $V_n = 100$ anni. Periodo di rif. $V_r=200$ anni Spettro Pericolosità sismica di base livello II NTC2018 (Bedrock): A; T1 Spettro Pericolosità sismica di sito livello II NTC2018 (Superficie): C; T1				
	SLO	SLD	SLV	SLC
Tr (anni)	120	201	1898	2475
Ag/g o ag [g]	0.100	0.129	0.313	0.343
ag [m/s ²]	0.981	1.265	3.071	3.365
Fo	2.359	2.350	2.483	2.498
T*c [s]	0.333	0.346	0.398	0.406
Cc	1.231	1.329	1.407	1.330
Ss	1.861	1.738	1.504	1.624
St	1.000	1.000	1.000	1.000
S	1.861	1.738	1.504	1.624
ξ [%]	5.000	5.000	5.000	5.000
η	1.000	1.000	1.000	1.000
TB [s] - oriz.	0.260	0.250	0.310	0.330
TC [s] - oriz.	0.410	0.460	0.560	0.540
TD [s] - oriz.	2.000	2.116	2.852	2.972
Sa(0) [g]	0.186	0.224	0.471	0.557
Sa(Tb) [g]	0.439	0.527	1.169	1.391
Sa(0) [m/s²]	1.826	2.199	4.619	5.464
Sa(Tb) [m/s²]	4.307	5.168	11.469	13.649
Nelle caselle in grigio i risultati dell'accelerazione sismica Sa in superficie da studio di Risposta Sismica Locale di livello III , per il periodo $T=0$ (ancoraggio delle spettro) e per il periodo $T=TB$ (plateau). I valori dell'accelerazione sono espressi sia in [m/s ²], sia in funzione di [g].				

**RIEPILOGO SINTETICO DELLE CARATTERISTICHE SPETTRALI
SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN SUPERFICIE DA RSLIII**

Stato limite	pvr	Tr (anni)	ag (g)	Amax (g)	Ss	St	S	F0	Tco (s)	Cc	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
SLC	0.05	2475	0.343	----	1.624	1.000	1.624	2.498	0.406	1.330	0.330	0.540	2.972
			----	0.557	1.000	1.000	1.000						
SLV	0.10	1898	0.313	----	1.504	1.000	1.504	2.483	0.398	1.407	0.310	0.560	2.852
			----	0.471	1.000	1.000	1.000						
SLD	0.63	201	0.129	----	1.738	1.000	1.738	2.350	0.346	1.329	0.250	0.460	2.116
			----	0.224	1.000	1.000	1.000						
SLO	0.81	120	0.100	----	1.861	1.000	1.861	2.359	0.333	1.231	0.260	0.410	2.000
			----	0.186	1.000	1.000	1.000						

Nelle caselle in neretto la parte dei parametri che definiscono lo spettro in superficie da studio di Risposta Sismica Locale di livello III riferito direttamente alla accelerazione massima in superficie Amax (g) e con fattore amplificativo Ss pari ad 1.00. Nelle caselle con testo normale la parte dei parametri che definiscono lo spettro in superficie da studio di Risposta Sismica Locale di livello III in riferimento all'accelerazione sismica al bedrock ag(g) e quindi con fattore amplificativo Ss diverso da 1.000.

Nelle casella in grigio la parte dei parametri comuni alle due diverse rappresentazione dello stesso spettro di risposta elastico in superficie.



In ogni caso i due approcci per parametrizzare gli spettri, adoperando le formule delle NTC2018, sono equivalenti e quindi portano allo stesso risultato cioè agli spettri graficati in precedenza.

Qualora le verifiche agli Stati Limite di Esercizio ed Ultimi non vengano effettuate tramite l'uso di adeguati accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, possono essere usati gli Spettri di Progetto per come previsto dalla normativa (§ 3.2.3.4 “Spettri di Risposta di Progetto per lo Stato Limite di Operatività SLO” e § 3.2.3.5 “Spettri di Risposta di Progetto per gli Stati Limite di Danno SLD, di Salvaguardia della Vita SLV e di Prevenzione del Collasso SLC” – NTC2018). La procedura prevede che:

- (§ 3.2.3.4 “Spettri di Risposta di Progetto per lo Stato Limite di Operatività SLO” – NTC2018) Per le verifiche allo Stato Limite di Esercizio (SLO) lo spettro di progetto equivale allo spettro elastico quindi gli spettri da utilizzare sono, come consigliato, lo spettro normalizzato delle componenti orizzontali e verticali, relativo all'SLO, riportato sia graficamente che in versione tabellata nel presente studio.
- (§ 3.2.3.5 “Spettri di Risposta di Progetto per gli Stati Limite di Danno SLD, di Salvaguardia della Vita SLV e di Prevenzione del Collasso SLC” – NTC2018) Per le verifiche agli Stati Limite (SLD, SLV ed SLC) lo spettro di progetto può tenere conto delle capacità dissipative anelastiche delle strutture attraverso la riduzione delle forze elastiche. Quindi tale spettro equivale, come consigliato, allo spettro di risposta elastico normalizzato delle componenti orizzontali e verticali, fornito nel presente studio, con le ordinate eventualmente ridotte di un fattore inversamente proporzionale al fattore di struttura q per come definito nel Capitolo 7 delle NTC2018.

Di seguito vengono riportati i dati relativi alla scheda F1_EQK_AGN. Tali dati vengono forniti già compilati per la direzione X (DIR 1), Y (DIR 2) e Z (DIR 3). Si ricorda che ID 1, 2, 3 e 4 si riferiscono rispettivamente a SLO, SLD, SLV e SLC, Sarà cura del progettista estrapolare i soli dati di interesse in funzione degli ID e DIR che si vogliono caricare nel sistema. Si ricorda che la scheda F1_EQK_AGN accetta un massimo di tre stati limite cioè tre ID, quindi dai dati sotto riportati bisogna scegliere quali ID caricare. Inoltre mentre le direzioni X e Y (DIR 1 e 2) vanno sempre caricate, la direzione Z (DIR 3) va caricata solo se è stata applicata la verifica verticale.

ID	GRUPPO	DIR	SORGENTE	STAZIONE	DATA	ORARIO	SUOLO	MW	PGA	RMAX	SCALA
					[gg/mm/aaaa]	[h:m]			[g]	[km]	
4	1	1	Campano Lucano	ST98	23/11/1980	0:00	A	6.90	0.059	25.00	5.72
4	1	2	Campano Lucano	ST98	23/11/1980	0:00	A	6.90	0.059	25.00	5.72
4	1	3	Campano Lucano	ST98	23/11/1980	0:00	A	6.90	0.059	25.00	5.72
4	2	1	Cazulas	ST124	24/06/1984	0:00	A	4.90	0.015	24.00	22.43
4	2	2	Cazulas	ST124	24/06/1984	0:00	A	4.90	0.015	24.00	22.43
4	2	3	Cazulas	ST124	24/06/1984	0:00	A	4.90	0.015	24.00	22.43
4	3	1	Lazio Abruzzo (aftershock)	ST140	11/05/1984	0:00	A	5.50	0.014	16.00	22.89
4	3	2	Lazio Abruzzo (aftershock)	ST140	11/05/1984	0:00	A	5.50	0.014	16.00	22.89
4	3	3	Lazio Abruzzo (aftershock)	ST140	11/05/1984	0:00	A	5.50	0.014	16.00	22.89
4	4	1	South Iceland	ST2486	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.317	5.00	1.08
4	4	2	South Iceland	ST2486	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.317	5.00	1.08
4	4	3	South Iceland	ST2486	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.317	5.00	1.08
4	5	1	South Iceland	ST2487	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.131	13.00	2.60
4	5	2	South Iceland	ST2487	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.131	13.00	2.60
4	5	3	South Iceland	ST2487	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.131	13.00	2.60
4	6	1	Mt. Hengill Area	ST2496	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.013	18.00	25.30
4	6	2	Mt. Hengill Area	ST2496	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.013	18.00	25.30
4	6	3	Mt. Hengill Area	ST2496	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.013	18.00	25.30
4	7	1	South Iceland (aftershock)	ST2557	21/06/2000	0:00	A	6.40	0.127	15.00	2.70
4	7	2	South Iceland (aftershock)	ST2557	21/06/2000	0:00	A	6.40	0.127	15.00	2.70
4	7	3	South Iceland (aftershock)	ST2557	21/06/2000	0:00	A	6.40	0.127	15.00	2.70
3	1	1	Cazulas	ST124	24/06/1984	0:00	A	4.90	0.015	24.00	20.47
3	1	2	Cazulas	ST124	24/06/1984	0:00	A	4.90	0.015	24.00	20.47
3	1	3	Cazulas	ST124	24/06/1984	0:00	A	4.90	0.015	24.00	20.47
3	2	1	Lazio Abruzzo	ST143	07/05/1984	0:00	A	5.90	0.064	22.00	4.89
3	2	2	Lazio Abruzzo	ST143	07/05/1984	0:00	A	5.90	0.064	22.00	4.89
3	2	3	Lazio Abruzzo	ST143	07/05/1984	0:00	A	5.90	0.064	22.00	4.89
3	3	1	Umbria Marche (aftershock)	ST225	14/10/1997	0:00	A	5.60	0.062	23.00	4.97
3	3	2	Umbria Marche (aftershock)	ST225	14/10/1997	0:00	A	5.60	0.062	23.00	4.97
3	3	3	Umbria Marche (aftershock)	ST225	14/10/1997	0:00	A	5.60	0.062	23.00	4.97
3	4	1	South Iceland	ST2486	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.337	5.00	0.93
3	4	2	South Iceland	ST2486	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.337	5.00	0.93
3	4	3	South Iceland	ST2486	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.337	5.00	0.93
3	5	1	Mt. Hengill Area	ST2496	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.013	18.00	23.09
3	5	2	Mt. Hengill Area	ST2496	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.013	18.00	23.09
3	5	3	Mt. Hengill Area	ST2496	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.013	18.00	23.09
3	6	1	South Iceland (aftershock)	ST2496	21/06/2000	0:00	A	6.40	0.116	14.00	2.69

3	6	2	South Iceland (aftershock)	ST2496	21/06/2000	0:00	A	6.40	0.116	14.00	2.69
3	6	3	South Iceland (aftershock)	ST2496	21/06/2000	0:00	A	6.40	0.116	14.00	2.69
3	7	1	South Iceland (aftershock)	ST2552	21/06/2000	0:00	A	6.40	0.059	24.00	5.29
3	7	2	South Iceland (aftershock)	ST2552	21/06/2000	0:00	A	6.40	0.059	24.00	5.29
3	7	3	South Iceland (aftershock)	ST2552	21/06/2000	0:00	A	6.40	0.059	24.00	5.29
2	1	1	Cazulas	ST124	24/06/1984	0:00	A	4.90	0.015	24.00	8.43
2	1	2	Cazulas	ST124	24/06/1984	0:00	A	4.90	0.015	24.00	8.43
2	1	3	Cazulas	ST124	24/06/1984	0:00	A	4.90	0.015	24.00	8.43
2	2	1	Lazio Abruzzo	ST143	07/05/1984	0:00	A	5.90	0.064	22.00	2.01
2	2	2	Lazio Abruzzo	ST143	07/05/1984	0:00	A	5.90	0.064	22.00	2.01
2	2	3	Lazio Abruzzo	ST143	07/05/1984	0:00	A	5.90	0.064	22.00	2.01
2	3	1	Umbria Marche	ST222	26/09/1997	0:00	A	6.00	0.025	27.00	5.12
2	3	2	Umbria Marche	ST222	26/09/1997	0:00	A	6.00	0.025	27.00	5.12
2	3	3	Umbria Marche	ST222	26/09/1997	0:00	A	6.00	0.025	27.00	5.12
2	4	1	South Iceland	ST2486	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.317	5.00	0.41
2	4	2	South Iceland	ST2486	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.317	5.00	0.41
2	4	3	South Iceland	ST2486	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.317	5.00	0.41
2	5	1	Mt. Hengill Area	ST2496	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.013	18.00	9.51
2	5	2	Mt. Hengill Area	ST2496	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.013	18.00	9.51
2	5	3	Mt. Hengill Area	ST2496	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.013	18.00	9.51
2	6	1	Mt. Hengill Area	ST2493	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.016	23.00	8.01
2	6	2	Mt. Hengill Area	ST2493	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.016	23.00	8.01
2	6	3	Mt. Hengill Area	ST2493	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.016	23.00	8.01
2	7	1	Bingol	ST539	01/05/2003	0:00	A	6.30	0.297	14.00	0.43
2	7	2	Bingol	ST539	01/05/2003	0:00	A	6.30	0.297	14.00	0.43
2	7	3	Bingol	ST539	01/05/2003	0:00	A	6.30	0.297	14.00	0.43
1	1	1	Cazulas	ST124	24/06/1984	0:00	A	4.90	0.015	24.00	6.54
1	1	2	Cazulas	ST124	24/06/1984	0:00	A	4.90	0.015	24.00	6.54
1	1	3	Cazulas	ST124	24/06/1984	0:00	A	4.90	0.015	24.00	6.54
1	2	1	Lazio Abruzzo	ST143	07/05/1984	0:00	A	5.90	0.064	22.00	1.56
1	2	2	Lazio Abruzzo	ST143	07/05/1984	0:00	A	5.90	0.064	22.00	1.56
1	2	3	Lazio Abruzzo	ST143	07/05/1984	0:00	A	5.90	0.064	22.00	1.56
1	3	1	Umbria Marche	ST222	26/09/1997	0:00	A	6.00	0.025	27.00	3.97
1	3	2	Umbria Marche	ST222	26/09/1997	0:00	A	6.00	0.025	27.00	3.97
1	3	3	Umbria Marche	ST222	26/09/1997	0:00	A	6.00	0.025	27.00	3.97
1	4	1	Kranidia	ST1320	25/10/1984	0:00	A	5.50	0.025	23.00	3.85
1	4	2	Kranidia	ST1320	25/10/1984	0:00	A	5.50	0.025	23.00	3.85
1	4	3	Kranidia	ST1320	25/10/1984	0:00	A	5.50	0.025	23.00	3.85
1	5	1	South Iceland	ST2486	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.317	5.00	0.31
1	5	2	South Iceland	ST2486	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.317	5.00	0.31
1	5	3	South Iceland	ST2486	17/06/2000	0:00	A	6.50	0.317	5.00	0.31

1	6	1	Mt. Hengill Area	ST2496	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.013	18.00	7.38
1	6	2	Mt. Hengill Area	ST2496	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.013	18.00	7.38
1	6	3	Mt. Hengill Area	ST2496	04/06/1998	0:00	A	5.40	0.013	18.00	7.38
1	7	1	Bingol	ST539	01/05/2003	0:00	A	6.30	0.297	14.00	0.34
1	7	2	Bingol	ST539	01/05/2003	0:00	A	6.30	0.297	14.00	0.34
1	7	3	Bingol	ST539	01/05/2003	0:00	A	6.30	0.297	14.00	0.34