



SOCIETA' ITALIANA
 TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS
 Sede legale: fraz. San Giuliano, 2 - 10059 Susa (TO)



MUSINET ENGINEERING S.p.A.
 Cso Svizzera, 185
 10149 TORINO
 Tel. +39 011 5712411
 Fax. +39 011 5712426
 E-mail info@musinet.it
 PEC musinet@legalmail.it

Gruppo SITAF

P.I.Iva 08015410015
 Cap. Soc. E. 520.000 i.v.
 Cod. fis.e Reg. Imprese
 TO 08015410015
 R.E.A. Torino 939200

RILOCALIZZAZIONE DELL' AUTOPORTO DI SUSAS

RELAZIONE SISMICA

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	31/08/2013	Première diffusion / Prima emissione	L.BARBERIS (MUSINET)	C.GIOVANNETTI (MUSINET)	M.BERTI (SITAF)
A	25/10/2013	Passage au statut AP / Passaggio allo stato AP	L.BARBERIS (MUSINET)	C.GIOVANNETTI (MUSINET)	M.BERTI (SITAF)



COD E DOC	P	D	2	C	3	A	M	U	S	1	2	0	6	A
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3A	//	//	70	03	03	10	03
------------------------------	------------	----	----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

ECHELLE / SCALA
-

CUP	C11J05000030001
-----	------------------------

SOMMAIRE / INDICE

RESUME/RIASSUNTO	3
1. PREMESSA	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO	5
4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI	6
5. VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	7
6. PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO	8
6.1 Spettri di risposta elastica allo Stato Limite di Danno (SLD).....	8
6.1.1 Opere con vita di riferimento $V_R=200$ anni	8
6.1.2 Opere con vita di riferimento $V_R=100$ anni	11
6.2 Spettri di risposta elastica allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).....	14
6.2.1 Opere con vita di riferimento $V_R=200$ anni	14
6.2.2 Opere con vita di riferimento $V_R=100$ anni	17

LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Parametri e punti spettri di risposta orizzontale allo SLD ($V_R=200$ anni)	9
Figura 2 – Parametri e punti spettri di risposta verticale allo SLD ($V_R=200$ anni)	10
Figura 3 – Grafico spettri di risposta allo SLD ($V_R=200$ anni).....	11
Figura 4 – Parametri e punti spettri di risposta orizzontale allo SLD ($V_R=100$ anni)	12
Figura 5 – Parametri e punti spettri di risposta verticale allo SLD ($V_R=100$ anni)	13
Figura 6 – Grafico spettri di risposta allo SLD ($V_R=100$ anni).....	14
Figura 7 – Parametri e punti spettri di risposta orizzontale allo SLV ($V_R=200$ anni)	15
Figura 8 – Parametri e punti spettri di risposta verticale allo SLV ($V_R=200$ anni)	16
Figura 9 – Grafico spettri di risposta allo SLV ($V_R=200$ anni).....	17
Figura 10 – Parametri e punti spettri di risposta orizzontale allo SLV ($V_R=100$ anni)	18
Figura 11 – Parametri e punti spettri di risposta verticale allo SLV ($V_R=100$ anni)	19
Figura 12 – Grafico spettri di risposta allo SLV ($V_R=100$ anni).....	20

LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Coefficiente di amplificazione topografica	6
Tabella 2 – Vita nominale delle opere.....	7
Tabella 3 – Classe d'uso delle opere	7
Tabella 4 – Periodo di riferimento delle opere.....	7

RESUME/RIASSUNTO

Texte en Français.

La présente étude illustre les choix effectués pour la définition de conception sismique des ouvrages d'art .

Testo in Italiano.

Il presente elaborato illustra le scelte effettuate per la definizione delle azioni sismiche di progetto per le opere strutturali.

1. Premessa

Il presente elaborato illustra le scelte effettuate per la definizione delle azioni sismiche di progetto per le opere strutturali facenti parte del Progetto di Delocalizzazione dell'area dell'Autoporto e dell'area di servizio dall'attuale area ubicata nel comune di Susa (TO). L'area individuata per la realizzazione del nuovo Autoporto ricade all'interno del territorio comunale di San Didero (TO).

Il documento è stato redatto in osservanza delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14/01/2008, utilizzando la metodologia di verifica agli Stati Limite.

Nel seguito vengono quindi riportati i parametri fondamentali caratterizzanti la “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione delle opere riguardanti l'adeguamento del tracciato autostradale ed il nuovo svincolo, nonché tutte le informazioni necessarie alla valutazione delle azioni da sisma distinti per le diverse tipologie di opere. Successivamente, per ogni opera, vengono definiti gli spettri di risposta elastica in accelerazione con riferimento ai diversi Stati Limite presi in esame.

Per quanto riguarda la definizione del fattore di struttura che permette di tenere in conto della capacità dissipativa della struttura nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU), si rimanda alla relazione di calcolo relativa a ciascuna delle opere in progetto.

2. Normativa di riferimento

Il presente documento è stato redatto in osservanza delle seguenti normative:

- Legge 5/11/1971, n. 1086 – “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e da struttura metallica”;
- Legge 2/2/1974, n. 64 – “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- D.M. 14/2/2008 – “Norme tecniche per le costruzioni”
- Circolare Min. 2/2/2009, n. 617 – “Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni”

3. Inquadramento geologico e geotecnico

L'area di progetto è situata nella bassa Valle di Susa e ricade nel comune di San Didero (TO). L'intervento di Delocalizzazione dell'Autoporto nell'area di San Didero prevede, oltre alla realizzazione di due edifici destinati a posto di controllo ed area di servizio e la realizzazione di aree di sosta per mezzi pesanti, una serie di interventi di adeguamento del tracciato autostradale con la realizzazione in viadotto delle rampe di ingresso e di uscita dall'autostrada A32 Torino-Bardonecchia.

Per una completa descrizione dell'area si rimanda alla Relazione geologico-geotecnica. In sintesi, l'area è impostata sui depositi quaternari della Dora Riparia che scorre nelle immediate vicinanze. Dalle analisi delle stratigrafie dei sondaggi realizzati si evince che si tratta di sedimenti prevalentemente medio-grossolani costituiti da ghiaie e ghiaie ciottolose in matrice sabbiosa o sabbioso-limosa, passanti localmente a sabbie limose con ghiaia e locali ciottoli. Il basamento roccioso, che non viene raggiunto dalle opere in progetto, è costituito dai litotipi appartenenti all'Unità tettometamorfica del Dora-Maira.

In base alle unità litostratigrafiche individuate ed in base ai risultati delle prove in foro e di laboratorio realizzate, è stato possibile riconoscere nell'area di studio quattro unità geotecniche fondamentali:

- *unità geotecnica UG1*: comprende l'orizzonte di potenza variabile di terreno di riporto di tipo prevalentemente ghiaioso-ciottoloso con subordinata sabbia limosa;
- *unità geotecnica UG2*: corrispondente ai depositi prevalentemente costituiti da sabbia e sabbia limosa con ghiaia e rari ciottoli presenti localmente nei primi metri al di sotto dei terreni dell' UG1;
- *unità geotecnica UG3*: è l'unità dominante e comprende i depositi più grossolani rappresentati da ghiaie con ciottoli in matrice sabbiosa o sabbioso-limosa caratterizzati da un grado di addensamento da medio ad alto;
- *unità geotecnica UG4*: è costituita da depositi più fini limoso-sabbiosi con subordinata ghiaia. Tali terreni formano livelli discontinui di potenza ridotta (mediamente metrica) intercalati all'interno dei litotipi dell'unità sopradescritta a partire da circa 15m di profondità.

4. Caratterizzazione sismica dei terreni

Con riferimento al sottosuolo nell'area di progetto, la caratterizzazione ai fini della valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata in fase di progettazione mediante indagini geofisiche in grado di stimare la distribuzione delle onde di taglio nei primi 30 m. In particolare, come ampiamente descritto nella Relazione geologico-geotecnica, sono state effettuate indagini di tipo Tomografiche elettriche, Down-hole e MASW che hanno permesso di classificare il sottosuolo come di categoria B, ossia *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)”*

Con riferimento all'amplificazione dell'azione sismica per effetto della categoria topografica espressa dal coefficiente S_T , in base alla posizione delle opere si adottano i seguenti coefficienti:

Opera	Categoria	Caratteristica della sup. topografica	S_T
Sovrappasso rampa di ingresso, Sovrappasso rampa di uscita, Ponte canale Nie, Muri di sostegno, Adeguamento tombini e sottopassi	T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0

Tabella 1 – Coefficiente di amplificazione topografica

5. Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento

La vita nominale di una struttura V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Per quanto riguarda le opere in progetto, si stabilisce quanto segue:

Opera	Vita Nominale V_N (anni)
Sovrappasso rampa di ingresso, Sovrappasso rampa di uscita, Ponte canale Nie, Muri di sostegno	100
Adeguamento tombini e sottopassi	50

Tabella 2 – Vita nominale delle opere

Unitamente alla vita nominale, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, vengono individuate le seguenti classi d'uso, con corrispondente coefficiente d'uso C_U :

Opera	Classe d'uso	C_U
Sovrappasso rampa di ingresso, Sovrappasso rampa di uscita, Ponte canale Nie, Muri di sostegno, Adeguamento tombini e sottopassi	IV	2.0

Tabella 3 – Classe d'uso delle opere

Definite Vita nominale e Classe d'uso, la valutazione delle azioni sismiche sulla struttura è relazionata al periodo di riferimento V_R , definito come:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Opera	Periodo di riferimento V_R
Sovrappasso rampa di ingresso, Sovrappasso rampa di uscita, Ponte canale Nie, Muri di sostegno	200
Adeguamento tombini e sottopassi	100

Tabella 4 – Periodo di riferimento delle opere

6. Parametri sismici di progetto

Con riferimento alle azioni sismiche, gli Stati limite utilizzati per il progetto delle opere sono i seguenti:

- *Stato Limite di Danno (SLD)*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.
- *Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)*: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

6.1 Spettri di riposta elastica allo Stato Limite di Danno (SLD)

6.1.1 Opere con vita di riferimento $V_R=200$ anni

Di seguito si riportano i dati e i grafici relativi agli spettri di risposta allo Stato Limite di Danno utilizzati per il progetto delle opere cui è stato attribuito in precedenza una vita nominale $V_N=100$ anni e $C_u=2$.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.096 g
F_o	2.427
T_c^*	0.250 s
S_s	1.200
C_c	1.451
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.121 s
T_C	0.363 s
T_D	1.983 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.115
	0.121	0.278
T_B ←	0.363	0.278
T_C ←	0.440	0.230
	0.518	0.196
	0.595	0.170
	0.672	0.151
	0.749	0.135
	0.826	0.123
	0.903	0.112
	0.980	0.103
	1.057	0.096
	1.134	0.089
	1.212	0.084
	1.289	0.079
	1.366	0.074
	1.443	0.070
	1.520	0.067
	1.597	0.063
	1.674	0.060
	1.751	0.058
	1.828	0.055
	1.905	0.053
T_D ←	1.983	0.051
	2.079	0.046
	2.175	0.042
	2.271	0.039
	2.367	0.036
	2.463	0.033
	2.559	0.031
	2.655	0.028
	2.751	0.027
	2.847	0.025
	2.943	0.023
	3.039	0.022
	3.135	0.020
	3.231	0.019
	3.328	0.018
	3.424	0.017
	3.520	0.016
	3.616	0.015
	3.712	0.015
	3.808	0.014
	3.904	0.013
	4.000	0.013

Figura 1 – Parametri e punti spettri di risposta orizzontale allo SLD ($V_R=200$ anni)

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0.040 g
S_s	1.000
S_T	1.000
q	1.000
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.013
S	1.000
η	1.000

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.040
	0.050	0.097
T_B ←	0.150	0.097
T_C ←	0.235	0.062
	0.320	0.045
	0.405	0.036
	0.490	0.030
	0.575	0.025
	0.660	0.022
	0.745	0.020
	0.830	0.018
	0.915	0.016
T_D ←	1.000	0.015
	1.094	0.012
	1.188	0.010
	1.281	0.009
	1.375	0.008
	1.469	0.007
	1.563	0.006
	1.656	0.005
	1.750	0.005
	1.844	0.004
	1.938	0.004
	2.031	0.004
	2.125	0.003
	2.219	0.003
	2.313	0.003
	2.406	0.003
	2.500	0.002
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.002
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	3.063	0.002
	3.156	0.001
	3.250	0.001
	3.344	0.001
	3.438	0.001
	3.531	0.001
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001

Figura 2 – Parametri e punti spettri di risposta verticale allo SLD ($V_R=200$ anni)

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

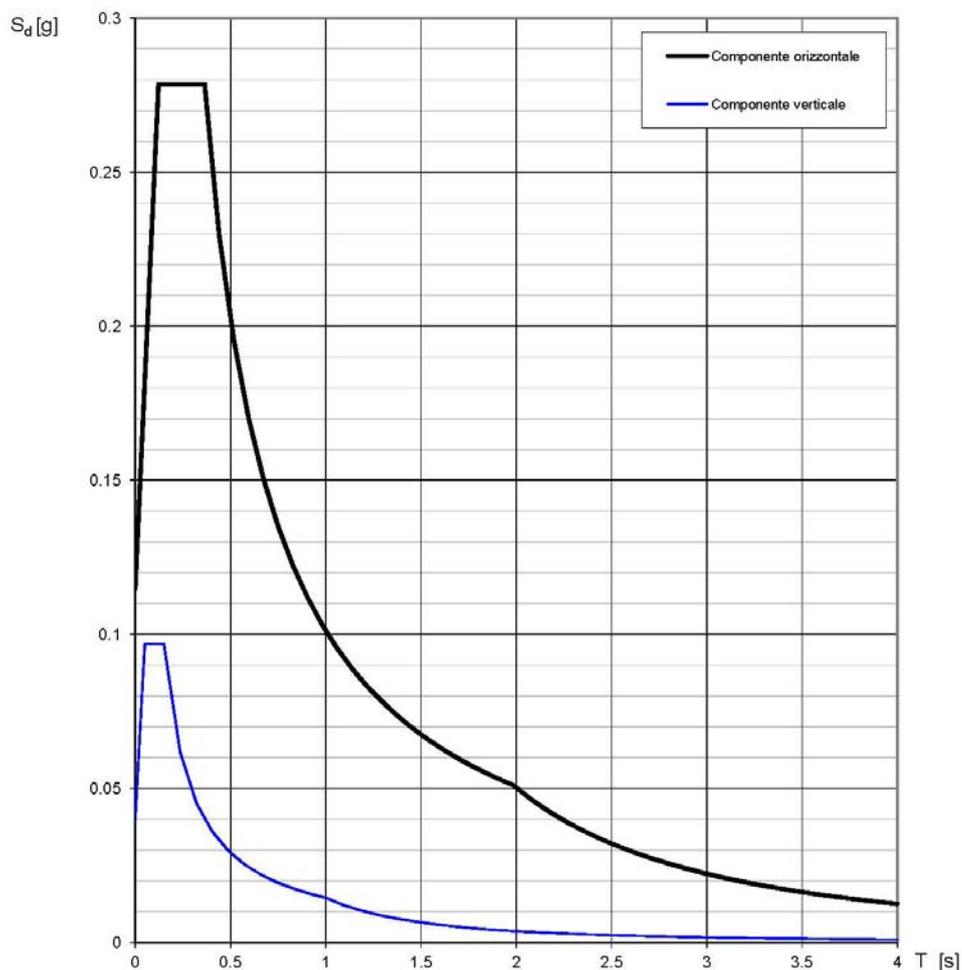


Figura 3 – Grafico spettri di risposta allo SLD ($V_R=200$ anni)

6.1.2 Opere con vita di riferimento $V_R=100$ anni

Di seguito si riportano i dati e i grafici relativi agli spettri di risposta allo Stato Limite di Danno utilizzati per il progetto delle opere cui è stato attribuito in precedenza una vita nominale $V_N=50$ anni e $C_u=2$.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.071 g
F_0	2.423
T_C	0.240 s
S_S	1.200
C_C	1.463
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.117 s
T_C	0.352 s
T_D	1.884 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.085
T_B ←	0.117	0.206
T_C ←	0.352	0.206
	0.425	0.171
	0.498	0.146
	0.571	0.127
	0.644	0.113
	0.717	0.101
	0.789	0.092
	0.862	0.084
	0.935	0.078
	1.008	0.072
	1.081	0.067
	1.154	0.063
	1.227	0.059
	1.300	0.056
	1.373	0.053
	1.446	0.050
	1.519	0.048
	1.592	0.046
	1.665	0.044
	1.738	0.042
	1.811	0.040
T_D ←	1.884	0.039
	1.985	0.035
	2.085	0.031
	2.186	0.029
	2.287	0.026
	2.388	0.024
	2.488	0.022
	2.589	0.020
	2.690	0.019
	2.791	0.018
	2.892	0.016
	2.992	0.015
	3.093	0.014
	3.194	0.013
	3.295	0.013
	3.395	0.012
	3.496	0.011
	3.597	0.011
	3.698	0.010
	3.798	0.009
	3.899	0.009
	4.000	0.009

Figura 4 – Parametri e punti spettro di risposta orizzontale allo SLD ($V_R=100$ anni)

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0.026 g
S_S	1.000
S_T	1.000
q	1.000
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	0.871
S	1.000
η	1.000

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \right.$$

$$T_B \leq T < T_C \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \right.$$

$$T_C \leq T < T_D \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \right.$$

$$T_D \leq T \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \right.$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.026
T_B ←	0.050	0.062
T_C ←	0.150	0.062
	0.235	0.039
	0.320	0.029
	0.405	0.023
	0.490	0.019
	0.575	0.016
	0.660	0.014
	0.745	0.012
	0.830	0.011
	0.915	0.010
T_D ←	1.000	0.009
	1.094	0.008
	1.188	0.007
	1.281	0.006
	1.375	0.005
	1.469	0.004
	1.563	0.004
	1.656	0.003
	1.750	0.003
	1.844	0.003
	1.938	0.002
	2.031	0.002
	2.125	0.002
	2.219	0.002
	2.313	0.002
	2.406	0.002
	2.500	0.001
	2.594	0.001
	2.688	0.001
	2.781	0.001
	2.875	0.001
	2.969	0.001
	3.063	0.001
	3.156	0.001
	3.250	0.001
	3.344	0.001
	3.438	0.001
	3.531	0.001
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001

Figura 5 – Parametri e punti spettro di risposta verticale allo SLD ($V_R=100$ anni)

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

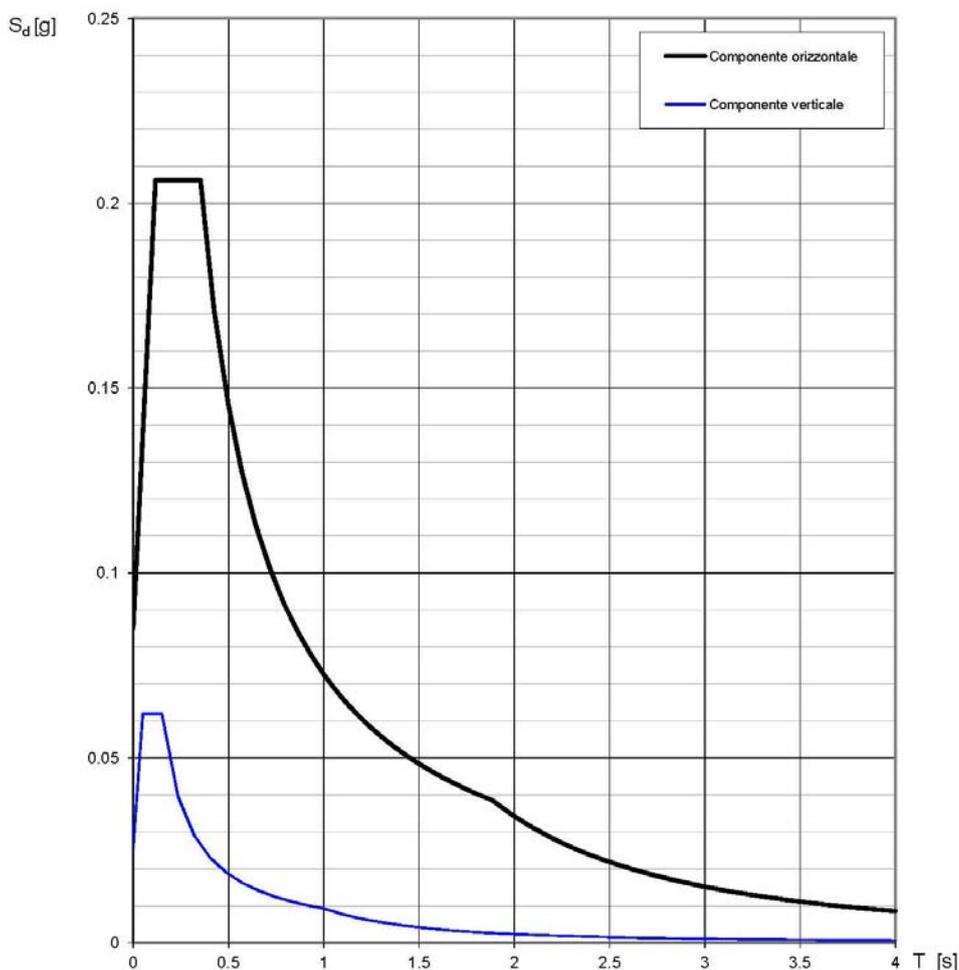


Figura 6 – Grafico spettri di risposta allo SLD ($V_R=100$ anni)

6.2 Spettri di risposta elastica allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

6.2.1 Opere con vita di riferimento $V_R=200$ anni

Di seguito si riportano i dati e i grafici relativi agli spettri di risposta allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) utilizzati per il progetto delle opere cui è stato attribuito in precedenza una vita nominale $V_N=100$ anni e $C_u=2$.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.200 g
F_0	2.524
T_C^*	0.279 s
S_S	1.198
C_C	1.420
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.198
η	1.000
T_B	0.132 s
T_C	0.396 s
T_D	2.401 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C/3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.240
	0.132	0.606
T_B	0.396	0.606
T_C	0.491	0.488
	0.587	0.408
	0.682	0.351
	0.778	0.308
	0.873	0.274
	0.969	0.247
	1.064	0.225
	1.160	0.207
	1.255	0.191
	1.351	0.177
	1.446	0.166
	1.542	0.155
	1.637	0.146
	1.733	0.138
	1.828	0.131
	1.924	0.125
	2.019	0.119
	2.115	0.113
	2.210	0.108
	2.306	0.104
T_D	2.401	0.100
	2.477	0.094
	2.554	0.088
	2.630	0.083
	2.706	0.079
	2.782	0.074
	2.858	0.070
	2.934	0.067
	3.010	0.063
	3.086	0.060
	3.163	0.058
	3.239	0.055
	3.315	0.052
	3.391	0.050
	3.467	0.048
	3.543	0.046
	3.619	0.044
	3.695	0.042
	3.772	0.040
	3.848	0.040
	3.924	0.040
	4.000	0.040

Figura 7 – Parametri e punti spettro di risposta orizzontale allo SLV ($V_R=200$ anni)

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{nv}	0.121 g
S_S	1.000
S_T	1.000
q	1.000
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.525
S	1.000
η	1.000

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.121
T_B ←	0.050	0.305
T_C ←	0.150	0.305
	0.235	0.195
	0.320	0.143
	0.405	0.113
	0.490	0.094
	0.575	0.080
	0.660	0.069
	0.745	0.062
	0.830	0.055
	0.915	0.050
T_D ←	1.000	0.046
	1.094	0.038
	1.188	0.032
	1.281	0.028
	1.375	0.024
	1.469	0.021
	1.563	0.019
	1.656	0.017
	1.750	0.015
	1.844	0.013
	1.938	0.012
	2.031	0.011
	2.125	0.010
	2.219	0.009
	2.313	0.009
	2.406	0.008
	2.500	0.007
	2.594	0.007
	2.688	0.006
	2.781	0.006
	2.875	0.006
	2.969	0.005
	3.063	0.005
	3.156	0.005
	3.250	0.004
	3.344	0.004
	3.438	0.004
	3.531	0.004
	3.625	0.003
	3.719	0.003
	3.813	0.003
	3.906	0.003
	4.000	0.003

Figura 8 – Parametri e punti spettri di risposta verticale allo SLV ($V_R=200$ anni)

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

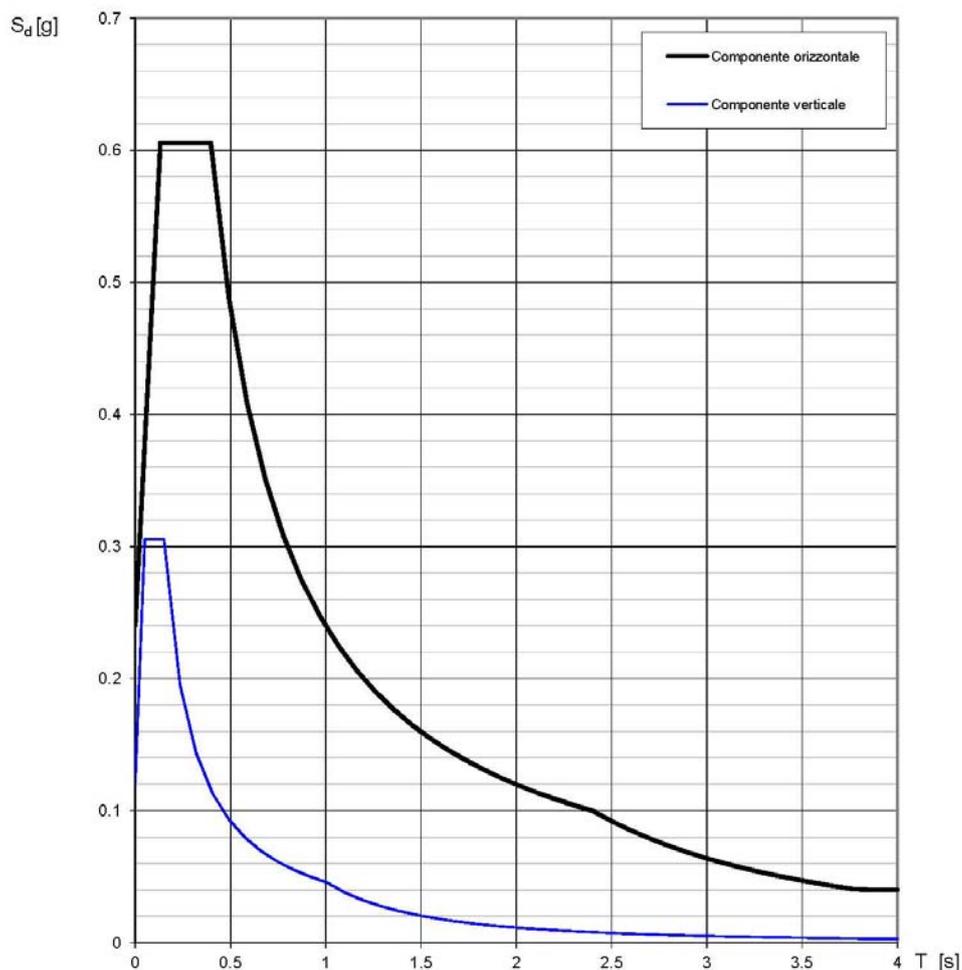


Figura 9 – Grafico spettri di risposta allo SLV ($V_R=200$ anni)

6.2.2 Opere con vita di riferimento $V_R=100$ anni

Di seguito si riportano i dati e i grafici relativi agli spettri di risposta allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) utilizzati per il progetto delle opere cui è stato attribuito in precedenza una vita nominale $V_N=50$ anni e $C_u=2$.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.164 g
F_0	2.484
T_c^*	0.269 s
S_s	1.200
C_G	1.430
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.128 s
T_C	0.385 s
T_D	2.258 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_G \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_e(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.197
	0.128	0.490
T_B ←	0.385	0.490
T_C ←	0.474	0.398
	0.563	0.335
	0.653	0.289
	0.742	0.255
	0.831	0.227
	0.920	0.205
	1.009	0.187
	1.098	0.172
	1.188	0.159
	1.277	0.148
	1.366	0.138
	1.455	0.130
	1.544	0.122
	1.633	0.116
	1.723	0.110
	1.812	0.104
	1.901	0.099
	1.990	0.095
	2.079	0.091
	2.169	0.087
T_D ←	2.258	0.084
	2.341	0.078
	2.424	0.073
	2.507	0.068
	2.590	0.064
	2.673	0.060
	2.755	0.056
	2.838	0.053
	2.921	0.050
	3.004	0.047
	3.087	0.045
	3.170	0.042
	3.253	0.040
	3.336	0.038
	3.419	0.036
	3.502	0.035
	3.585	0.033
	3.668	0.033
	3.751	0.033
	3.834	0.033
	3.917	0.033
	4.000	0.033

Figura 10 – Parametri e punti spettro di risposta orizzontale allo SLV ($V_R=100$ anni)

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{nv}	0.090 g
S_s	1.000
S_T	1.000
q	1.000
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.360
S	1.000
η	1.000

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.090
T_B ←	0.050	0.224
T_C ←	0.150	0.224
	0.235	0.143
	0.320	0.105
	0.405	0.083
	0.490	0.068
	0.575	0.058
	0.660	0.051
	0.745	0.045
	0.830	0.040
	0.915	0.037
T_D ←	1.000	0.034
	1.094	0.028
	1.188	0.024
	1.281	0.020
	1.375	0.018
	1.469	0.016
	1.563	0.014
	1.656	0.012
	1.750	0.011
	1.844	0.010
	1.938	0.009
	2.031	0.008
	2.125	0.007
	2.219	0.007
	2.313	0.006
	2.406	0.006
	2.500	0.005
	2.594	0.005
	2.688	0.005
	2.781	0.004
	2.875	0.004
	2.969	0.004
	3.063	0.004
	3.156	0.003
	3.250	0.003
	3.344	0.003
	3.438	0.003
	3.531	0.003
	3.625	0.003
	3.719	0.002
	3.813	0.002
	3.906	0.002
	4.000	0.002

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Figura 11 – Parametri e punti spettri di risposta verticale allo SLV ($V_R=100$ anni)

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

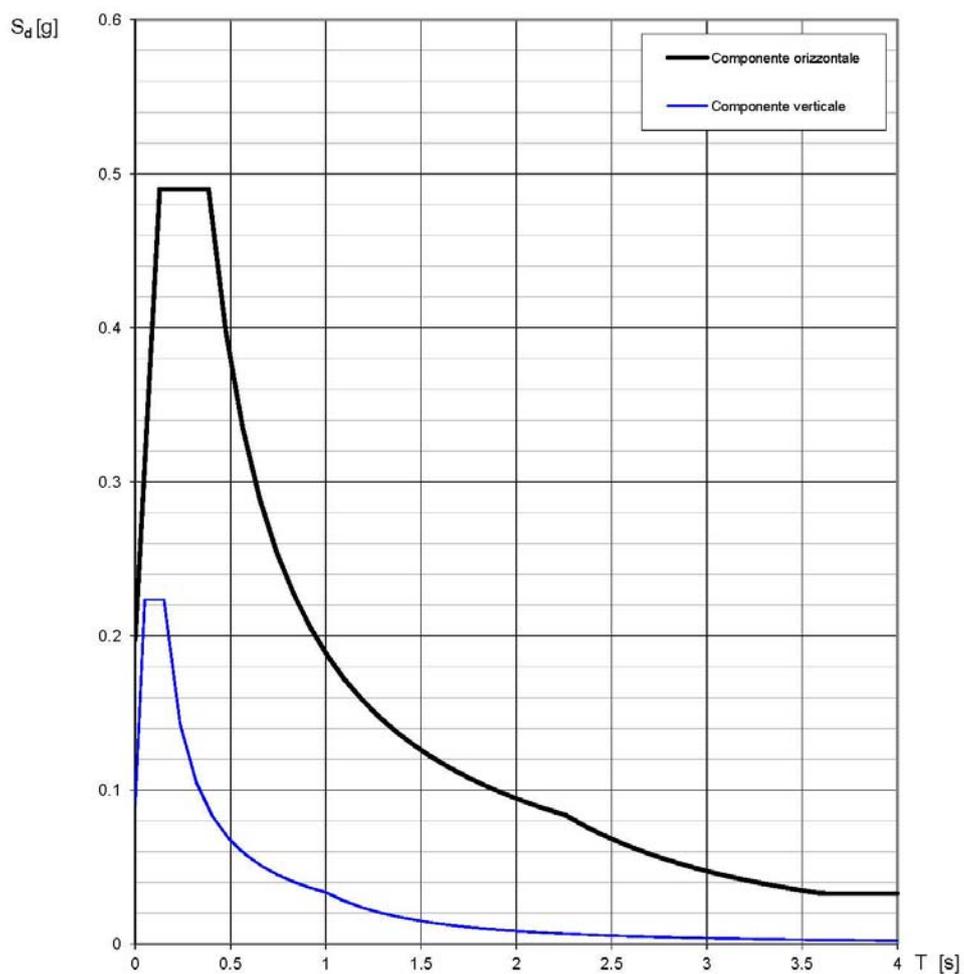


Figura 12 – Grafico spettri di risposta allo SLV ($V_R=100$ anni)