

# LIASON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne  
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese  
Sezione transfrontaliera

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE  
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

REVISION DE L'AVANT-PROJET DE REFERENCE – REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO  
CUP C11J05000030001

ECHANGEUR DE LA MADDALENA - SVINCOLO DE LA MADDALENA

## RELAZIONE SISMICA

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	09/01/2013	Première diffusion / Prima emissione	L.BARBERIS (MUSINET)	C.GIOVANNETTI (MUSINET)	M.BERTI (SITAF)
A	08/03/2013	Revision suite aux commentaires LTF/Revisione a seguito commenti LTF	L.BARBERIS (MUSINET)	C.GIOVANNETTI (MUSINET) G. GIOVANNETTI (MUSINET) G. GIOVANNETTI n° 2736	M.BERTI (SITAF)

CODE DOC	P	D	2	C	3	A	M	U	S	0	9	0	3	A
	Phase / Fase		Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice		

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3A	//	//	33	49	05	10	20
------------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----

ECHELLE / SCALA



LTF sas – 1091 Avenue de la Boisse – BP 80631 – F-73006 CHAMBERY CEDEX (France)  
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75  
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952  
Propriété LTF Tous droits réservés – Proprietà LTF Tutti i diritti riservati

Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (DG-TREN)



Questo progetto è cofinanziato dall'Unione europea (TEN-T)

## 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
6.2 Spettri di risposta elastica allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).....	11
6.3 Spettri di risposta elastica allo Stato Limite di Collasso (SLC).....	14

## LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

<b>Figura 1</b> – Parametri e punti spettri di risposta orizzontale allo SLD .....	9
<b>Figura 2</b> – Parametri e punti spettri di risposta verticale allo SLD .....	10
<b>Figura 3</b> – Grafico spettri di risposta allo SLD .....	11
<b>Figura 4</b> – Parametri e punti spettri di risposta orizzontale allo SLV .....	12
<b>Figura 5</b> – Parametri e punti spettri di risposta verticale allo SLV .....	13
<b>Figura 6</b> – Grafico spettri di risposta allo SLV .....	14
<b>Figura 7</b> – Parametri e punti spettri di risposta orizzontale allo SLC .....	15
<b>Figura 8</b> – Parametri e punti spettri di risposta verticale allo SLC .....	16
<b>Figura 9</b> – Grafico spettri di risposta allo SLC .....	17

## LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

<b>Tabella 1</b> – Coefficiente di amplificazione topografica .....	6
<b>Tabella 2</b> – Vita nominale delle opere.....	7
<b>Tabella 3</b> – Classe d'uso delle opere .....	7
<b>Tabella 4</b> – 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 Definitivo del “Collegamento Lione Torino – Svincolo de la Maddalena”.

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, 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 in località Maddalena, nell'alta Valle di Susa e ricade nel comune di Chiomonte (TO). L'intervento consiste nella realizzazione di un nuovo svincolo autostradale in affiancamento al viadotto sul torrente Clarea dell'autostrada A32 Torino-Bardonecchia.

Per una completa descrizione dell'area si rimanda alla Relazione geologico-geotecnica. In sintesi, la stratigrafia locale è caratterizzata dalla presenza di depositi quaternari costituiti da prevalenti depositi glaciali e fluvioglaciali e da depositi di conoide alluvionale. Si tratta di sedimenti prevalentemente di tipo ghiaioso, localmente molto grossolani, e sabbioso con subordinati livelli discontinui di tipo limoso-sabbioso di potenza sino a plurimetrica intercalati nei depositi più grossolani. I sedimenti recenti di origine torrentizia, costituiti prevalentemente da ciottoli e blocchi eterometrici con scarsa o nulla matrice ghiaioso-sabbiosa, sono presenti con modesto spessore limitatamente lungo l'asta del torrente Clarea e del fiume Dora Riparia. 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 cinque unità geotecniche fondamentali:

- *unità geotecnica UG1*: corrispondente ai depositi superficiali meno addensati di tipo prevalentemente sabbioso-limoso con subordinata ghiaia e ciottoli, che corrispondono all'orizzonte di alterazione superficiale; fanno parte di questa unità anche i terreni descritti nelle stratigrafie dei sondaggi come terreno di riporto;
- *unità geotecnica UG2*: corrispondente ai depositi prevalentemente costituiti da sabbia (mediamente circa il 40%) e sabbia limosa con ghiaia e subordinati ciottoli presenti generalmente al di sotto dei terreni dell'UG1, sino a circa 15-20 metri di profondità.
- *unità geotecnica UG3*: comprende i depositi quaternari più grossolani rappresentati principalmente da ghiaie con ciottoli e blocchi (mediamente oltre il 50%) in matrice sabbiosa o sabbioso-limosa subordinata.
- *unità geotecnica UG4*: è costituita da depositi più fini limosi o limoso-sabbiosi (contenuto medio in limo circa 50%) con subordinata ghiaia e rari ciottoli. Tali terreni formano livelli discontinui di potenza generalmente ridotta intercalati a differenti profondità all'interno dei litotipi delle unità sopradescritte.
- *unità geotecnica UG5*: corrisponde al basamento roccioso rappresentato dai calcescisti della zona piemontese.

#### 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 Down-hole e MASW e che hanno permesso di classificare il sottosuolo come di categoria C, ossia *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $VS_{30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < Cu_{30} < 250$  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 seguente coefficienti:

Opera	Categoria	Caratteristica della sup. topografica	$S_T$
Vd. rampa di ingresso, Vd. rampa di uscita, Vd. bidirezionale, Allargamento e adeguamento vd. Clarea, Viabilità di accesso al cantiere, Opere d'arte minori	T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.1

*Tabella 1 – Coefficiente di amplificazione topografica*

Trovandosi le opere all'incirca a metà altezza tra la sommità e la base del pendio, si assume un coefficiente  $S_T$  pari a 1.1..

## 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:

<b>Opera</b>	<b>Vita Nominale <math>V_N</math> (anni)</b>
Viadotto rampa di ingresso, Viadotto rampa di uscita, Viadotto bidirezionale, Allargamento e adeguamento viadotto Clarea, Viabilità di collegamento al cantiere	100

*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  $C_U$ :

<b>Opera</b>	<b>Classe d'uso</b>	<b><math>C_U</math></b>
Viadotto rampa di ingresso, Viadotto rampa di uscita, Viadotto bidirezionale, Allargamento e adeguamento viadotto Clarea, Viabilità di collegamento al cantiere	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:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

<b>Opera</b>	<b>Periodo di riferimento <math>V_R</math></b>
Viadotto rampa di ingresso, Viadotto rampa di uscita, Viadotto bidirezionale, Allargamento e adeguamento viadotto Clarea, Viabilità di collegamento al cantiere	200

*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;
- *Stato Limite di Collasso (SLC)*: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

### 6.1 Spettri di risposta elastica allo Stato Limite di Danno (SLD)

Di seguito si riportano i dati e i grafici relativi agli spettri di risposta allo stato limite ultimo 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
$a_g$	0.097 g
$F_o$	2.440
$T_c^*$	0.254 s
$S_D$	1.500
$C_C$	1.651
$S_T$	1.100
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.650
$\eta$	1.000
$T_B$	0.140 s
$T_C$	0.419 s
$T_D$	1.989 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

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

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

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

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

**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  $\eta$  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	0.160
$T_B$ ←	0.140	0.391
$T_C$ ←	0.419	0.391
	0.494	0.332
	0.568	0.288
	0.643	0.255
	0.718	0.228
	0.793	0.207
	0.867	0.189
	0.942	0.174
	1.017	0.161
	1.092	0.150
	1.166	0.141
	1.241	0.132
	1.316	0.125
	1.391	0.118
	1.465	0.112
	1.540	0.106
	1.615	0.101
	1.690	0.097
	1.764	0.093
	1.839	0.089
	1.914	0.086
$T_D$ ←	1.989	0.082
	2.084	0.075
	2.180	0.069
	2.276	0.063
	2.372	0.058
	2.467	0.054
	2.563	0.050
	2.659	0.046
	2.755	0.043
	2.851	0.040
	2.946	0.038
	3.042	0.035
	3.138	0.033
	3.234	0.031
	3.330	0.029
	3.425	0.028
	3.521	0.026
	3.617	0.025
	3.713	0.024
	3.808	0.022
	3.904	0.021
	4.000	0.020

**Figura 1 – Parametri e punti spettri di risposta orizzontale allo SLD**

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

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_{gv}$	0.041 g
$S_g$	1.000
$S_T$	1.100
$q$	1.000
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	1.027
$S$	1.100
$\eta$	1.000

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

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

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

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

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

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

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

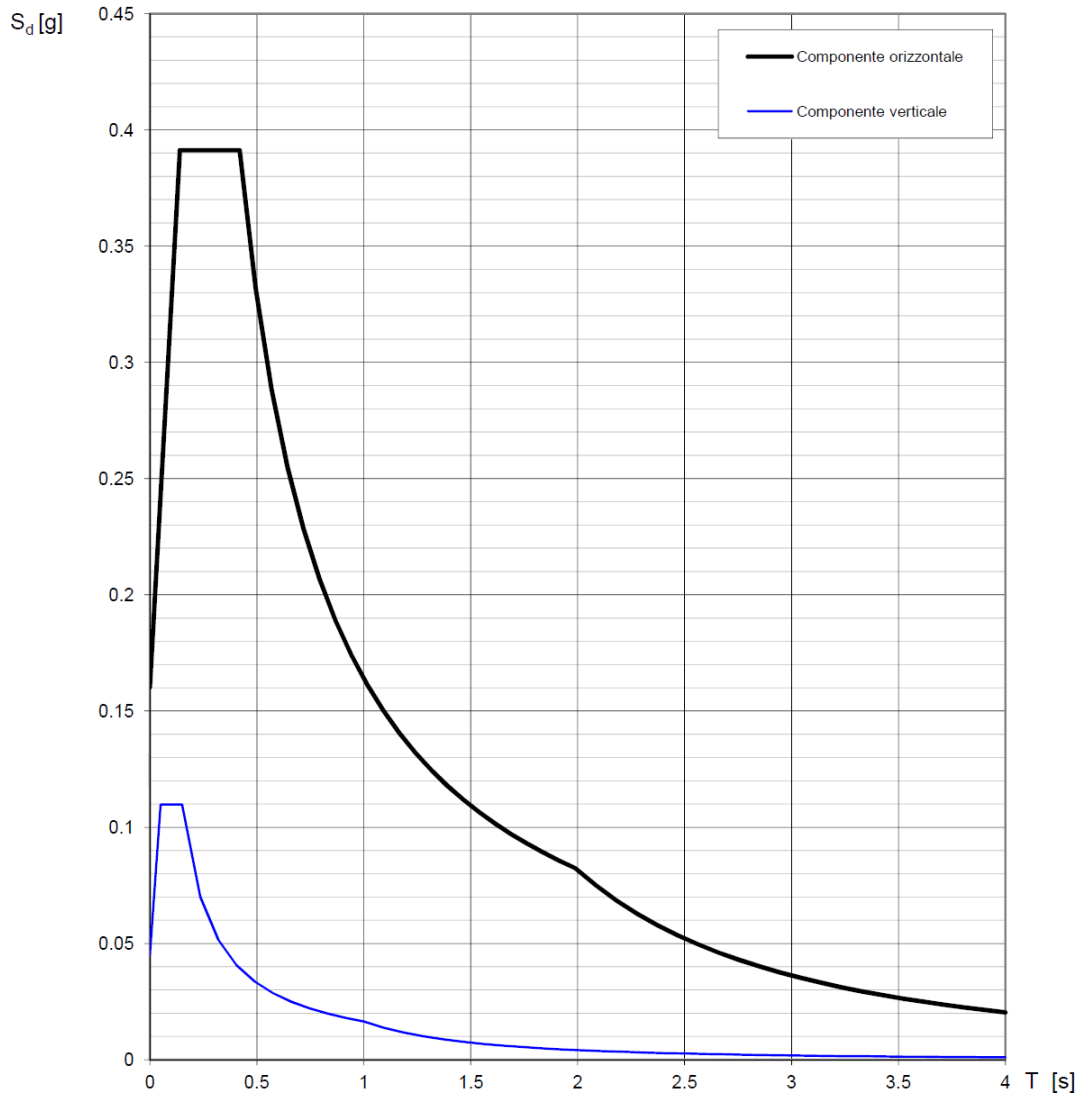
$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.045
$T_B$ ←	0.050	0.110
$T_C$ ←	0.150	0.110
	0.235	0.070
	0.320	0.051
	0.405	0.041
	0.490	0.034
	0.575	0.029
	0.660	0.025
	0.745	0.022
	0.830	0.020
	0.915	0.018
$T_D$ ←	1.000	0.016
	1.094	0.014
	1.188	0.012
	1.281	0.010
	1.375	0.009
	1.469	0.008
	1.563	0.007
	1.656	0.006
	1.750	0.005
	1.844	0.005
	1.938	0.004
	2.031	0.004
	2.125	0.004
	2.219	0.003
	2.313	0.003
	2.406	0.003
	2.500	0.003
	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	0.002
	3.250	0.002
	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 spettro di risposta verticale allo SLD*

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



*Figura 3 – Grafico spettri di risposta allo SLD*

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

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
$a_g$	0.202 g
$F_o$	2.530
$T_C^*$	0.282 s
$S_S$	1.393
$C_C$	1.595
$S_T$	1.100
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.532
$\eta$	1.000
$T_B$	0.150 s
$T_C$	0.449 s
$T_D$	2.409 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  $\eta$  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	0.310
$T_B \leftarrow$	0.150	0.784
$T_C \leftarrow$	0.449	0.784
	0.542	0.649
	0.636	0.554
	0.729	0.483
	0.822	0.428
	0.916	0.385
	1.009	0.349
	1.102	0.319
	1.196	0.295
	1.289	0.273
	1.382	0.255
	1.476	0.239
	1.569	0.224
	1.662	0.212
	1.756	0.201
	1.849	0.190
	1.942	0.181
	2.036	0.173
	2.129	0.165
	2.222	0.158
	2.316	0.152
$T_D \leftarrow$	2.409	0.146
	2.485	0.137
	2.560	0.129
	2.636	0.122
	2.712	0.115
	2.788	0.109
	2.864	0.103
	2.939	0.098
	3.015	0.093
	3.091	0.089
	3.167	0.085
	3.242	0.081
	3.318	0.077
	3.394	0.074
	3.470	0.070
	3.545	0.067
	3.621	0.065
	3.697	0.062
	3.773	0.060
	3.848	0.057
	3.924	0.055
	4.000	0.053

**Figura 4 – Parametri e punti spettri di risposta orizzontale allo SLV**

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

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_{qv}$	0.123 g
$S_S$	1.000
$S_T$	1.100
$q$	1.000
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	1.536
$S$	1.100
$\eta$	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)**

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

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

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

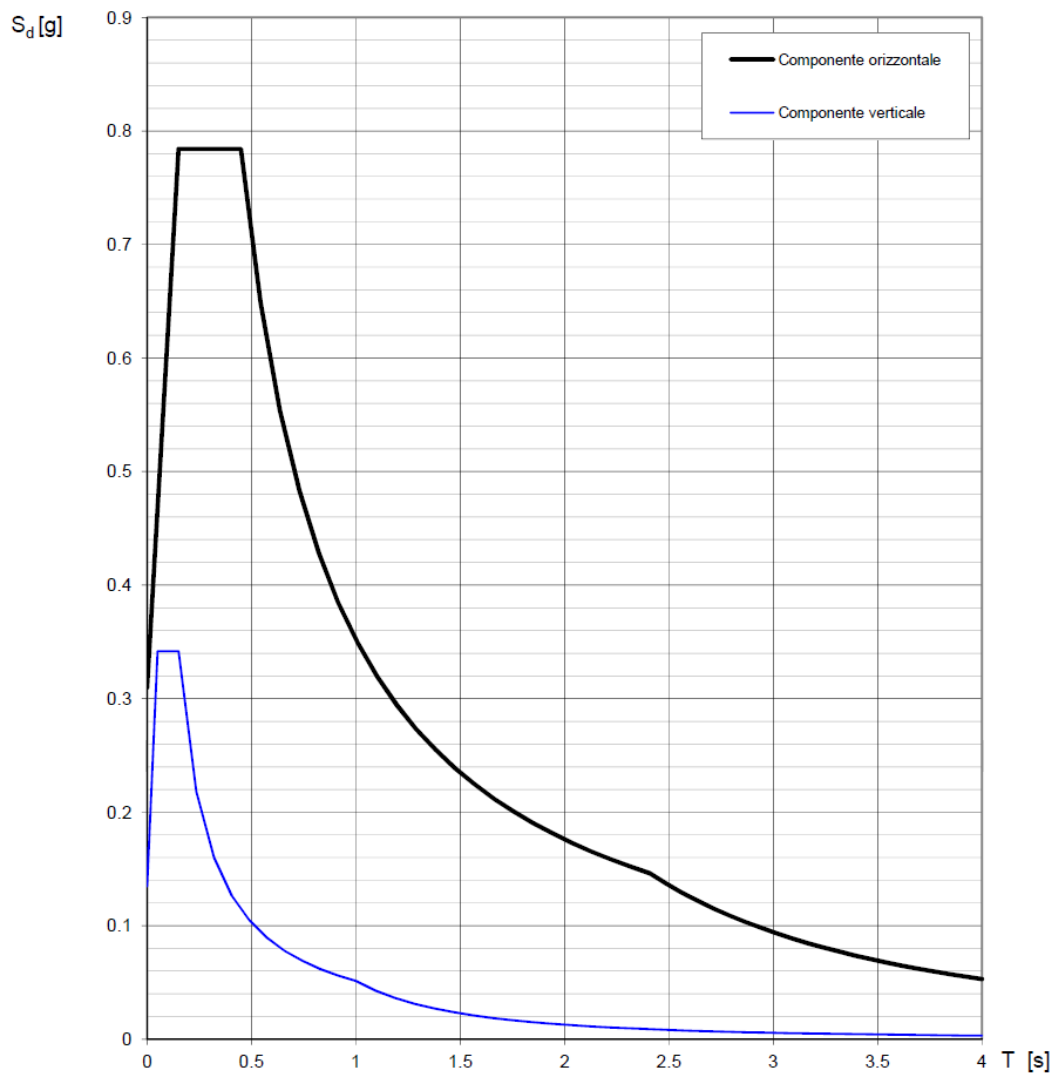
$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.135
$T_B$ ←	0.050	0.342
$T_C$ ←	0.150	0.342
	0.235	0.218
	0.320	0.160
	0.405	0.127
	0.490	0.105
	0.575	0.089
	0.660	0.078
	0.745	0.069
	0.830	0.062
	0.915	0.056
$T_D$ ←	1.000	0.051
	1.094	0.043
	1.188	0.036
	1.281	0.031
	1.375	0.027
	1.469	0.024
	1.563	0.021
	1.656	0.019
	1.750	0.017
	1.844	0.015
	1.938	0.014
	2.031	0.012
	2.125	0.011
	2.219	0.010
	2.313	0.010
	2.406	0.009
	2.500	0.008
	2.594	0.008
	2.688	0.007
	2.781	0.007
	2.875	0.006
	2.969	0.006
	3.063	0.005
	3.156	0.005
	3.250	0.005
	3.344	0.005
	3.438	0.004
	3.531	0.004
	3.625	0.004
	3.719	0.004
	3.813	0.004
	3.906	0.003
	4.000	0.003

*Figura 5 – Parametri e punti spettro di risposta verticale allo SLV*

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



**Figura 6** – Grafico spettri di risposta allo SLV

**6.3 Spettri di risposta elastica allo Stato Limite di Collasso (SLC)**

Di seguito si riportano i dati e i grafici relativi agli spettri di risposta allo Stato Limite di Collasso (SLC) 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: SLC**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLC
$a_g$	0.218 g
$F_o$	2.545
$T_C^*$	0.285 s
$S_S$	1.367
$C_C$	1.589
$S_T$	1.100
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.504
$\eta$	1.000
$T_B$	0.151 s
$T_C$	0.453 s
$T_D$	2.471 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)**

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

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

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

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

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  $\eta$  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	0.328
$T_B$ ←	0.151	0.834
$T_C$ ←	0.453	0.834
	0.549	0.688
	0.645	0.585
	0.741	0.510
	0.837	0.451
	0.933	0.405
	1.030	0.367
	1.126	0.336
	1.222	0.309
	1.318	0.287
	1.414	0.267
	1.510	0.250
	1.606	0.235
	1.702	0.222
	1.799	0.210
	1.895	0.199
	1.991	0.190
	2.087	0.181
	2.183	0.173
	2.279	0.166
	2.375	0.159
$T_D$ ←	2.471	0.153
	2.544	0.144
	2.617	0.136
	2.690	0.129
	2.763	0.122
	2.835	0.116
	2.908	0.110
	2.981	0.105
	3.054	0.100
	3.126	0.095
	3.199	0.091
	3.272	0.087
	3.345	0.083
	3.418	0.080
	3.490	0.077
	3.563	0.074
	3.636	0.071
	3.709	0.068
	3.782	0.065
	3.854	0.063
	3.927	0.061
	4.000	0.058

**Figura 7 – Parametri e punti spettri di risposta orizzontale allo SLC**

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

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLC
$a_{gv}$	0.137 g
$S_S$	1.000
$S_T$	1.100
$q$	1.000
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	1.604
$S$	1.100
$\eta$	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)

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

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

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

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

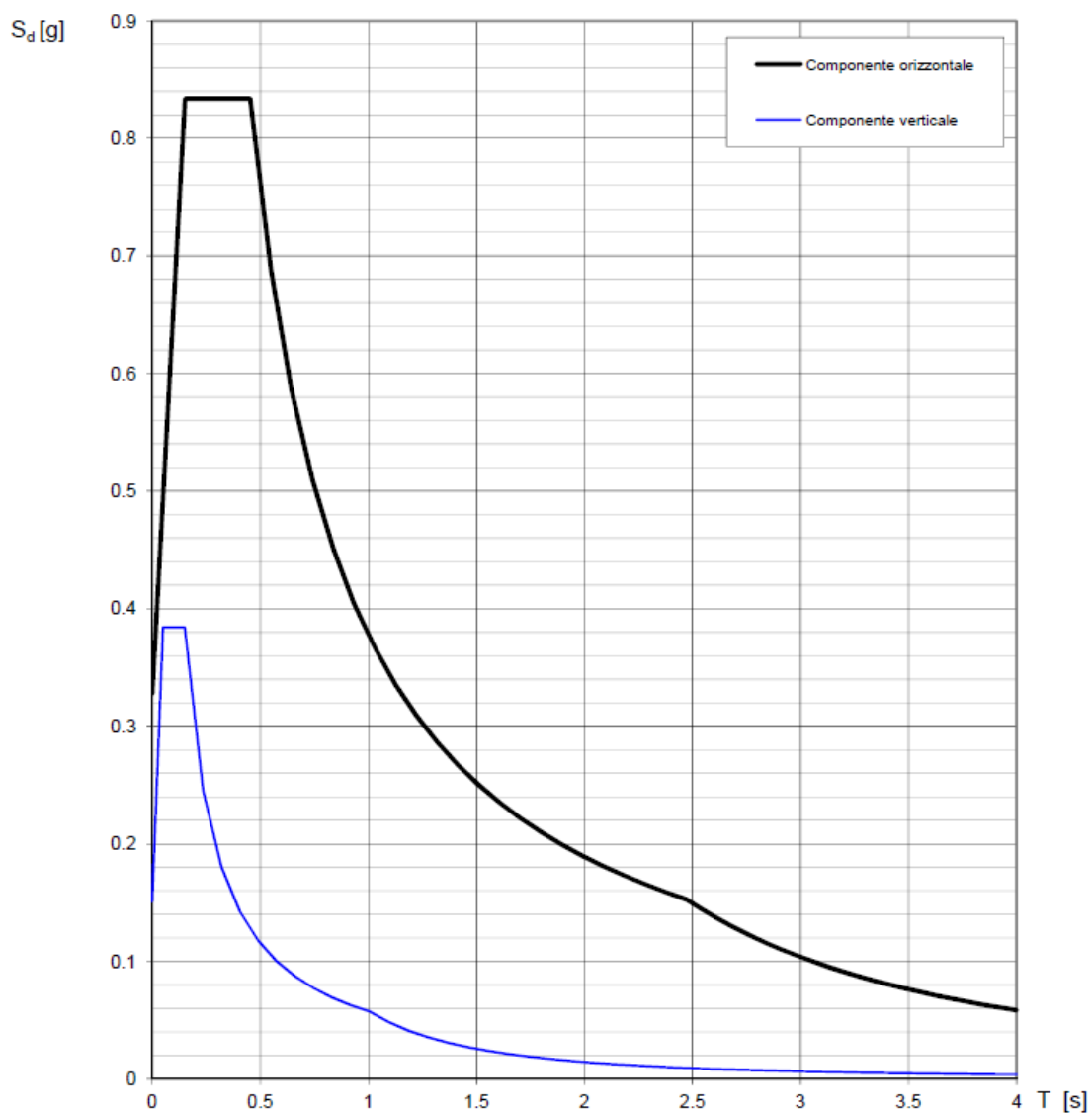
**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.151
$T_B \leftarrow$	0.050	0.384
$T_C \leftarrow$	0.150	0.384
	0.235	0.245
	0.320	0.180
	0.405	0.142
	0.490	0.118
	0.575	0.100
	0.660	0.087
	0.745	0.077
	0.830	0.069
	0.915	0.063
$T_D \leftarrow$	1.000	0.058
	1.094	0.048
	1.188	0.041
	1.281	0.035
	1.375	0.030
	1.469	0.027
	1.563	0.024
	1.656	0.021
	1.750	0.019
	1.844	0.017
	1.938	0.015
	2.031	0.014
	2.125	0.013
	2.219	0.012
	2.313	0.011
	2.406	0.010
	2.500	0.009
	2.594	0.009
	2.688	0.008
	2.781	0.007
	2.875	0.007
	2.969	0.007
	3.063	0.006
	3.156	0.006
	3.250	0.005
	3.344	0.005
	3.438	0.005
	3.531	0.005
	3.625	0.004
	3.719	0.004
	3.813	0.004
	3.906	0.004
	4.000	0.004

*Figura 8 – Parametri e punti spettro di risposta verticale allo SLC*



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



*Figura 9 – Grafico spettri di risposta allo SLC*