



# PROVINCIA DI BENEVENTO

SETTORE TECNICO

Servizio Viabilità 2 e Connesse Infrastrutture

COMUNE DI APOLLOSA  
PROVINCIA DI BENEVENTO

22 SET 2020

Prot. N. S243 Cat. VTC

## PROGETTO DEFINITIVO

Oggetto

RISANAMENTO DEL MOVIMENTO FRANOSO PRESENTE LUNGO LA S.P. N. 147 "SAN GIOVANNI DI APOLLOSA" ALLA LOCALITÀ CANCELLONIA-TUFARIELLO NEL COMUNE DI APOLLOSA

N°

S-02

Elaborato PROGETTO STRUTTURALE

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO

DATA

SETTEMBRE 2020

SCALA



IL PROGETTISTA  
Dott. Ing. Rosetta Galasso

VISTI

Il R.U.P.

Arch. Alessandrina Papa

Il Responsabile del Servizio Viabilità 2  
e connesse Infrastrutture  
Ing. Michelantonio Panarese

Il Dirigente del Settore Tecnico

Ing. Angelo Carmine Giordano



## **Relazione sulla modellazione sismica del sito di costruzione**

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione.

Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_c(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{vr}$ , nel periodo di riferimento  $V_r$ .

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purchè correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$ : 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.

### **Stati limite e relative probabilità di superamento**

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limiti di esercizio sono:

**Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

**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 rigidità nei confronti delle azioni verticali ed

orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

**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 di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**Stato Limite di prevenzione del 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.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati sono riportati nella successiva tabella.

Stati limite		$P_{vr}$ : probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_r$
Stati limite di esercizio	SLO	81 %
	SLD	63 %
Stati limite ultimi	SLV	10 %
	SLC	5 %

### **Categorie di sottosuolo**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi.

In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

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

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

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{S30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m. di profondità.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di 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 testa dell'opera.

Per muri do sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata.

Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica ( $N_{SPT,30}$ ) nei terreni a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente ( $C_{U,30}$ ) nei terreni prevalentemente a grana fina.

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S30}$  è definita dall'espressione:

$$V_{S30} = 30 / \sum h_i / v_{si}$$

La resistenza penetrometrica dinamica equivalente  $N_{spt30}$  è definita dall'espressione:

$$N_{SPT30} = \sum h_i / h_i / N_{SPTi}$$

La resistenza non drenata equivalente  $C_{u30}$  è definita dall'espressione:

$$C_{u30} = \sum h_i / h_i / C_{ui}$$

Nel caso di sottosuoli costituiti da stratificazioni di terreni a grana grossa e a grana fina, distribuite con spessori confrontabili nei primi 30 m di profondità, ricadenti nelle categorie da A ad E, quando non si disponga di misure dirette della velocità delle onde di taglio si può procedere come segue:

- Determinare  $N_{SPT30}$  limitatamente agli strati di terreno a grana grossa compresi entro i primi 30 m. di profondità;
- Determinare  $C_{u30}$  limitatamente agli strati di terreno a grana fina compresi entro i primi 30 m. di profondità;
- Individuare le categorie corrispondenti singolarmente ai parametri  $N_{SPT30}$  e  $C_{u30}$ ;
- Riferire il sottosuolo alla categoria peggiore tra quelle individuate al punto precedente.

### Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale; per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

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

### Valutazione dell'azione sismica

Ai fini delle presenti norme l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnata da X e Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo spettro di risposta o dalle due componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

La componente che descrive il moto verticale è caratterizzata dal suo spettro di risposta o dalla componente accelerometrica verticale.

In mancanza di documentata informazione specifica, in via semplificata l'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie possono essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali.

La componente accelerometrica verticale può essere correlata alle componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

### **Spettro di risposta delle componenti orizzontali**

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr}$  considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle seguenti espressioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g S \eta F_0 [T/T_B + 1/\eta F_0 (1 - T/T_B)]$$

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

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g S \eta F_0 (T_C / T)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g S \eta F_0 (T_C T_D / T^2)$$

Nelle quali  $T$  ed  $S_c$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale ed inoltre:

- $S = S_S S_T$  è il fattore che tiene conto della categoria del suolo di fondazione;
- $\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per smorzamenti viscosi convenzionali  $\xi$  è valutato sulla base dei materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
- $F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima;
- $T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro;
- $T_B$ , 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.

Per categorie speciali di sottosuolo, per determinati sistemi geotecnici o se si intenda aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante più rigorose analisi di risposta sismica locale.

Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni e, in particolare, delle relazioni sforzi-deformazioni in campo ciclico, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

In mancanza di tali determinazioni, per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di sottosuolo di fondazione, la forma spettrale su sottosuolo di categoria A è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico  $S_s$ , il coefficiente topografico  $S_T$  e il coefficiente  $C_c$  che modifica il valore del periodo  $T_c$ .

### **Amplificazione stratigrafica**

Per sottosuolo di categoria A 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 fornite nella seguente tabella, nella quale  $g$  è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di  $S_S$  e di  $C_C$

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

### Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati in tabella, in funzione delle categorie topografiche definite e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

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

## VALUTAZIONE DELL' AZIONE SISMICA RIFERITA AL CONTESTO DELL'INTERVENTO

L'azione sismica, in base alla quale è stato controllato il rispetto delle verifiche per gli stati limite considerati, è stata definita a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. In particolare la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$ , in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, in relazione ad una determinata probabilità di superamento definita per ogni stato limite per il periodo di riferimento VR.

In relazione alla tipologia di costruzione e alle prestazioni richieste per questa nel suo complesso, non essendo previste espresse indicazioni in merito, il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito:

- I. Nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio, rispettando le verifiche relative al solo STATO LIMITE DI DANNO (SLD), a cui corrisponde una probabilità di superamento nel periodo di riferimento pari al 63%
- II. Nei confronti di tutti gli stati limite ultimi, rispettando le indicazioni costruttive e progettuali riportate nelle norme e le verifiche relative al solo STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV), a cui corrisponde una probabilità di superamento nel periodo di riferimento pari al 10%.

In particolare, per le verifiche si assume che la struttura abbia un comportamento NON DISSIPATIVO, adottando come spettro di progetto lo spettro elastico (non introducendo alcun fattore di struttura).

Di seguito si riportano i parametri considerati.

### Identificazione del sito

Latitudine	41.095167
Longitudine	14.706259
Comune	Apollosa
Provincia	Benevento
Regione	Campania

Punti di interpolazione del reticolo      32097 - 32098 - 31876 - 31875

### Tipo di opera

Tipo di costruzione      Opera ordinaria

Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV - Opere strategiche ed industrie molto pericolose
Vita di riferimento	100 anni

<b>Combinazioni/Fase</b>	<b>SLU</b>	<b>SLE</b>
Accelerazione al suolo [m/s <sup>2</sup> ]	2.991	1.100
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale $F_0$	2.394	2.335
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante $T_c^*$	0.387	0.326
Coefficiente di amplificazione topografica ( $S_t$ )	1.000	1.000
Tipo di sottosuolo	E	
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo ( $S_s$ )	1.197	1.600
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo ( $\alpha$ )	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza $U_s$ [m]	0.085	0.085
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo ( $\beta$ )	0.542	0.542
Prodotto $\alpha \beta$	0.542 > 0.2	0.542 > 0.2
Coefficiente di intensità sismica (percento)	19.770	9.717
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale ( $k_v$ )	0.50	

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

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_s$	0,305 g
$F_c$	2,394
$T_c^*$	0,387 s
$S_s$	1,197
$C_s$	1,682
$S_T$	1,000
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,197
$\eta$	1,000
$T_b$	0,217 s
$T_c$	0,650 s
$T_D$	2,820 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

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

$$T_b \leq T < T_c \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_c$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_c \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$$

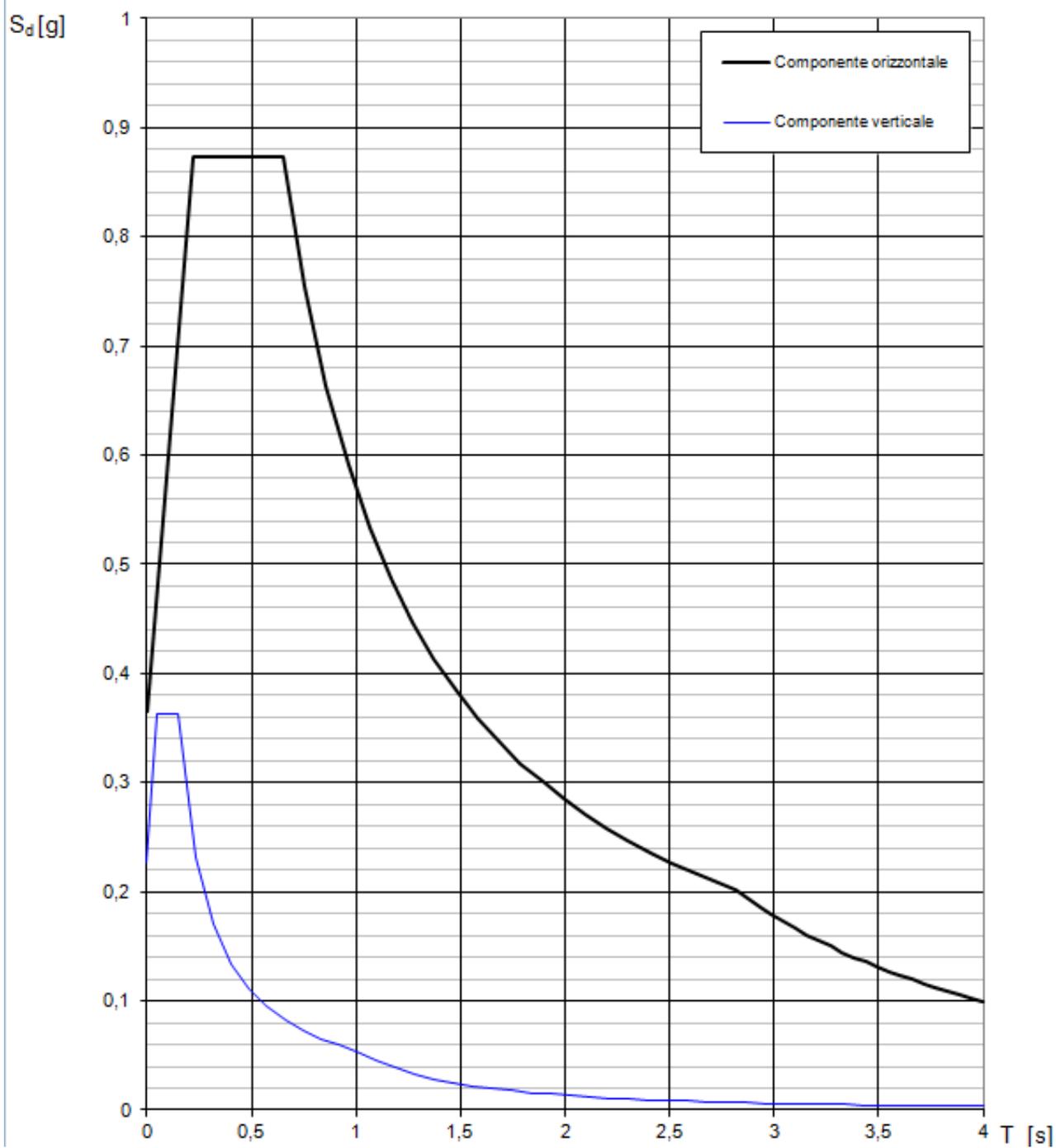
$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_c \cdot \left( \frac{T_c T_D}{T^2} \right)$$

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	0,365
$T_b \leftarrow$	0,217	0,874
$T_c \leftarrow$	0,650	0,874
	0,754	0,754
	0,857	0,663
	0,960	0,592
	1,064	0,534
	1,167	0,487
	1,270	0,447
	1,374	0,414
	1,477	0,385
	1,580	0,360
	1,683	0,338
	1,787	0,318
	1,890	0,301
	1,993	0,285
	2,097	0,271
	2,200	0,258
	2,303	0,247
	2,407	0,236
	2,510	0,226
	2,613	0,217
	2,717	0,209
$T_D \leftarrow$	2,820	0,202
	2,876	0,194
	2,932	0,186
	2,988	0,179
	3,045	0,173
	3,101	0,167
	3,157	0,161
	3,213	0,155
	3,269	0,150
	3,326	0,145
	3,382	0,140
	3,438	0,136
	3,494	0,131
	3,550	0,127
	3,607	0,123
	3,663	0,119
	3,719	0,116
	3,775	0,112
	3,831	0,109
	3,888	0,106
	3,944	0,103
	4,000	0,100

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



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

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_s$	0,112 g
$F_o$	2,335
$T_c^*$	0,326 s
$S_s$	1,600
$C_c$	1,801
$S_T$	1,000
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,600
$\eta$	1,000
$T_B$	0,196 s
$T_C$	0,587 s
$T_D$	2,049 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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	0,179
$T_B \leftarrow$	0,196	0,419
$T_C \leftarrow$	0,587	0,419
	0,657	0,375
	0,726	0,339
	0,796	0,309
	0,865	0,284
	0,935	0,263
	1,005	0,245
	1,074	0,229
	1,144	0,215
	1,213	0,203
	1,283	0,192
	1,353	0,182
	1,422	0,173
	1,492	0,165
	1,561	0,158
	1,631	0,151
	1,701	0,145
	1,770	0,139
	1,840	0,134
	1,909	0,129
	1,979	0,124
$T_D \leftarrow$	2,049	0,120
	2,142	0,110
	2,235	0,101
	2,327	0,093
	2,420	0,086
	2,513	0,080
	2,606	0,074
	2,699	0,069
	2,792	0,065
	2,885	0,061
	2,978	0,057
	3,071	0,053
	3,164	0,050
	3,257	0,048
	3,350	0,045
	3,442	0,043
	3,535	0,040
	3,628	0,038
	3,721	0,036
	3,814	0,035
	3,907	0,033
	4,000	0,032

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

