



# STADIO SAN PAOLO

Ristrutturazione e adeguamento funzionale ed impiantistico - I stralcio  
Sostituzione dei sediolini e impermeabilizzazione delle sottostanti gradonate  
Progetto definitivo

**Rup:**

Arch. Salvatore Iervolino

**Gruppo di progettazione:**

Arch. Valeria Palazzo - Coordinatore

Geol. Antonino Barba

Ing. Giovanni De Carlo

Arch. Carla Peduto

Arch. Monica Pisano

**Progettista strutturale**

Ing. Fiorenzo De Cicco

**Supporto alla progettazione:**

Istr. tecnico Aniello Manzo

Geom. Domenico Mennitti

Geom. Italo Ricci

Geom. Antonio Riccio

Timbri:

Relazione tecnica generale strutturale

SCALA:

-

TAVOLA:

PD-1\_D.1.2\_STR\_RL

data	rev.	aggiornamento	redatto	verificato	approvato
18/09/2018	1	emissione			



## SOMMARIO

1	PREMESSA .....	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3	VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA.....	4
4	VITA NOMINALE DI PROGETTO DELLA STRUTTURA .....	5
5	CLASSE D'USO DELLA STRUTTURA.....	5
6	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA .....	6
7	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	6
8	COMPORTAMENTO STRUTTURALE E CLASSE DI DUTTILITA' DELLA STRUTTURA .....	7
9	MODELLAZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....	7
10	METODO DI ANALISI UTILIZZATO .....	20
11	CRITERI DI VERIFICA.....	20
12	CONCLUSIONI .....	20



---

PROGETTO ESECUTIVO

*Relazione Tecnica Generale*

## 1 PREMESSA

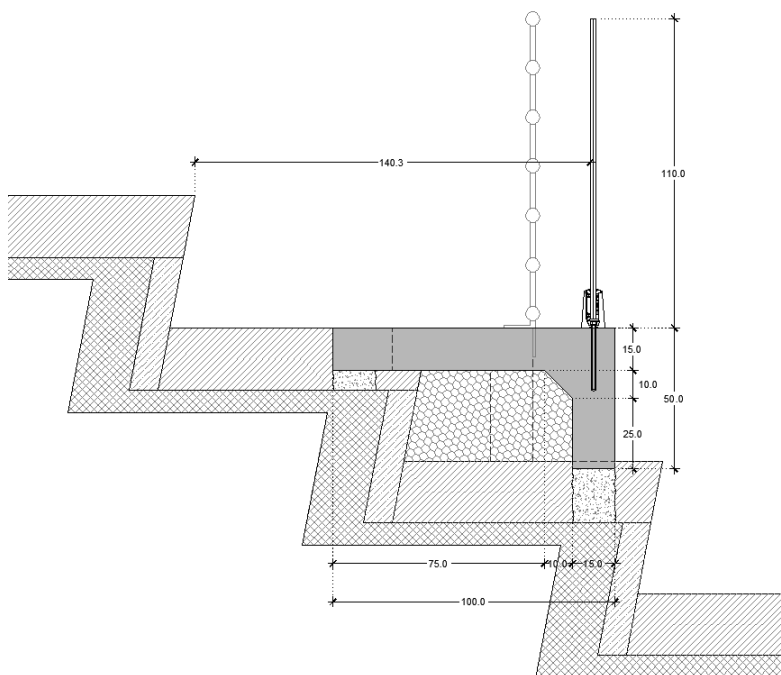
Nella presente **“Relazione Tecnica Generale”** si riporta una sintetica descrizione degli elementi strutturali in calcestruzzo cementizio armato progettati, da realizzare sul corsello superiore e in corrispondenza dell'attuale parapetto in cemento armato, entrambi propedeutici all'installazione di balaustre in vetro certificate. Inoltre, una sezione è stata dedicata agli aspetti salienti della modellazione dell'azione sismica agente sulle opere strutturali progettate.

Gli interventi in questione rientrano nell'ambito dell'intervento denominato *“Stadio San Paolo - Lavori di ristrutturazione e adeguamento funzionale ed impiantistico”*.

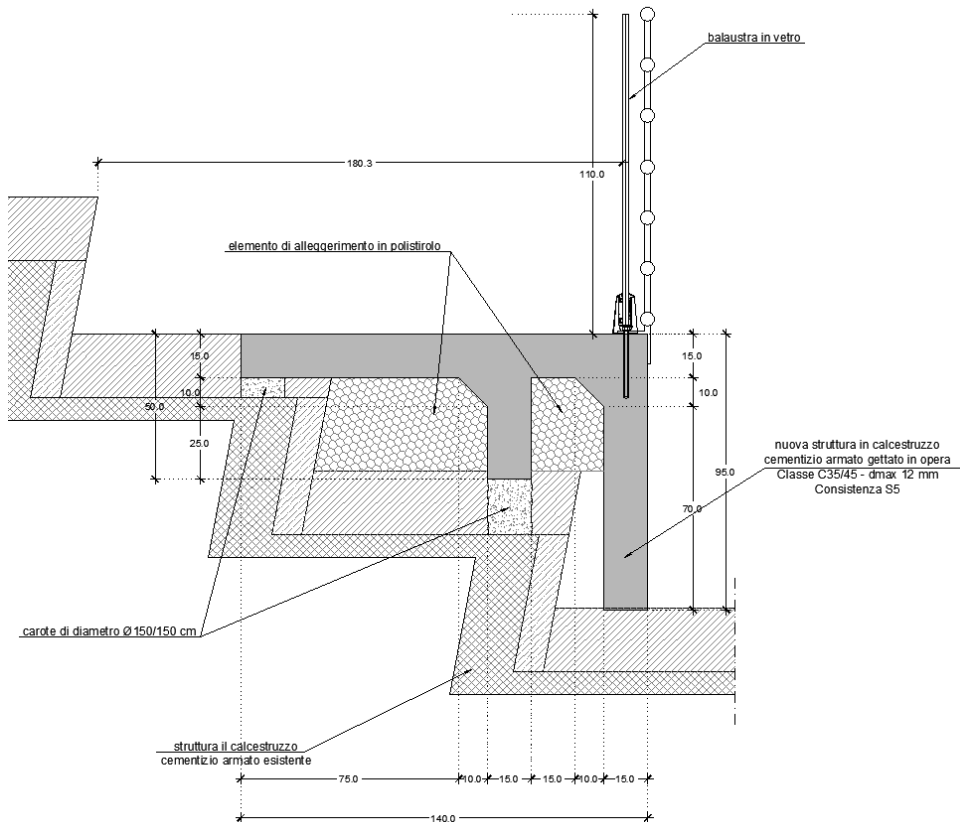
Gli interventi strutturali progettati riguardano, in particolare:

1. la sostituzione al corsello superiore dell'esistente allargamento del gradone gettato in opera, realizzato negli anni '90, poiché di scarse caratteristiche meccaniche, con una struttura ad “L” rovesciata, composta da una soletta e una paretina, entrambe di spessore 15 cm e connessa alla struttura esistente in calcestruzzo cementizio armato attraverso l'inghisaggio di barre Ø16, poste ad interasse 150 cm, posate in opera con carotaggi di diametro 150 mm, riempiti con calcestruzzo ad elevate caratteristiche meccaniche. A seguire si riporta una figura esplicativa di tale intervento;
2. a ridosso delle scalinate, ove il corsello superiore presenta una larghezza maggiore, la sostituzione della sottostruttura esistente, realizzata negli anni '90, poiché di scarse caratteristiche meccaniche, con una struttura ad “F” rovesciata, composta da una soletta superiore e due pareti verticali, tutte di spessore 15 cm e connessa alla struttura esistente in calcestruzzo cementizio armato attraverso l'inghisaggio di barre Ø16, poste ad interasse 150 cm, posate in opera con carotaggi di diametro 150 mm, riempiti con calcestruzzo ad elevate caratteristiche meccaniche. A seguire si riporta una figura esplicativa di tale intervento;

Gli interventi descritti (come dimostrato analiticamente nei paragrafi successivi) può certamente classificarsi come **intervento locale su struttura esistente** (paragrafo 8.4.1 NTC 2018) e pertanto per tale struttura il progetto le verifiche allo SLU ed allo SLE e soprattutto la valutazione della sicurezza, trattata nella *“Relazione di Calcolo Strutturale”* saranno riferiti alla sola struttura di nuova realizzazione.



**SEZIONE TRASVERSALE ELEMENTO AD "L" ROVESCIA AL CORSELLO SUPERIORE**



**SEZIONE TRASVERSALE PARAPETTO AD "F" ROVESCIA AL CORSELLO SUPERIORE IN CORRISPONDENZA SCALINATE**



## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli statici e tutte le verifiche di resistenza allo Stato Limite ultimo ed allo Stato limite di Esercizio degli elementi strutturali trattati nella “*Relazione di Calcolo Strutturale*” sono stati redatti nel rispetto del *DECRETO MINISTERIALE LL. PP. 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”* pubblicato su Supplemento Ordinario n°42 della Gazzetta Ufficiale del 20 febbraio 2018.

## 3 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Le opere strutturali devono essere verificate per gli *STATI LIMITE ULTIMI* che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni e per gli *STATI LIMITE DI ESERCIZIO* definiti in relazione alle prestazioni attese.

Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si devono adottare criteri probabilistici scientificamente comprovati. La normativa italiana prende in considerazione i criteri del metodo semiprobabilistico agli stati limite basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza, applicabili nella generalità dei casi; tale metodo è detto di primo livello. Per opere di particolare importanza, invece, si possono adottare metodi di livello superiore, tratti da documentazione tecnica di comprovata validità. Nella fattispecie si utilizza il metodo **semiprobabilistico agli stati limite**.

Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, che è quello utilizzato per la risoluzione della struttura in oggetto, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici,  $R_{ki}$  e  $F_{kj}$  definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. In genere, i frattili sono assunti pari al 5%. Per le grandezze con piccoli coefficienti di variazione, ovvero per grandezze che non riguardino univocamente resistenze o azioni, si possono considerare frattili al 50% (valori mediani).

La verifica della sicurezza nei riguardi degli **STATI LIMITE ULTIMI** di resistenza si effettua con il “metodo dei coefficienti parziali” di sicurezza espresso dalla equazione formale riportata di seguito.

$$R_d \geq E_d$$

dove i due parametri della relazione precedente assumono il seguente significato.

$R_d$  è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;



---

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione Tecnica Generale

$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto  $F_{dj} = F_{kj} \cdot \gamma_{Fj}$  delle azioni come indicato nel paragrafo in cui si riportano le combinazioni delle azioni, o direttamente  $E_{dj} = E_{kj} \cdot \gamma_{Ej}$ .

I coefficienti parziali di sicurezza,  $\gamma_{Mi}$  e  $\gamma_{Fj}$ , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli **STATI LIMITE DI ESERCIZIO** si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale.

#### 4 VITA NOMINALE DI PROGETTO DELLA STRUTTURA

La vita nominale di progetto  $V_N$  di un'opera strutturale è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. La vita nominale della struttura in oggetto (struttura di supporto di una balaustra in vetro da realizzarsi in una struttura pubblica e con affollamenti significativi) potendosi definire un'opera con livelli di prestazione elevati è = 100 anni.

#### 5 CLASSE D'USO DELLA STRUTTURA

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

**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



---

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione Tecnica Generale

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

Nella fattispecie la struttura oggetto dell'analisi (struttura di supporto di una balaustra in vetro da realizzarsi in una struttura pubblica e con affollamenti significativi) è associata sicuramente alla **Classe IV**.

## 6 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche, su ciascuna costruzione, vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $N_V$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Pertanto si ha:

$$V_R = N_V \cdot C_U$$

Per la struttura in questione la vita nominale di progetto della struttura  $N_V$  **si pone pari a 100 anni** mentre il coefficiente d'uso per la **classe IV** è pari ad **2,0**. Pertanto il periodo di riferimento per l'azione sismica si calcola nel modo seguente.

$$V_R = N_V \cdot C_U = 100 \cdot 2,0 = 200 \text{anni}$$

## 7 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

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. Le categorie di sottosuolo contemplate dalla normativa sono cinque e precisamente:

**Categoria A**

**Categoria B**

**Categoria C**

**Categoria D**

**Categoria E**





---

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione Tecnica Generale

Nella fattispecie, considerando che la struttura è ancorata ad una struttura esistente, prudenzialmente il sottosuolo può definirsi di **categoria C** la cui descrizione è quella riportata di seguito: “*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 dei valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. Inoltre bisogna definire le condizioni topografiche del sito che nella fattispecie risulta essere di **categoria T1** che precisamente corrisponde a quella delle superfici piane, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i < 15^\circ$ .”

## 8 COMPORTAMENTO STRUTTURALE E CLASSE DI DUTTILITA' DELLA STRUTTURA

Per ogni struttura di progetto bisogna definire il comportamento strutturale e quindi la classe di duttilità della stessa. Nella fattispecie si considera un comportamento strutturale **NON DISSIPATIVO**.

## 9 MODELLAZIONE DELL'AZIONE SISMICA (S)

Come evidenzia la dicitura, le azioni sismiche sono tutte le azioni indotte su una generica struttura dai terremoti. 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  $a_g$  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  $Se(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , nel periodo di riferimento  $V_R$ . 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;

$F_o$  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.

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 limite di esercizio sono:





## PROGETTO ESECUTIVO

## Relazione Tecnica Generale

- *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 rigidezza 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 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 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 riportate nella tabella riassuntiva inserita di seguito. Altro parametro fondamentale per la determinazione della pericolosità sismica è il **periodo di ritorno dell'azione sismica ( $T_r$ )** che si ricava mediante la relazione riportata di seguito.

$$T_r = -\frac{V_r}{\ln(1 - P_{vr})}$$

Stati limite		$P_{VR}$	$V_r$	$T_r$
Stati limite di esercizio	SLO	81%	200 anni	120
	SLD	63%		201
Stati limite ultimi	SLV	10%		1898
	SLC	5%		3899

Orbene, il calcolo delle azioni sismiche sulla struttura in oggetto viene effettuato su un modello



---

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione Tecnica Generale

spaziale dello stesso, attraverso delle analisi spettrali, pertanto utilizzando gli spettri dettati dal regolamento. Naturalmente lo spettro si applica per ogni direzione del sisma (due direzioni orizzontali mutuamente ortogonali ed una direzione verticale).

Come già detto per ciascuna probabilità di superamento e quindi per ciascuno stato limite si hanno i parametri riportati di seguito ed elencati nell'allegato B del **DM Infrastrutture del 17/01/2018**.

$a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima e dipende dalla latitudine e dalla longitudine del sito in questione.

$F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha un valore minimo pari a 2,20 e dipende anch'esso dalla longitudine e dalla latitudine del sito.

$T_c^*$  dipende dalla latitudine e dalla longitudine del sito in questione.

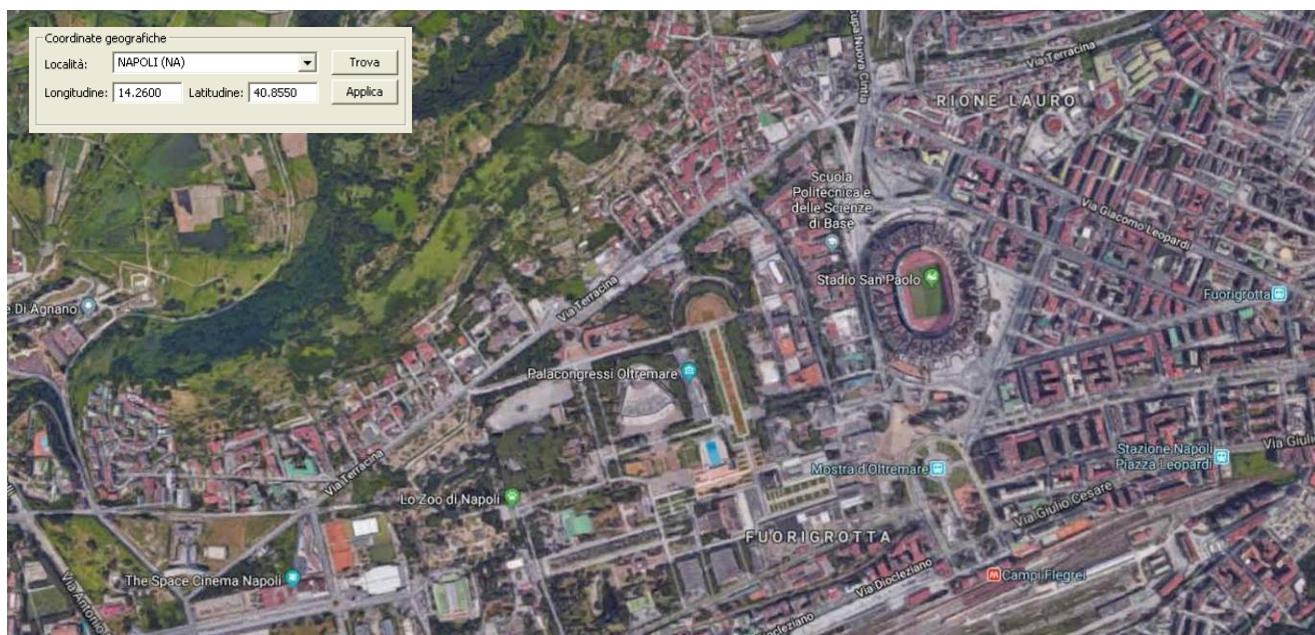
Pertanto in funzione della latitudine e della longitudine e dei tempi di ritorno  $T_r$  del sito in oggetto è possibile determinare i tre parametri introdotti precedentemente (pericolosità sismica).

Nel caso in cui la pericolosità sismica su reticolo di riferimento riportata nell'allegato B non contempla i tempi di ritorno appena calcolati (infatti l'allegato B riporta i valori per periodi di ritorno pari a 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) il generico parametro  $p(a_g, F_0, T_c^*)$ , corrispondente ai valori del periodo di ritorno riportati nella precedente tabella, si determina mediante interpolazione lineare con la seguente relazione.

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

Nella quale "p" è il valore del parametro di interesse  $(a_g, F_0, T_c^*)$  corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  cercato mentre i valori  $T_{R1}$  e  $T_{R2}$  sono i periodi di ritorno più vicini a  $T_R$  per i quali si dispone dei parametri  $p_1$  e  $p_2$  del generico parametro p. Come già detto il tutto è funzione della latitudine e della longitudine del luogo in cui sorge la costruzione.

Nel caso in esame la località in cui sorge la costruzione è **Fuorigrotta – NAPOLI** le cui coordinate identificative sono quelle riportate nella figura seguente.



**Coordinate di riferimento del sito della struttura in esame**

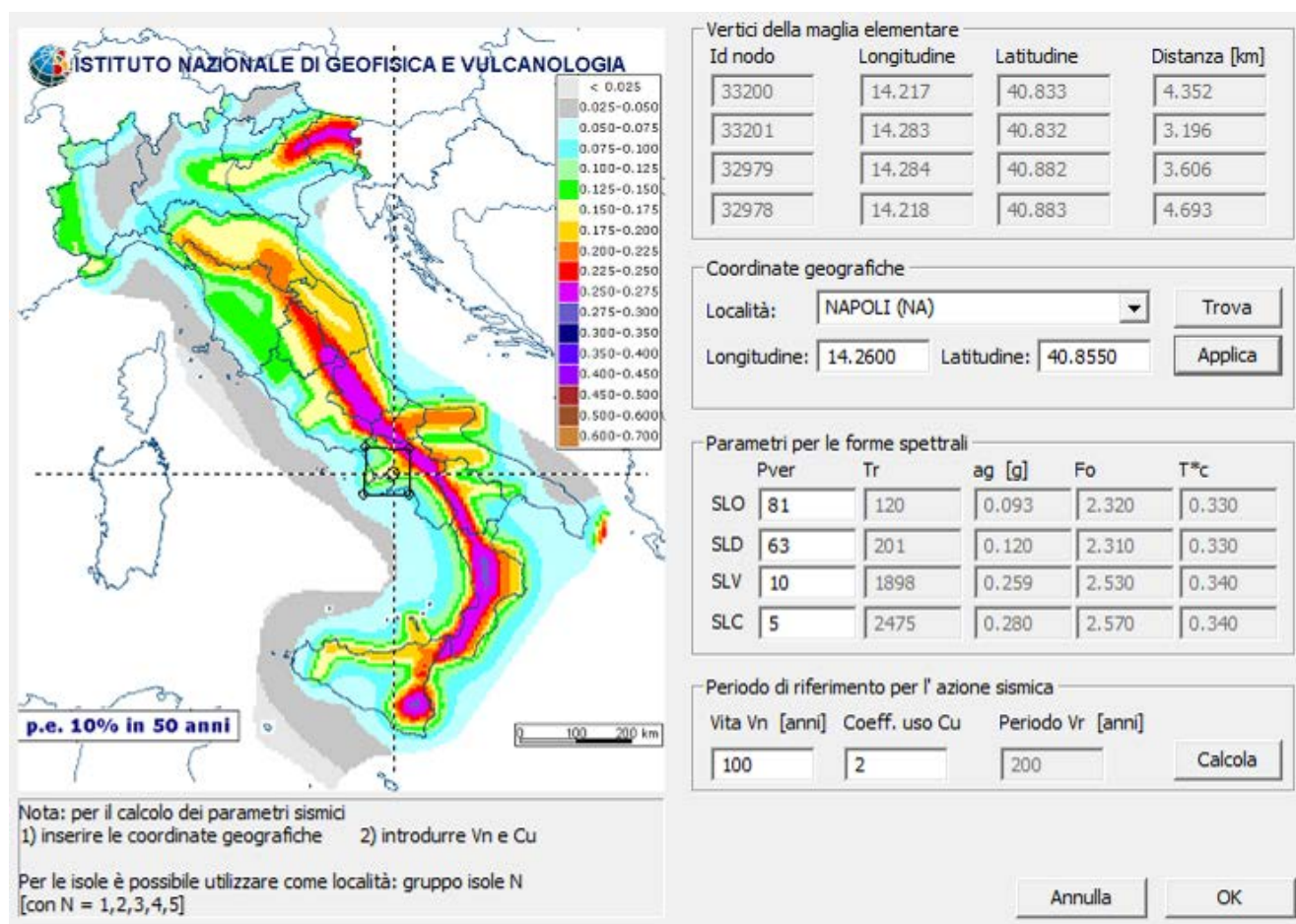
Poiché generalmente i valori delle predette coordinate non corrispondono ad alcun nodo del reticolo di riferimento (come si evince dalla figura riassuntiva riportata di seguito nella quale si riportano pure le coordinate dei nodi della maglia elementare) i valori dei parametri  $p(a_g, F_o, T_c^*)$  si determinano come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento in cui ricade il punto dove nasce la costruzione.

Come pesi si utilizzano gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro nodi di vertice attraverso la relazione riportata di seguito.

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove “p” è il valore del parametro di interesse  $(a_g, F_o, T_c^*)$ , “ $p_i$ ” è il valore del parametro di interesse nel vertice i-esimo della maglia elementare e “ $d_i$ ” è la distanza tra il punto in esame ed il vertice della maglia elementare.

Orbene, note le coordinate del sito in questione, a seguire si introduce una figura in cui si riportano in funzione della latitudine e della longitudine i parametri  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$ .



### Riepilogo dei parametri che individuano la pericolosità sismica

La figura introdotta precedentemente riepiloga in maniera chiara la latitudine e la longitudine del sito in questione, la latitudine la longitudine il codice identificativo e la distanza dal punto in questione dei quattro punti del reticolo di riferimento entro il quale è racchiusa la località in esame.

Infine vi sono i tre parametri che individuano la pericolosità sismica del sito in cui sorge la costruzione.

I due spettri elastici di riferimento, uno per la componente orizzontale del sisma,  $S_e(T)$ , e l'altro per la componente verticale,  $S_{ve}(T)$ , sono definiti sulla base dei parametri appresso specificati.

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

### Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale

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





PROGETTO ESECUTIVO

Relazione Tecnica Generale

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_B \leq T < T_C$$

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

$$T_C \leq T < T_D$$

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

$$T_D \leq T$$

Di seguito si descrivono e si determinano tutti i parametri riportati nelle relazioni precedenti e che quindi sono necessari alla determinazione degli spettri di risposta.

$a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima e dipende dalla latitudine e dalla longitudine del sito in questione oltre che dal periodo di ritorno  $T_r$ .

$F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha un valore minimo pari a 2,20 e dipende anch'esso dalla longitudine e dalla latitudine del sito oltre che dal periodo di ritorno  $T_r$ .

$T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro e si calcola mediante la seguente relazione oltre che dal periodo di ritorno  $T_r$ .

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

$T_C^*$  dipende dalla latitudine e dalla longitudine del sito in questione.

$C_C$  dipende dalla categoria di sottosuolo, pertanto essendo il sito in questione, assunto a vantaggio di sicurezza, di **“categoria C”** la relazione che ne consente il calcolo è la seguente:  $C_C = 1,05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$ .

$T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro ed è dato dalla seguente relazione:  $T_B = \frac{T_C}{3}$ .

$T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi ed è dato dalla seguente relazione:  $T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.6$ .

$S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la seguente relazione:  $S = S_s \cdot S_T$ . Essendo  $S_s$  il coefficiente di amplificazione stratigrafico ed  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica. Per sottosuolo di **categoria C**

si ha che  $S_s = 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g}$  e non deve mai essere > di 1,50 e minore di 1,00. Inoltre

per **Categoria Topografica T1** si ha che  $S_T = 1,00$ .



## PROGETTO ESECUTIVO

## Relazione Tecnica Generale

$\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali

$\xi$  diversi dal 5%, mediante la relazione riportata di seguito. Il coefficiente  $\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$  e

nella fattispecie il predetto fattore si pone = 1,00.

Nella tabella a seguire si riportano tutti i coefficienti che permettono la determinazione e quindi il tracciamento degli spettri elastici di risposta della componente orizzontale.

$P_{VR}$	$a_g$ [g]	$T_c^*$	$F_0$	$C_c$	$T_c$	$T_B$	$T_D$	$S_s(^*)$	$S_s$	$S_T$	$S$
81	0,093	0,33	2,32	1,51	0,500	0,167	1,972	1,571	1,500	1,000	1,500
63	0,120	0,33	2,31	1,51	0,500	0,167	2,080	1,534	1,500	1,000	1,500
10	0,259	0,34	2,53	1,50	0,510	0,170	2,636	1,307	1,307	1,000	1,307
5	0,280	0,34	2,57	1,50	0,510	0,170	2,720	1,268	1,268	1,000	1,268

A seguire si riportano invece le relazioni che permettono la determinazione dello spettro di risposta elastico della componente verticale.

**Spettro di risposta elastico della componente verticale**

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

$$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \quad T_B \leq T < T_C$$

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

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

Nelle relazioni appena introdotte  $T$  e  $S_{ve}$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e  $F_v$  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 riportata di seguito.

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

Per quanto riguarda i valori relativi ad  $S_s$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$  si assumo quelli riportati dalla normativa vigente e che di seguito si riassumono.



## PROGETTO ESECUTIVO

## Relazione Tecnica Generale

$P_{VR}$	$a_g$ [g]	$T_c^*$	$F_0$	$F_v$	$T_B$	$T_c$	$T_D$	$S_s$
81	0,093	0,33	2,320	0,955	0,050	0,150	1,000	1,000
63	0,120	0,33	2,310	1,080	0,050	0,150	1,000	1,000
10	0,259	0,34	2,530	1,738	0,050	0,150	1,000	1,000
5	0,280	0,34	2,570	1,836	0,050	0,150	1,000	1,000

Mediante i coefficienti appena calcolati è possibile tracciare gli spettri di risposta elastici della componente verticale (che riportano nella pagina seguente).

Il **Decreto Ministeriale 17/01/2018** al paragrafo 7.1 oltre a definire i concetti di capacità e domanda, di cui si è detto prima, ribadisce che sotto l'effetto delle azioni sismiche deve essere garantito il rispetto degli Stati Limite Ultimi (SLV e SLC) e di Esercizio (SLO e SLD) definiti nei primi paragrafi della presente relazione. La verifica nei confronti dei vari stati limite si effettua confrontando **capacità e domanda** ed in mancanza di specifiche indicazioni in merito, la verifica si considera svolta positivamente quando sono soddisfatti i requisiti di rigidezza, resistenza e duttilità, per gli elementi strutturali, e di stabilità e funzionalità, per gli elementi non strutturali e gli impianti, secondo quanto indicato nella tabella seguente.

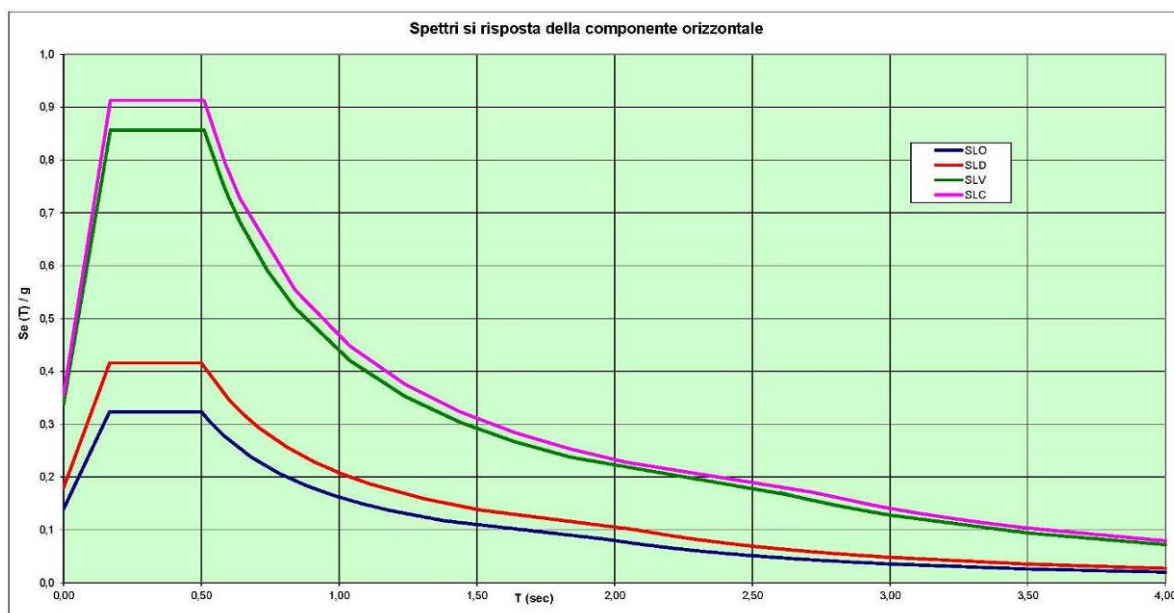
Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM <sup>(*)</sup>
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT <sup>(*)</sup>			DUT <sup>(*)</sup>		

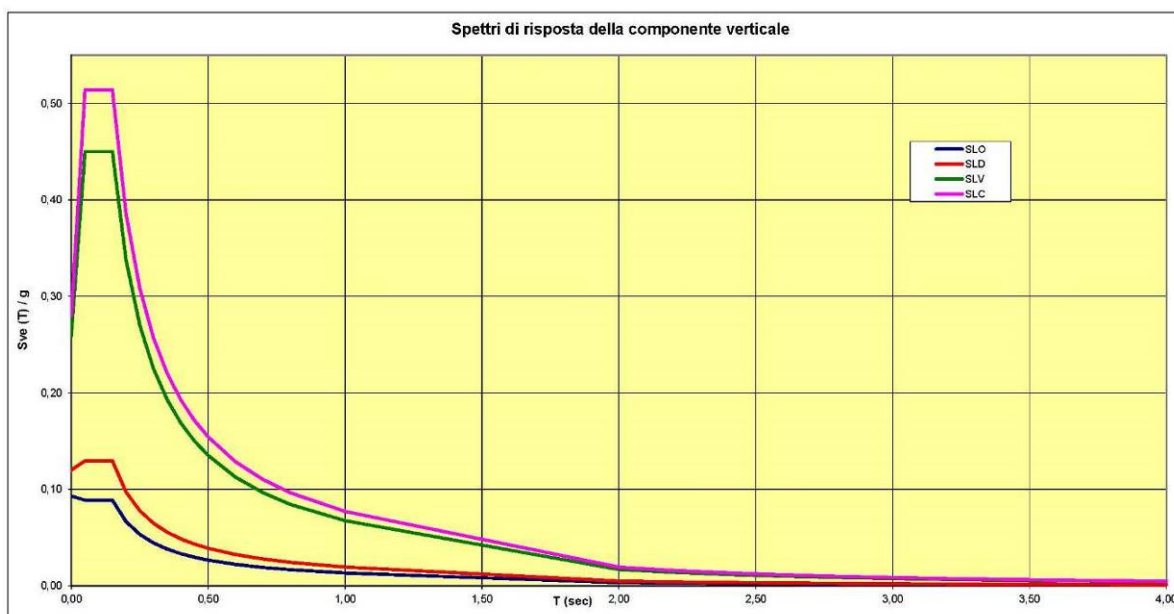
Per la struttura in oggetto, vista la tipologia e vista la classe d'uso si effettueranno le verifiche di resistenza [RES] allo SLV e SLD e di rigidezza [RIG] allo SLO.

Nelle due figure a seguire si riportano gli spettri di risposta elastici della componente orizzontale e della componente verticale per gli stati limite SLO, SLD, SLV e SLC e tenuto conto della tipologia della costruzione in oggetto si utilizzano esclusivamente gli spettri elastici di risposta della componente orizzontale in accordo con il punto 7.2.1. del **Decreto Ministeriale 17/01/2018**.





**Spettri di risposta elastici della componente orizzontale**



**Spettri di risposta elastici della componente verticale**

A seguire si inseriscono due tabelle in cui si riportano per ciascuno stato limite ultimo (SLV e SLC) e per ciascuno stato limite di esercizio (SLD e SLO) i valori (periodo proprio di oscillazione ( $x$ ) e risposta elastica ( $y$ )) mediante i quali sono stati ricavati i diagrammi che schematizzano gli spettri di risposta elastici della componente orizzontale e della componente verticale.



## PROGETTO ESECUTIVO

## Relazione Tecnica Generale

SLO orizzontale		SLD orizzontale		SLV orizzontale		SLC orizzontale	
Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta
0,0000	0,1395	0,0000	0,1800	0,0000	0,3385	0,0000	0,3550
0,0500	0,1946	0,0500	0,2506	0,0500	0,4908	0,0500	0,5190
<b>0,1670</b>	<b>0,3236</b>	<b>0,1670</b>	<b>0,4158</b>	<b>0,1700</b>	<b>0,8564</b>	<b>0,1700</b>	<b>0,9125</b>
0,1700	0,3236	0,1700	0,4158	0,2500	0,8564	0,2500	0,9125
<b>0,5000</b>	<b>0,3236</b>	<b>0,5000</b>	<b>0,4158</b>	<b>0,5100</b>	<b>0,8564</b>	<b>0,5100</b>	<b>0,9125</b>
0,5200	0,3112	0,6000	0,3465	0,5800	0,7531	0,5880	0,7914
0,5400	0,2997	0,6500	0,3198	0,6000	0,7280	0,5900	0,7887
0,5800	0,2790	0,7000	0,2970	0,6400	0,6825	0,6400	0,7271
0,6800	0,2380	0,7100	0,2928	0,7400	0,5902	0,8400	0,5540
0,7800	0,2075	0,8100	0,2567	0,8400	0,5200	1,0400	0,4475
0,8800	0,1839	0,9100	0,2285	1,0400	0,4200	1,2400	0,3753
0,9800	0,1651	1,0100	0,2058	1,2400	0,3522	1,4400	0,3232
1,0800	0,1498	1,1100	0,1873	1,4400	0,3033	1,6400	0,2838
1,1800	0,1371	1,3100	0,1587	1,6400	0,2663	1,8400	0,2529
1,3800	0,1173	1,5100	0,1377	1,8400	0,2374	2,0400	0,2281
<b>1,9720</b>	<b>0,0821</b>	<b>2,0800</b>	<b>0,1000</b>	<b>2,6360</b>	<b>0,1657</b>	<b>2,7200</b>	<b>0,1711</b>
2,0000	0,0798	2,0900	0,0990	2,6000	0,1703	2,9400	0,1464
2,1000	0,0724	2,1000	0,0981	2,6100	0,1690	2,9500	0,1454
2,2000	0,0659	2,2000	0,0893	2,6200	0,1677	2,9600	0,1445
2,3000	0,0603	2,3000	0,0817	2,6300	0,1665	2,9700	0,1435
2,4000	0,0554	2,4000	0,0751	2,6500	0,1640	2,9800	0,1425
2,5000	0,0511	2,5000	0,0692	2,6600	0,1627	2,9900	0,1416
2,6000	0,0472	2,6000	0,0640	2,6700	0,1615	3,0000	0,1406
2,7000	0,0438	2,7000	0,0593	2,7000	0,1579	3,1000	0,1317
2,8000	0,0407	2,8000	0,0552	2,8000	0,1469	3,2000	0,1236
2,9000	0,0379	2,9000	0,0514	2,9000	0,1369	3,3000	0,1162
3,0000	0,0355	3,0000	0,0480	3,0000	0,1279	3,4000	0,1095
3,5000	0,0260	3,5000	0,0353	3,5000	0,0940	3,5000	0,1033
4,0000	0,0199	4,0000	0,0270	4,0000	0,0720	4,0000	0,0791

→ Tb

→ Tc

→ Td

SLO verticale		SLD verticale		SLV verticale		SLC verticale	
Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta
0,0000	0,0930	0,0000	0,1200	0,0000	0,2590	0,0000	0,2800
0,0250	0,0909	0,0250	0,1248	0,0250	0,3546	0,0250	0,3970
<b>0,0500</b>	<b>0,0888</b>	<b>0,0500</b>	<b>0,1296</b>	<b>0,0500</b>	<b>0,4501</b>	<b>0,0500</b>	<b>0,5141</b>
0,1000	0,0888	0,1000	0,1296	0,1000	0,4501	0,1000	0,5141
<b>0,1500</b>	<b>0,0888</b>	<b>0,1500</b>	<b>0,1296</b>	<b>0,1500</b>	<b>0,4501</b>	<b>0,1500</b>	<b>0,5141</b>
0,2000	0,0666	0,2000	0,0972	0,2000	0,3376	0,2000	0,3856
0,2500	0,0533	0,2500	0,0778	0,2500	0,2701	0,2500	0,3084
0,3000	0,0444	0,3000	0,0648	0,3000	0,2251	0,3000	0,2570
0,3500	0,0381	0,3500	0,0555	0,3500	0,1929	0,3500	0,2203
0,4000	0,0333	0,4000	0,0486	0,4000	0,1688	0,4000	0,1928
0,4500	0,0296	0,4500	0,0432	0,4500	0,1500	0,4500	0,1714
0,5000	0,0266	0,5000	0,0389	0,5000	0,1350	0,5000	0,1542
0,6000	0,0222	0,6000	0,0324	0,6000	0,1125	0,6000	0,1285
0,7000	0,0190	0,7000	0,0278	0,7000	0,0965	0,7000	0,1102
0,8000	0,0167	0,8000	0,0243	0,8000	0,0844	0,8000	0,0964
<b>1,0000</b>	<b>0,0133</b>	<b>1,0000</b>	<b>0,0194</b>	<b>1,0000</b>	<b>0,0675</b>	<b>1,0000</b>	<b>0,0771</b>
2,0000	0,0033	2,0000	0,0049	2,0000	0,0169	2,0000	0,0193
2,2000	0,0028	2,2000	0,0040	2,2000	0,0140	2,2000	0,0159
2,4000	0,0023	2,4000	0,0034	2,4000	0,0117	2,4000	0,0134
2,6000	0,0020	2,6000	0,0029	2,6000	0,0100	2,6000	0,0114
2,8000	0,0017	2,8000	0,0025	2,8000	0,0086	2,8000	0,0098
3,0000	0,0015	3,0000	0,0022	3,0000	0,0075	3,0000	0,0086
3,2000	0,0013	3,2000	0,0019	3,2000	0,0066	3,2000	0,0075
3,4000	0,0012	3,4000	0,0017	3,4000	0,0058	3,4000	0,0067
3,6000	0,0010	3,6000	0,0015	3,6000	0,0052	3,6000	0,0060
3,8000	0,0009	3,8000	0,0013	3,8000	0,0047	3,8000	0,0053
4,0000	0,0008	4,0000	0,0012	4,0000	0,0042	4,0000	0,0048

→ Tb

→ Tc

→ Td

## Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare nella progettazione, sia per le componenti orizzontali sia per le componenti verticali, è coincidente con lo spettro di risposta elastico



corrispondente.

### Spettri di progetto per gli stati limite ultimi

Le capacità dissipative di una struttura consentono di ridurre gli spettri di risposta elastici. Pertanto lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare per la progettazione, sia per le componenti orizzontali sia per le componenti verticali, è coincidente con lo spettro di risposta elastico nel quale si riducono le ordinate considerando in luogo di  $\eta$  il rapporto  $1/q$  dove  $q$  è il fattore di struttura calcolato in precedenza.

Di seguito si riportano le relazioni che permettono di tracciare gli spettri di progetto degli stati limite di salvaguardia della vita umana (SLV) e di collasso (SLC) sia per la componente orizzontale sia per la componente verticale.

### Spettro di risposta di progetto della componente orizzontale per (SLV e SLC)

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

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot (1/q) \cdot F_o \quad T_B \leq T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot (1/q) \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \quad T_C \leq T < T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot (1/q) \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right) \quad T_D \leq T$$

### Spettro di risposta di progetto della componente verticale per (SLV e SLC)

$$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot (1/q) \cdot F_v \cdot \left( \frac{T}{T_B} + \frac{q}{F_v} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right) \quad 0 \leq T < T_B$$

$$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot (1/q) \cdot F_v \quad T_B \leq T < T_C$$

$$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot (1/q) \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \quad T_C \leq T < T_D$$

$$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot (1/q) \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right) \quad T_D \leq T$$

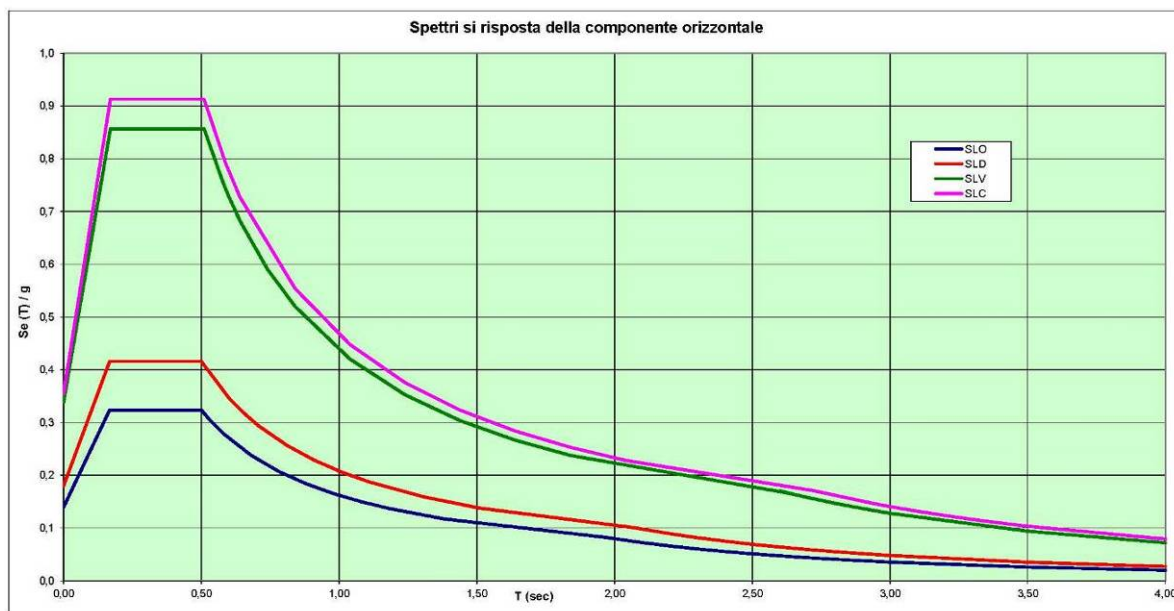
Nelle due figure a seguire si riportano gli spettri di progetto della componente orizzontale e della componente verticale per gli stati limite SLO, SLD, SLV e SLC considerando un coefficiente di



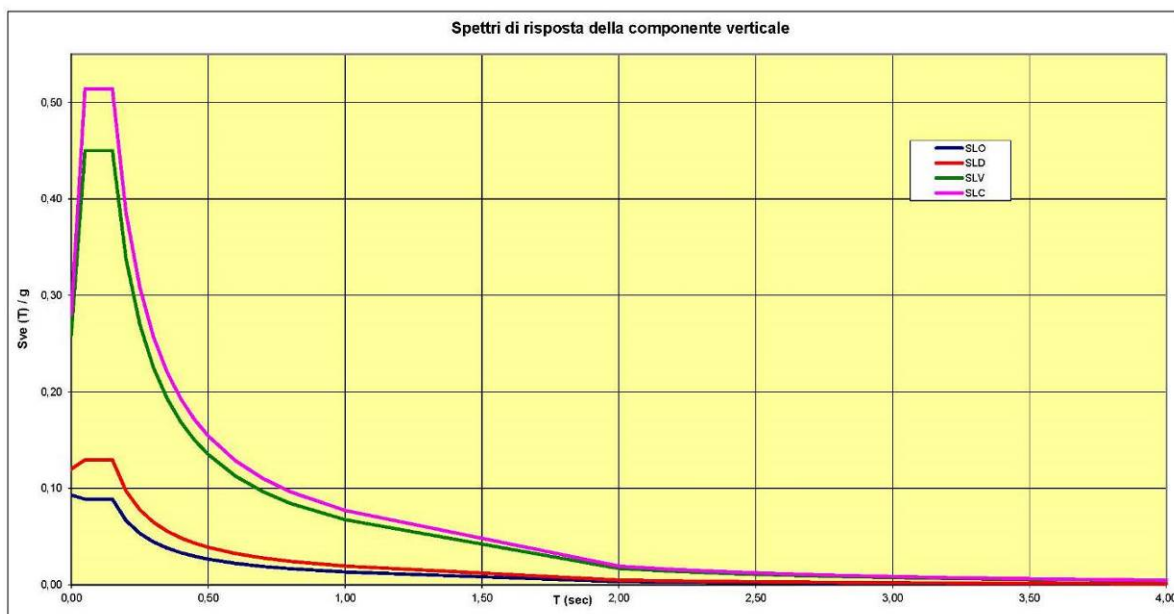
PROGETTO ESECUTIVO

Relazione Tecnica Generale

comportamento orizzontale della struttura  $q = 1,00$  ed un coefficiente di comportamento verticale della struttura  $q = 1,00$ .



Spettri di progetto della componente orizzontale



Spettri di progetto della componente verticale

A seguire si inseriscono due tabelle in cui si riportano per ciascuno stato limite ultimo (SLV e SLC) e per ciascuno stato limite di esercizio (SLD e SLO) i valori (periodo proprio di oscillazione (x) e risposta elastica (y)) mediante i quali sono stati ricavati i diagrammi che schematizzano gli spettri di risposta





## PROGETTO ESECUTIVO

## Relazione Tecnica Generale

elastici di progetto della componente orizzontale e della componente verticale.

SLO orizzontale		SLD orizzontale		SLV orizzontale		SLC orizzontale	
Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta
0,0000	0,1395	0,0000	0,1800	0,0000	0,3385	0,0000	0,3550
0,0500	0,1946	0,0500	0,2506	0,0500	0,4908	0,0500	0,5190
<b>0,1670</b>	<b>0,3236</b>	<b>0,1670</b>	<b>0,4158</b>	<b>0,1700</b>	<b>0,8564</b>	<b>0,1700</b>	<b>0,9125</b>
0,1700	0,3236	0,1700	0,4158	0,2500	0,8564	0,2500	0,9125
<b>0,5000</b>	<b>0,3236</b>	<b>0,5000</b>	<b>0,4158</b>	<b>0,5100</b>	<b>0,8564</b>	<b>0,5100</b>	<b>0,9125</b>
0,5200	0,3112	0,6000	0,3465	0,5800	0,7531	0,5880	0,7914
0,5400	0,2997	0,6500	0,3198	0,6000	0,7280	0,5900	0,7887
0,5800	0,2790	0,7000	0,2970	0,6400	0,6825	0,6400	0,7271
0,6800	0,2380	0,7100	0,2928	0,7400	0,5902	0,8400	0,5540
0,7800	0,2075	0,8100	0,2567	0,8400	0,5200	1,0400	0,4475
0,8800	0,1839	0,9100	0,2285	1,0400	0,4200	1,2400	0,3753
0,9800	0,1651	1,0100	0,2058	1,2400	0,3522	1,4400	0,3232
1,0800	0,1498	1,1100	0,1873	1,4400	0,3033	1,6400	0,2838
1,1800	0,1371	1,3100	0,1587	1,6400	0,2663	1,8400	0,2529
1,3800	0,1173	1,5100	0,1377	1,8400	0,2374	2,0400	0,2281
<b>1,9720</b>	<b>0,0821</b>	<b>2,0800</b>	<b>0,1000</b>	<b>2,6360</b>	<b>0,1657</b>	<b>2,7200</b>	<b>0,1711</b>
2,0000	0,0798	2,0900	0,0990	2,6000	0,1703	2,9400	0,1464
2,1000	0,0724	2,1000	0,0981	2,6100	0,1690	2,9500	0,1454
2,2000	0,0659	2,2000	0,0893	2,6200	0,1677	2,9600	0,1445
2,3000	0,0603	2,3000	0,0817	2,6300	0,1665	2,9700	0,1435
2,4000	0,0554	2,4000	0,0751	2,6500	0,1640	2,9800	0,1425
2,5000	0,0511	2,5000	0,0692	2,6600	0,1627	2,9900	0,1416
2,6000	0,0472	2,6000	0,0640	2,6700	0,1615	3,0000	0,1406
2,7000	0,0438	2,7000	0,0593	2,7000	0,1579	3,1000	0,1317
2,8000	0,0407	2,8000	0,0552	2,8000	0,1469	3,2000	0,1236
2,9000	0,0379	2,9000	0,0514	2,9000	0,1369	3,3000	0,1162
3,0000	0,0355	3,0000	0,0480	3,0000	0,1279	3,4000	0,1095
3,5000	0,0260	3,5000	0,0353	3,5000	0,0940	3,5000	0,1033
4,0000	0,0199	4,0000	0,0270	4,0000	0,0720	4,0000	0,0791

→ Tb

→ Tc

→ Td

SLO verticale		SLD verticale		SLV verticale		SLC verticale	
Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta
0,0000	0,0930	0,0000	0,1200	0,0000	0,2590	0,0000	0,2800
0,0250	0,0909	0,0250	0,1248	0,0250	0,3546	0,0250	0,3970
<b>0,0500</b>	<b>0,0888</b>	<b>0,0500</b>	<b>0,1296</b>	<b>0,0500</b>	<b>0,4501</b>	<b>0,0500</b>	<b>0,5141</b>
0,1000	0,0888	0,1000	0,1296	0,1000	0,4501	0,1000	0,5141
<b>0,1500</b>	<b>0,0888</b>	<b>0,1500</b>	<b>0,1296</b>	<b>0,1500</b>	<b>0,4501</b>	<b>0,1500</b>	<b>0,5141</b>
0,2000	0,0666	0,2000	0,0972	0,2000	0,3376	0,2000	0,3856
0,2500	0,0533	0,2500	0,0778	0,2500	0,2701	0,2500	0,3084
0,3000	0,0444	0,3000	0,0648	0,3000	0,2251	0,3000	0,2570
0,3500	0,0381	0,3500	0,0555	0,3500	0,1929	0,3500	0,2203
0,4000	0,0333	0,4000	0,0486	0,4000	0,1688	0,4000	0,1928
0,4500	0,0296	0,4500	0,0432	0,4500	0,1500	0,4500	0,1714
0,5000	0,0266	0,5000	0,0389	0,5000	0,1350	0,5000	0,1542
0,6000	0,0222	0,6000	0,0324	0,6000	0,1125	0,6000	0,1285
0,7000	0,0190	0,7000	0,0278	0,7000	0,0965	0,7000	0,1102
0,8000	0,0167	0,8000	0,0243	0,8000	0,0844	0,8000	0,0964
<b>1,0000</b>	<b>0,0133</b>	<b>1,0000</b>	<b>0,0194</b>	<b>1,0000</b>	<b>0,0675</b>	<b>1,0000</b>	<b>0,0771</b>
2,0000	0,0033	2,0000	0,0049	2,0000	0,0169	2,0000	0,0193
2,2000	0,0028	2,2000	0,0040	2,2000	0,0140	2,2000	0,0159
2,4000	0,0023	2,4000	0,0034	2,4000	0,0117	2,4000	0,0134
2,6000	0,0020	2,6000	0,0029	2,6000	0,0100	2,6000	0,0114
2,8000	0,0017	2,8000	0,0025	2,8000	0,0086	2,8000	0,0098
3,0000	0,0015	3,0000	0,0022	3,0000	0,0075	3,0000	0,0086
3,2000	0,0013	3,2000	0,0019	3,2000	0,0066	3,2000	0,0075
3,4000	0,0012	3,4000	0,0017	3,4000	0,0058	3,4000	0,0067
3,6000	0,0010	3,6000	0,0015	3,6000	0,0052	3,6000	0,0060
3,8000	0,0009	3,8000	0,0013	3,8000	0,0047	3,8000	0,0053
4,0000	0,0008	4,0000	0,0012	4,0000	0,0042	4,0000	0,0048

→ Tb

→ Tc

→ Td



## **10 METODO DI ANALISI UTILIZZATO**

Nelle analisi strutturali degli interventi in progetto sono stati utilizzati gli spettri di risposta della norma, analisi dinamica modale per la struttura ad “L” rovesciata al corsello superiore e analisi statica equivalente per la struttura ad “L” in corrispondenza della fila di posti “1”.

Inoltre nel caso in esame il comportamento si considera non dissipativo ed il modello di analisi lineare.

## **11 CRITERI DI VERIFICA**

Le verifiche di resistenza delle strutture in oggetto sono state eseguite allo Stato Limite Ultimo, mentre quelle di funzionalità allo Stato Limite di Esercizio.

## **12 CONCLUSIONI**

Il progetto presentato è stato redatto secondo le prescrizioni contenute nell'aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” **DECRETO MINISTERIALE LL. PP. 17 gennaio 2018**, pubblicato su Supplemento Ordinario n°42 della Gazzetta Ufficiale del 20 febbraio 2018.

***Il progettista delle strutture***