



## PROGETTO DEFINITIVO

**Appalto integrato sulla base del progetto di fattibilità tecnica ed economica "Smart City Napoli Nord - Piani Urbani Integrati – M5C2 – I.2.2"**  
**CIG 972663946C CUP I45I22000020006 - CUP I45I22000030006**

### RTI



**OPUS COSTRUZIONI S.P.A.**  
Capogruppo  
P.IVA 07201350639  
Via Campana 233, Pozzuoli



**ARCHIVOLTO SRL**  
Mandante  
P.IVA 07162480631  
Via O. P. Cafaro n.4, Napoli

### RTP

**SAG ARCHITETTURA SRLS**  
P.IVA 09189081210  
Sede legale: Via Posillipo 66, Napoli

**MASCOLO INGEGNERIA SRL**  
P.IVA 08524811216

Sede legale: Via Gramsci 19, Cicciano

**ELECTA SRL**

P.IVA 04082971211

Sede legale: Via Principe di Piemonte 109, Roccarainola

### RUP

Arch. Pasquale Imbema

## PROGETTO STRUTTURALE - (Arzano Via Alfredo Pecchia) RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

DATA EMISS.	Dicembre 2023	CODIFICA	ARZ1.PD.STR.R.003
SCALA	-		
FORMATO	A4		

REVISIONE	DESCRIZIONE	DATA	APPROVATO DA
03			
02			
01			
00	prima emissione	Dicembre 2023	



## SOMMARIO

<b>INQUADRAMENTO SISMICO</b> .....	2
<b>DETERMINAZIONE DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO NTC</b> .....	2
<b>VITA NOMINALE, CLASSE D’USO E PERIODO DI RIFERIMENTO</b> .....	2
<b>PERICOLOSITA’ SISMICA DI BASE</b> .....	2
<b>CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE</b> .....	7
<b>SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONI DELLA COMPONENTE ORIZZONTALE</b> .....	8
<b>SPETTRI DI PROGETTO PER GLI SLE</b> .....	10
<b>SPETTRI DI PROGETTO PER GLI SLU</b> .....	10
<b>CLASSE DI DUTTILITÀ E FATTORE DI STRUTTURA</b> .....	10

## INQUADRAMENTO SISMICO

L'azione sismica per il sito in esame è espressa in termini di spettro di risposta in accelerazione. Tenuto conto della tipologia della costruzione in oggetto si utilizza il solo spettro di accelerazioni relativo alle componenti orizzontali, in accordo a quanto prescritto al punto 7.2.1. del D.M. Infrastrutture del 17/01/2018.

Per quanto riguarda invece la componente verticale le indicazioni da seguire sono le seguenti:

- §3.2.3.1: "Salvo quanto specificato nel § 7.11 per le opere e i sistemi geotecnici, la componente verticale verrà considerata ove espressamente specificato (Capitolo 7) e purché il sito nel quale sorge la costruzione sia caratterizzato da un'accelerazione al suolo, così come definita nel seguente §3.2.3.2, pari ad  $a \geq 0,15g$ ;

## DETERMINAZIONE DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO NTC

### VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Per la valutazione della sicurezza strutturale occorre preliminarmente determinare la vita nominale, la classe d'uso ed il periodo di riferimento per l'azione sismica in forza di quanto prescritto al punto 2.4 del D.M. Infrastrutture 17/01/2018. La **vita nominale  $V_N$**  della struttura in esame è calcolata sulla base della Tabella 2.4.I. Si assume che:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

ovvero che la struttura ricada tra opere strategiche (costruzione tipo 3).

Per quanto attiene la **classe d'uso** si assume che tali strutture siano classificate come:

### Classe II

in quanto essa rientra tra le "costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti". Le azioni sismiche vengono calcolate in relazione ad un **periodo di riferimento  $V_R$**  che si ricava dalla seguente espressione:

$$V_R = V_N * C_u$$

in cui il **coefficiente d'uso  $C_u$**  si ricava dalla Tabella 2.4. II. In particolare per la classe d'uso assunta per le costruzioni in oggetto si ha che:

$$C_u = 1$$

da cui consegue che il periodo di riferimento  $V_R$  assume per le strutture in esame una entità pari a:

$$V_R = 50 * 1 = 50 \text{ anni}$$

Note la vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento, è quindi possibile valutare le azioni sismiche da applicare alla struttura in oggetto, così come descritto nel paragrafo successivo. Le azioni sismiche sono valutate con riferimento agli spettri di risposta in termini di accelerazioni.

## PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

La determinazione delle azioni sismiche è stata effettuata sulla base di quanto previsto al punto 3.2 del D.M. Infrastrutture 17/01/2018.

Per pericolosità sismica si intende lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha emanato nuove Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC08) con il D.M. del 14 gennaio 2008 (oggi D.M. 17 gennaio 2018) nelle quali la definizione dell'azione sismica di riferimento si basa sui dati rilasciati da INGV e dal Progetto S1. Questi dati sono pubblicati in siti dell'INGV realizzati appositamente.

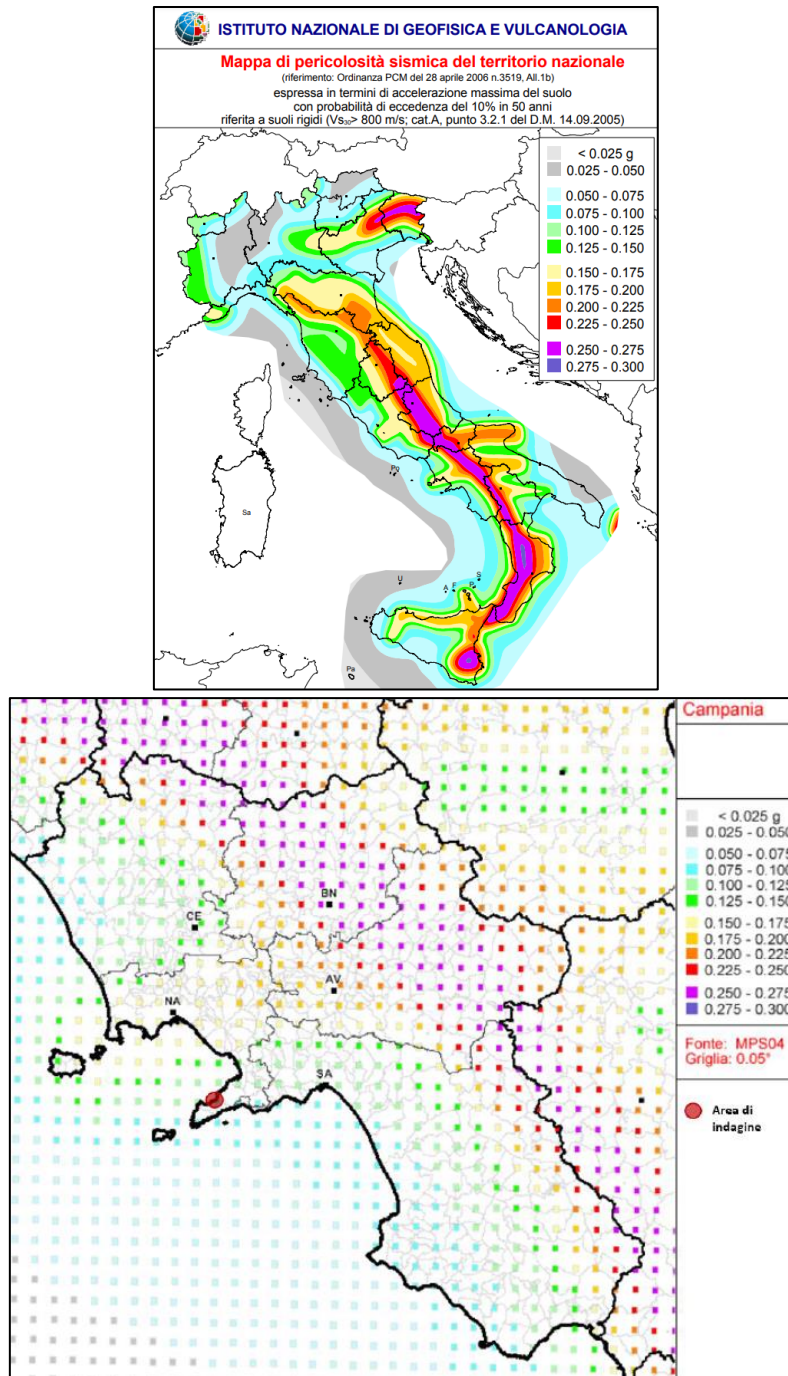


Figura 1. Mappe di pericolosità

La pericolosità sismica è espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, cui viene associato uno spettro di risposta elastico di accelerazioni ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a due prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , nel periodo di riferimento  $V_R$  pari a 200 anni, stabilito come in precedenza. Per la verifica di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche, gli stati limite da considerare sono quelli riportati e descritti al punto 3.2.1 del D.M. Infrastrutture 17/01/2018, ovvero:

- Stati limite di esercizio (SLE):
  - Stato limite di Operatività (SLO);
  - Stato limite di Danno (SLD);



**- Stati limite ultimo (SLU):**

- *Stati limite di salvaguardia della Vita (SLV);*
- *Stati limite di Collasso (SLC).*

Le probabilità di superamento  $P_{VR}$  sono funzione dello stato limite e sono desumibili dalla Tabella 3.2.I, qui riportata. Allo stato attuale, *la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento* è fornita dai dati pubblicati sul sito: <http://esse1.mi.ingv.it/>.

**Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato**

Stati limite		$P_{VR}$ (Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ )
Stati limite d'esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Le azioni di progetto si ricavano, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, con i parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_o$  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.

Per ciascun nodo del *reticolo di riferimento* e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla *pericolosità sismica*, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al **50<sup>esimo</sup>** percentile ed attribuendo a:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica;
- $F_o$  e  $T_c^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione previste dalla norma scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste in funzione della *pericolosità sismica*.

Le forme spettrali sono altresì funzione degli stati limite e quindi delle probabilità di superamento  $P_{VR}$  riportate in Tabella 3.2.I, oltre che della vita di riferimento  $V_R$  che per la struttura in esame è pari a 200 anni. La pericolosità sismica è espressa nell'Allegato B del D.M. Infrastrutture 14/01/2008 in funzione del periodo di ritorno  $T_R$  dell'azione sismica. Detto periodo di ritorno si può ricavare dalla seguente relazione, in funzione della vita di riferimento  $V_R$  e della probabilità di superamento  $P_{VR}$  riportata per ciascuno stato limite:

$$T_R = -V_R / \log(1 - P_{VR})$$

Si riassumono nella Tabella 1 i valori di  $T_R$  calcolati per il caso in esame.

**Tabella 1 – Valori di  $V_R$ ,  $P_{VR}$  e  $T_R$  per la determinazione dell'azione sismica**

Stati limite		$V_R$ (anni)	$P_{VR}$ (percentuale)	$T_R$ (anni)
Stati limite d'esercizio	SLO	75	81	30
	SLD		63	50
Stati limite ultimi	SLV		10	475
	SLC		5	975

La pericolosità sismica su reticolo di riferimento, riportata nell'Allegato B del D.M., qualora l'attuale pericolosità sismica su reticolo di riferimento non contemplasse il periodo di ritorno  $T_R$  corrispondente alla  $V_R$  e alla  $P_{VR}$  fissate, il valore del generico parametro  $p$  ( $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c$ ) corrispondente ai  $T_R$  in Tabella 1, può essere ricavato per interpolazione a partire dai dati relativi ai  $T_R$  previsti nella pericolosità sismica, utilizzando 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 (nella fattispecie  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c$ ) corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato, I valori  $T_{R1}$  e  $T_{R2}$  sono i periodi di ritorno più prossimi a  $T_R$  per i quali si dispone dei valori  $p_1$  e  $p_2$  del generico parametro  $p$ .

Nel caso in esame il sito di intervento è geograficamente individuato dalle seguenti coordinate (ED50):

Lat. = 40.917119°

Long. = 14.261840°

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

Ricerca per comune

LONGITUDINE:

LATTITUDINE:

REGIONE:

PROVINCIA:

COMUNE:

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta ▶▶▶

Variabilità dei parametri ▶▶▶

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri ▶▶▶

**Nodi del reticolo intorno al sito**

**Reticolo di riferimento**

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione:

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

## FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE

SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="30"/>
SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="50"/>

Stati limite ultimi - SLU

SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="475"/>
SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="975"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

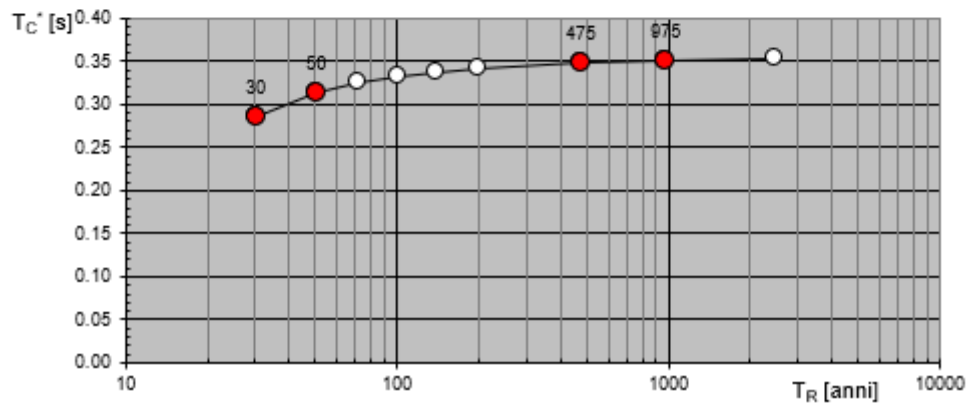
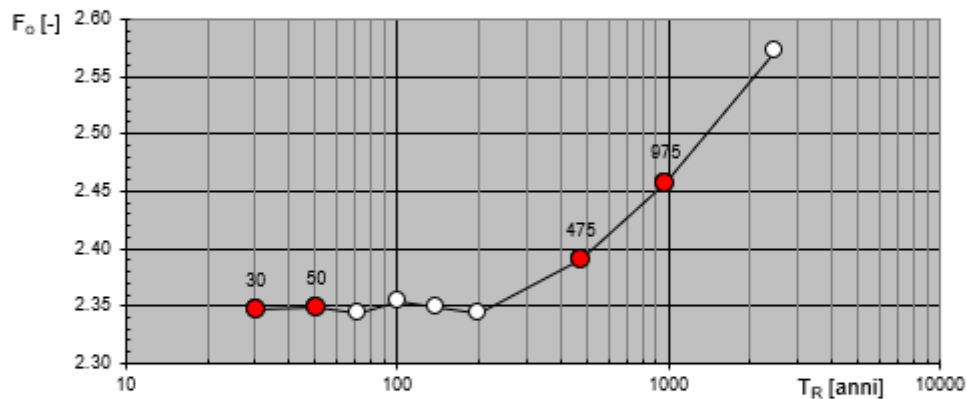
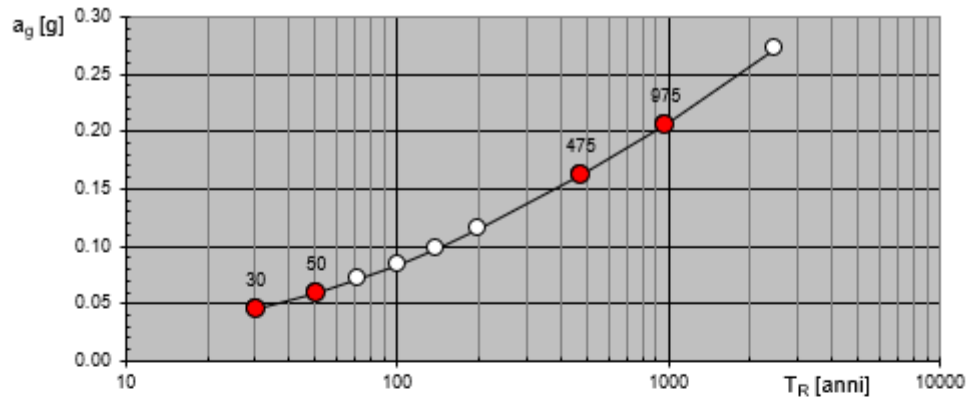
Si ha quindi che nel caso in esame i valori dei parametri  $p$  ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$ ) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento in cui ricade il punto corrispondente al sito di costruzione considerato. Si utilizzano come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro nodi dei vertici, attraverso la relazione:

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

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse nel punto in esame (ovvero  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$ ),  $p_i$  è il valore del parametro di interesse nell' $i$ -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame e  $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo punto della maglia suddetta.

Utilizzando le precedenti espressioni si ha che la pericolosità sismica di base, del sito di costruzione in esame, è caratterizzata dai valori riportati nella seguente tabella.

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0.045	2.348	0.285
SLD	50	0.059	2.349	0.314
SLV	475	0.161	2.391	0.349
SLC	975	0.205	2.458	0.352



### CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

La categoria di sottosuolo del sito di costruzione può essere classificata sulla base del valore della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità. Essa è assimilabile al sottosuolo **tipo C** (Tabella 3.2.II delle NTC da D.M. 17/01/2018) ovvero:

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.

La categoria topografica del sito di costruzione è assimilabile a quella denominata T1 (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ) della Tabella 3.2.III del D.M. 17/01/2018 e quindi utilizzando i valori in Tabella 3.2.V si ha che il coefficiente di amplificazione topografica ST è pari a: **ST = 1.0**



## SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONI DELLA COMPONENTE ORIZZONTALE

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore dell'accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale. L'espressione dello spettro di risposta elastico  $S_e(T)$  in accelerazione delle componenti orizzontali è data da:

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

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

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

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

in cui  $S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:  $S = S_s \cdot S_T$

dove  $S_s$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica. Nel caso in esame  $S_T = 1.0$  (Tabella 3.2.V NTC), mentre  $S_s$  si ricava per la categoria di sottosuolo **TIPO C**, dall'espressione riportata in Tabella 3.2.IV:

$$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$$

Nell'espressione dello spettro di risposta  $\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

dove  $\xi$  (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione.

Nel caso in esame si assume che  $\xi = 5\%$  e quindi  $\eta = 1.00$ . Per la definizione dello spettro di risposta occorre altresì definire:

$T_C$  periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:

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

dove  $C_C$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo, espresso da (Tabella 3.2.IV):

$$C_C = 1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$$

$T_B$  periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, che può calcolarsi come:

$$T_B = T_C/3$$

$T_D$  **periodo** corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante:

$$T_D = 4.0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.6$$

I valori dei parametri necessari per la definizione degli spettri di risposta elastica in accelerazione delle componenti orizzontali, per i quattro stati limite riportati in Tabella 3.2.I sono riassunti nella seguente Tabella 4.

**Tabella 4 – Valori parametrici per definizione spettri elastici componenti orizzontali**

	Parametri	SLO	SLD	SLV	SLC
Indipendenti	$a_g$ (g)	0.045	0.059	0.161	0.205
	$F_o$	2.348	2.349	2.391	2.458
	$T_C^{*s}$ (sec)	0.285	0.314	0.349	0.352
	$S_s$	1.500	1.500	1.469	1.398
	$S_T$	1.000	1.000	1.000	1.000

**Tabella 4 – Valori parametrici per definizione spettri elastici componenti orizzontali**

	Parametri	SLO	SLD	SLV	SLC
Dipendenti	$S$	1.500	1.500	1.469	1.398
	$\eta$	0.833	0.833	0.833	0.833
	$T_B$ (sec)	0.151	0.161	0.173	0.174
	$T_C$ (sec)	0.453	0.483	0.518	0.521
	$T_D$ (sec)	1.780	1.835	2.244	2.419

Gli spettri elastici di risposta di accelerazioni delle componenti orizzontali per il sito di costruzione sono stati tenuti in debito conto per gli stati limite previsti dal D.M. 17/01/2018.

Sotto l'effetto delle azioni sismiche deve essere garantito il rispetto degli SLE e SLU. In virtù di quanto riportato al punto 7.1 del D.M. Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018 si ha che il rispetto dei vari stati limite si considera soddisfatto:

- nei confronti di tutti gli SLE, qualora siano rispettate le verifiche relative agli SLD;
- nei confronti di tutti gli SLU, qualora siano rispettate le indicazioni progettuali e costruttive riportate nella Sezione 7 del D.M. 2018 e siano soddisfatte le verifiche relative al solo SLV.

Pertanto le verifiche svolte per i vari elementi strutturali in parola comprendono:

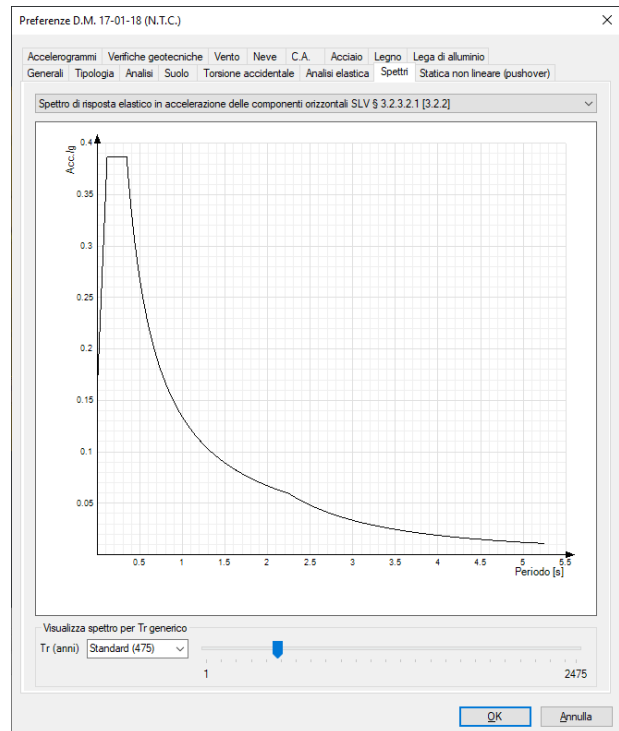
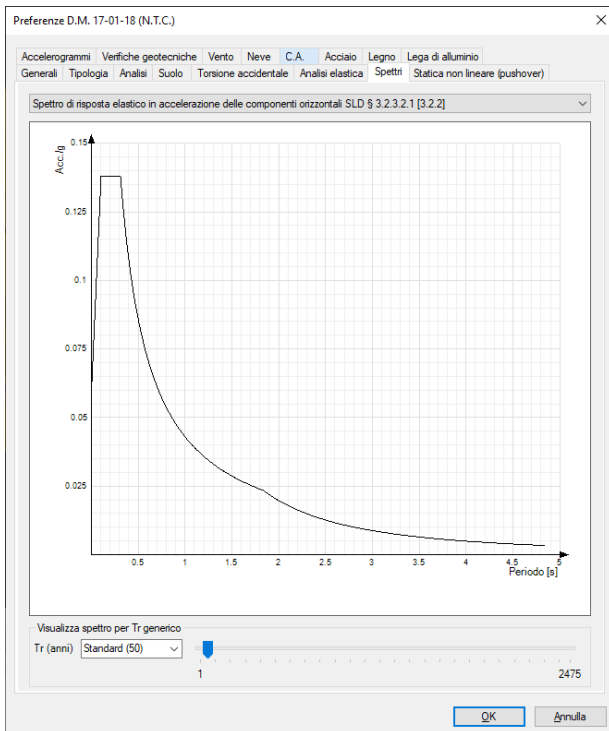
❖ **allo SLU:**

- Verifiche degli elementi strutturali in termini di resistenza;
- Verifiche degli elementi strutturali in termini di duttilità e capacità di deformazione;

❖ **allo SLE:**

- Verifiche degli elementi strutturali in termini di resistenza;
- Verifiche degli elementi strutturali in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali;

Si riportano di seguito gli spettri elastici valutati sulla base di quanto appena descritto.



## SPETTRI DI PROGETTO PER GLI SLE

Lo spettro di progetto in accelerazione  $S_d(T)$  delle componenti orizzontali da utilizzare per le verifiche agli SLE (ed in particolare allo SLD) è lo spettro elastico, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR.

## SPETTRI DI PROGETTO PER GLI SLU

Lo spettro di progetto in accelerazione  $S_d(T)$  delle componenti orizzontali da utilizzare per le verifiche allo SLU (ed in particolare allo SLV) è lo spettro elastico, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, con le ordinate ridotte sostituendo il fattore  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura definito per le tipologie strutturali considerate.

## CLASSE DI DUTTILITÀ E FATTORE DI STRUTTURA

Per le strutture in oggetto, nell'analisi dinamica lineare non si ha necessità di ricorrere a classi di duttilità elevate, pertanto si considerano dettagli tipici della classe di duttilità **NON DISSIPATIVA**

In aggiunta all'eccentricità effettiva, è stata considerata, in forza di quanto prescritto dal D.M. 17/01/2018, un'eccentricità accidentale, spostando il centro di massa di ogni piano, in ogni direzione considerata, di una distanza pari a  $\pm 5\%$  della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica.

La non linearità geometrica, nel particolar caso in elevazione, è stata tenuta in debito conto attraverso il fattore  $q$ . Detto coefficiente dipende dalla tipologia strutturale, dai criteri di dimensionamento, dalla duttilità locale delle membrature e dal grado di regolarità della configurazione strutturale, si sarebbe potuto assumere come pari a:

$$q = k_R \cdot q_o \cdot \alpha_u / \alpha_1$$

dove:

- $q_o$  è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto  $\alpha_u / \alpha_1$  tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;
- $k_R$  è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza;

- KW è un fattore riduttivo che assume valore diverso da 1 solo per strutture a pareti, misti equivalenti a pareti o torso-deformabili.

Fattore di comportamento per sisma SLV X

Default (1.5) ▾

Fattore di comportamento per sisma SLV Y

Default (1.5) ▾

Nel caso in esame, per i valori adottati, si rimanda agli specifici tabulati di calcolo; nello specifico per il dimensionamento e la verifica delle opere di fondazione, in accordo alle NTC18 §7.2.5, sono state considerate le azioni trasmesse dalle strutture in elevazione amplificate del coefficiente di sovrarresistenza  $\gamma_{Rd}$ .

La non linearità geometrica, nel particolare caso in elevazione, è stata tenuta in debito conto attraverso il fattore **Q**, per le costruzioni civili tale fattore può essere trascurato nel caso in cui ogni ad ogni orizzontamento risulti:

$$\theta = P \cdot d_r / V \cdot h \leq 0.1$$

Si rimanda quindi ai tabulati di calcolo per la disamina puntuale dei parametri di calcolo utilizzati per le diverse analisi prodotte, in tutte le configurazioni dell'opera.