



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 - (Cardito Via Biagio Loffredo) RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

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

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



SOMMARIO

INQUADRAMENTO SISMICO	2
DETERMINAZIONE DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO NTC (PER LA REALIZZAZIONE DELLO STAZIONAMENTO DEI BUS)	2
VITA NOMINALE, CLASSE D’USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	2
PERICOLOSITA’ SISMICA DI BASE	2
CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	7
SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONI DELLA COMPONENTE ORIZZONTALE	8
SPETTRI DI PROGETTO PER GLI SLE	10
SPETTRI DI PROGETTO PER GLI SLU	10
CLASSE DI DUTTILITÀ E FATTORE DI STRUTTURA	10
DETERMINAZIONE DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO NTC (PER LA REALIZZAZIONE DEL PALAZZETTO) ...	11
VITA NOMINALE, CLASSE D’USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	11
PERICOLOSITA’ SISMICA DI BASE	12
CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	17
SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONI DELLA COMPONENTE ORIZZONTALE	17
SPETTRI DI PROGETTO PER GLI SLE	19
SPETTRI DI PROGETTO PER GLI SLU	19
CLASSE DI DUTTILITÀ E FATTORE DI STRUTTURA	19

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 (PER LA REALIZZAZIONE DELLO STAZIONAMENTO DEI BUS)

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.

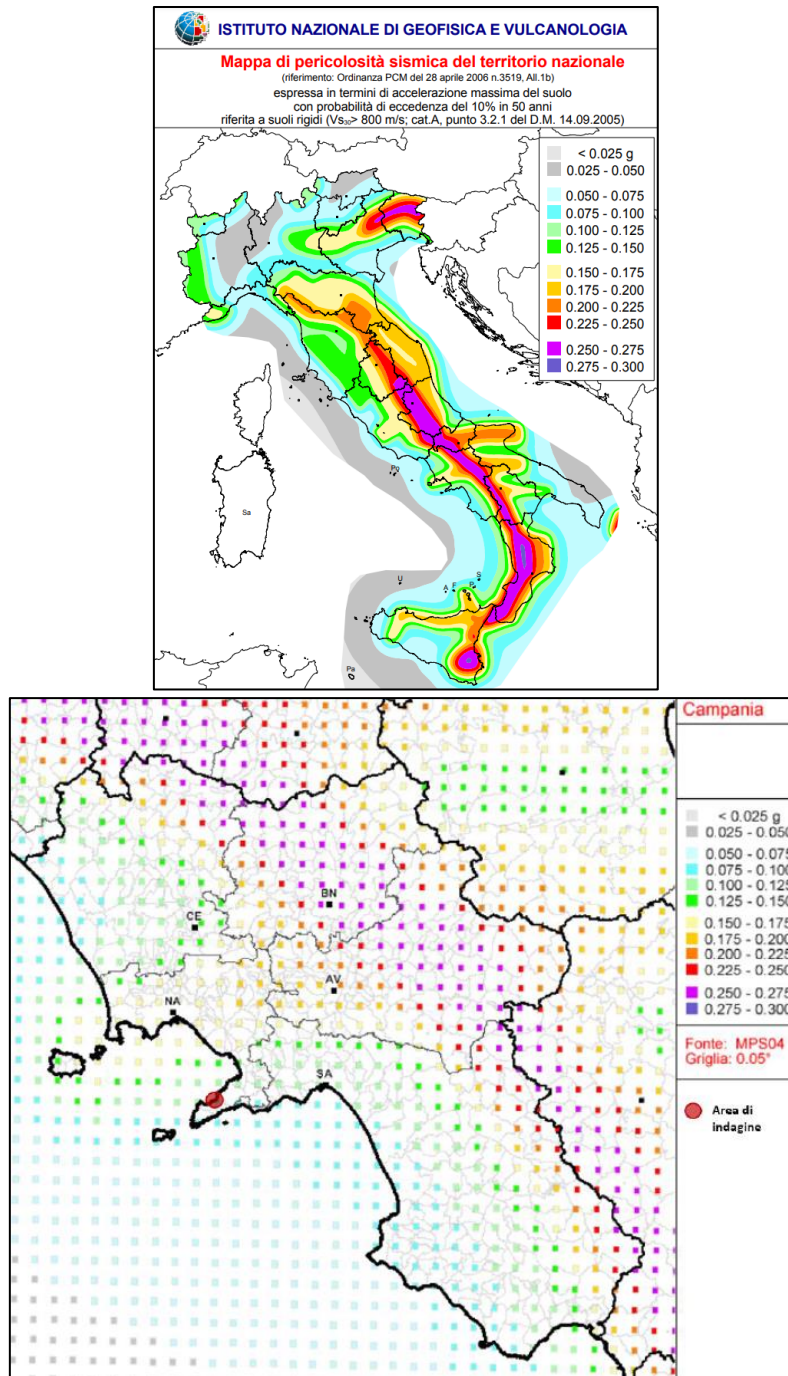


Figura 1. Mappe di pericolosità

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^{esimo}** 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. = 40.9356°

Long. = 14.2952°

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:

LATTITUDINE:

Ricerca per comune

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

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- .-.-■-.-.- Strategia scelta

Strategia di progettazione

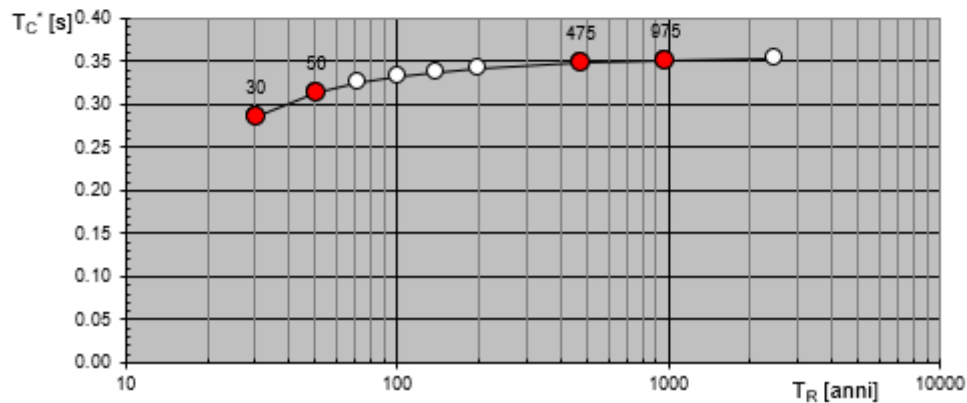
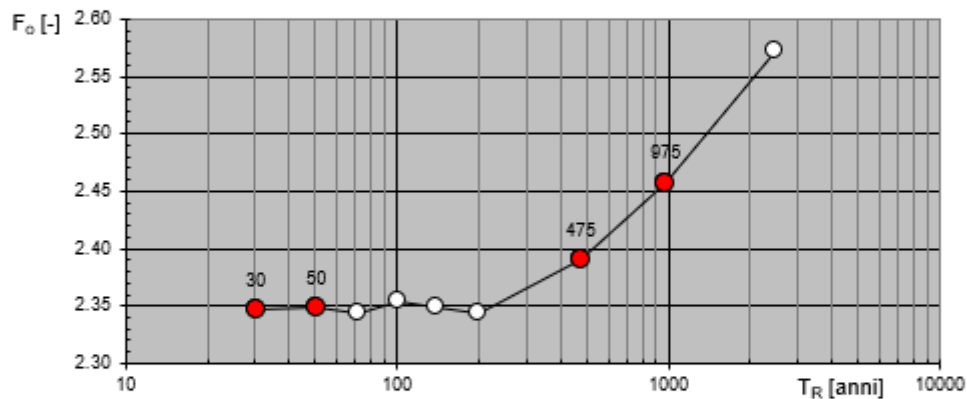
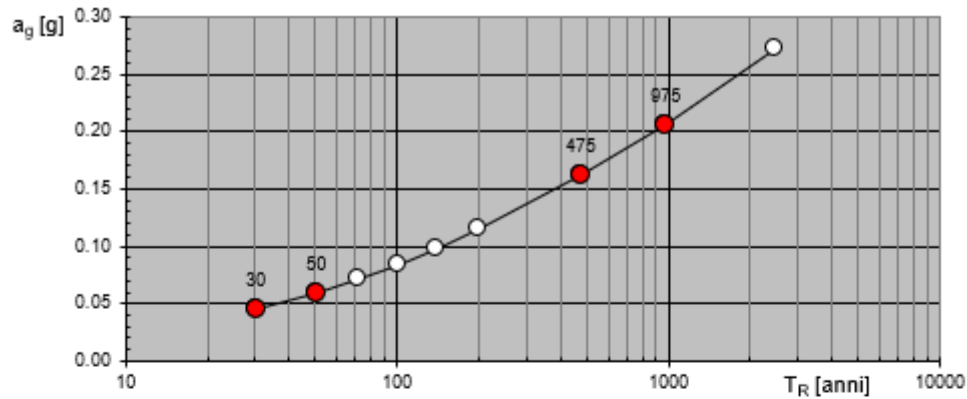
Si ha quindi che nel caso in esame i valori dei parametri p (a_g , F_o , T_c^*) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento in cui ricade il punto corrispondente al sito di costruzione considerato. 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_o , 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_o [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0.046	2.344	0.286
SLD	50	0.059	2.354	0.315
SLV	475	0.161	2.395	0.353
SLC	975	0.205	2.461	0.356



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 η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%:

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

dove ξ (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)	0.046	0.059	0.161	0.205
	F_o	2.344	2.354	2.395	2.461
	T_C^{*s} (sec)	0.286	0.315	0.353	0.356
	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
	η	0.833	0.833	0.833	0.833
	T_B (sec)	0.151	0.161	0.174	0.175
	T_C (sec)	0.454	0.484	0.522	0.526
	T_D (sec)	1.783	1.838	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:

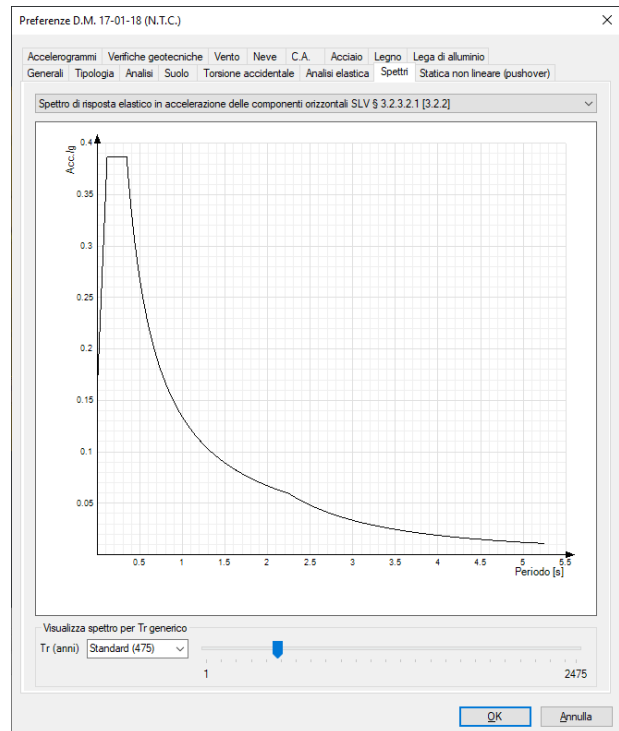
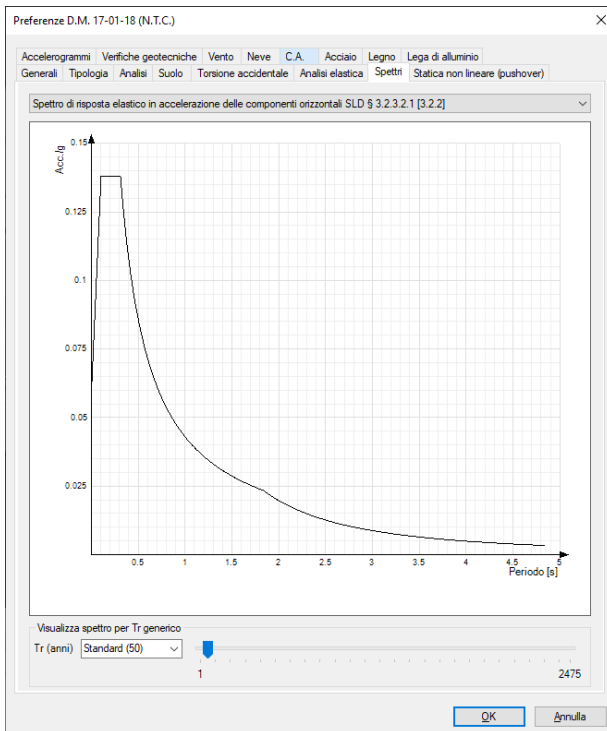
❖ **allo SLU:**

- 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 η 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 +/-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 α_u / α_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 γ_{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.

DETERMINAZIONE DELLE AZIONI SISMICHE SECONDO NTC (PER LA REALIZZAZIONE DEL PALAZZETTO)

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:

$$V_N = 100 \text{ anni}$$

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 III

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:

$$V_R = V_N \cdot C_u$$

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:

$$V_R = 100 \cdot 1 = 100 \text{ anni}$$

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.

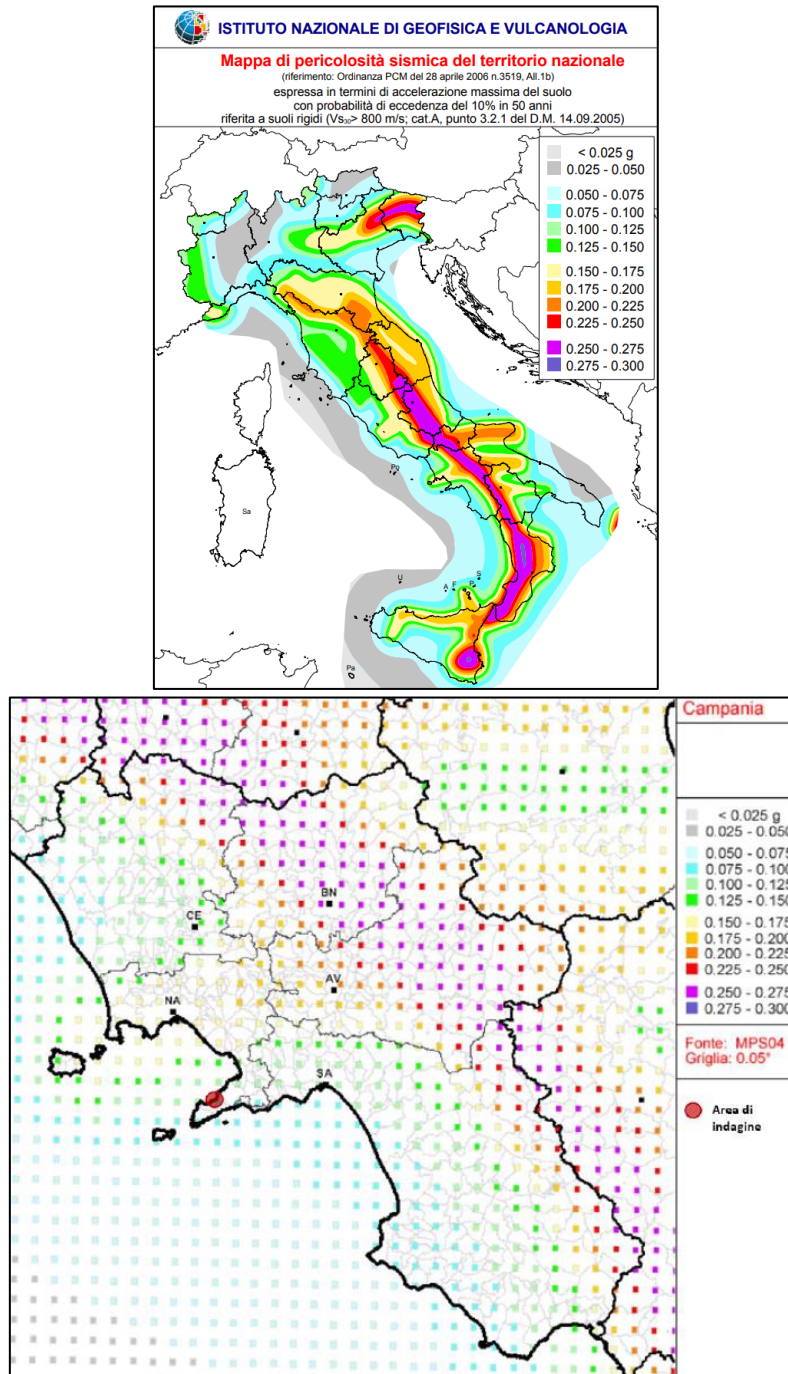


Figura 2. Mappe di pericolosità

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^{esimo}** 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	60
	SLD		63	101
Stati limite ultimi	SLV		10	949
	SLC	5	1950	

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. = 40.9356°

Long. = 14.2952°

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 14.29520 LATTITUDINE: 40.93560

Ricerca per comune

REGIONE: Campania PROVINCIA: Napoli COMUNE: Cardito

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: superficie rigata

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 : 50 info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U : 1 info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R : 50 info

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

Stati limite di esercizio - SLE

- SLO - $P_{VR} = 81\%$: 30
- SLD - $P_{VR} = 63\%$: 50

Stati limite ultimi - SLU

- SLV - $P_{VR} = 10\%$: 475
- SLC - $P_{VR} = 5\%$: 975

Elaborazioni

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

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- - - ■ - - - Strategia scelta

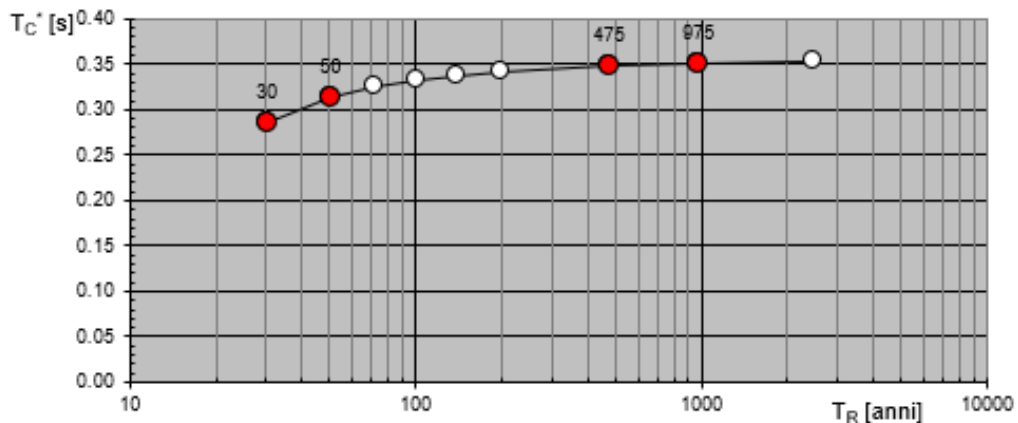
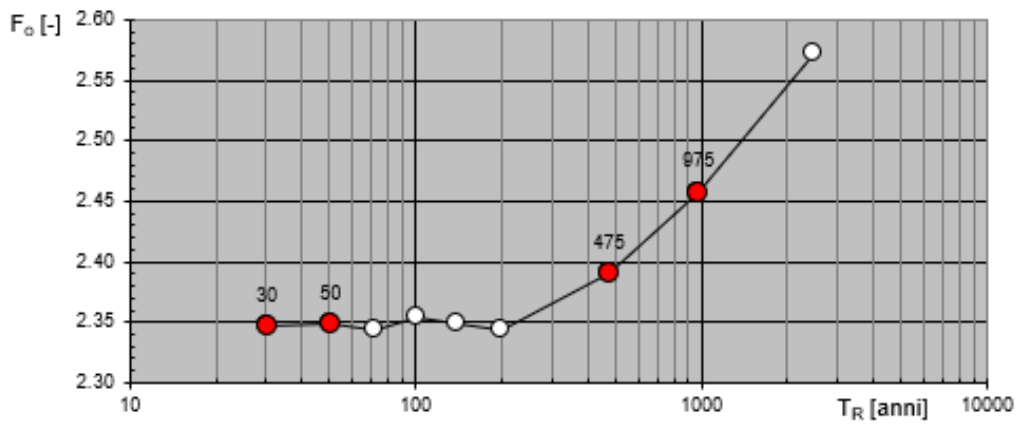
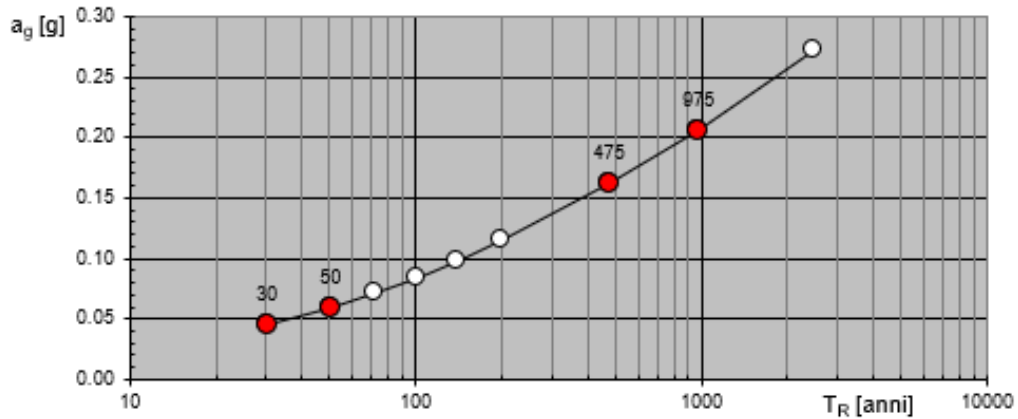
Si ha quindi che nel caso in esame i valori dei parametri p (a_g , F_0 , T_c^*) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento in cui ricade il punto corrispondente al sito di costruzione considerato. 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	60	0.065	2.352	0.321
SLD	101	0.084	2.362	0.334
SLV	949	0.203	2.458	0.356
SLC	1950	0.251	2.543	0.358



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 S_T è pari a: **$S_T = 1.0$**

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 η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%,:

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

dove ξ (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)	0.065	0.084	0.203	0.251
	F_o	2.352	2.362	2.458	2.543
	T_c^* (sec)	0.321	0.334	0.356	0.358
	S_s	1.500	1.500	1.401	1.317
	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	1.401	1.317
	η	0.833	0.833	0.833	0.833
	T_B (sec)	0.163	0.168	0.175	0.176
	T_C (sec)	0.490	0.504	0.526	0.528
	T_D (sec)	1.861	1.934	2.412	2.605

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:

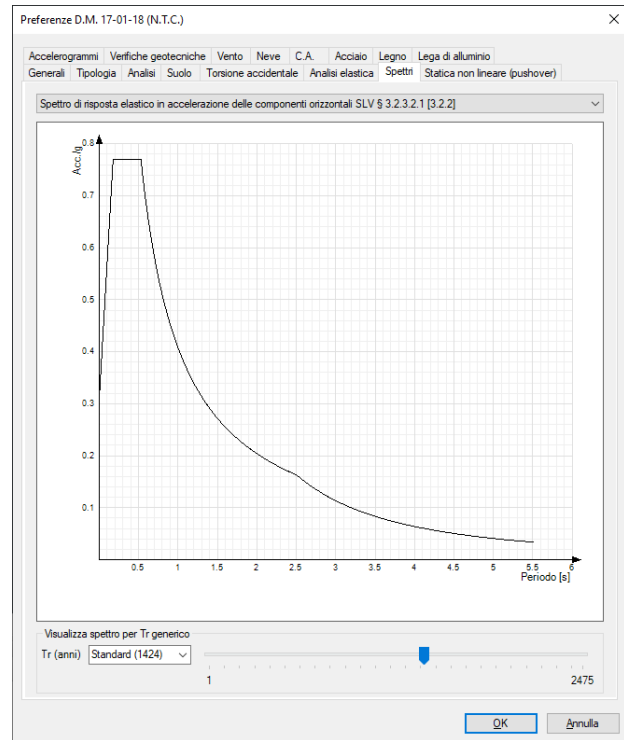
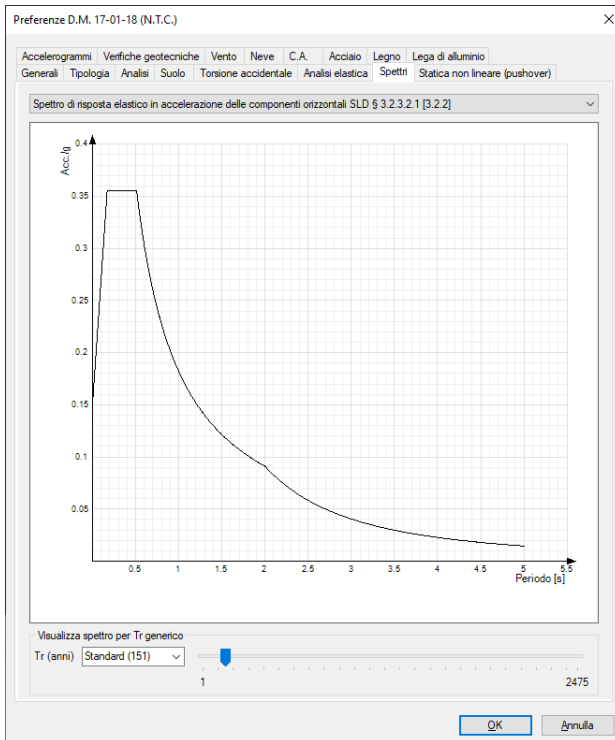
❖ **allo SLU:**

- 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 η 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:

$$q = k_R \cdot q_0 \cdot \alpha_u / \alpha_1$$

dove:

- q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_u / α_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;

- KR 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 sovraresistenza γ_{Rd} .

La non linearità geometrica, nel particolar 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.