

COMMITTENTE



COMUNE DI NAPOLI

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
arch. Francesca Spera

CITTÀ VERTICALE: RIQUALIFICAZIONE DEI PERCORSI PEDONALI TRA LA COLLINA E IL MARE

PROGETTO ESECUTIVO / SAN FRANCESCO



MANDATARIA



Via Pieveaiola, 15
06128 Perugia
info@sabeng.it www.sabsrl.eu

Arch. Pierpaolo Papi
Arch. Francesco Pecorari
Arch. Sergio Tucci
Arch. Francesco Fucelli
Arch. Luca Persichini
Ing. Marco Adriani
Ing. Vincenzo Pujia
Ing. Catuscia Maiggi
Ing. Barbara Bottausci
Dott.Agr. Maura Proietti

MANDANTI:



B5 S.r.l.
Via San'Anna dei Lombardi, 16
80134 - Napoli - info@b5srl.it

Società di Ingegneria
via San'Anna dei Lombardi 16
80134 Napoli
Tel. +39 081 551 92 45
Fax +39 081 551 83 48
E-mail: info@b5srl.it

Arch. Francesca Brancaccio Ph.D.
(Amministratore Unico e Direttore Tecnico)
Ing. Ugo Brancaccio
(Direttore tecnico)

Studio Ing. Alberto Capitanucci



ELABORATO
Relazione tecnica
sulle strutture (plinti dei pali)
Calata San Francesco

N° ELAB.	NO. DOC.	COD. COMM.	CODE ORDER
05.RSE001/00		CNAP.001-01-02.20.ESE	
SCALA		SCALE	
		-	

03								
02								
01								
00	ESECUTIVO	PECORARI	PAPI	ADRIANI	GIUGNO 2021			
REV.	EMESSO PER	ISSUE TO	RED.	COMP.	CONTR.	ORIG.	APPR.	DATA

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO	3
4	MATERIALI UTILIZZATI PER LE STRUTTURE	4
5	CARATERIZZAZIONE MECCANICA DEI TERRENI	5
6	VITA NOMINALE DELLA STRUTTURA	6
7	CLASSE D'USO DELLA STRUTTURA	6
8	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	7
9	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	7
10	COMPORAMENTO STRUTTURALE	7
11	MODELLO DELLE AZIONI ED ANALISI DEI CARICHI	8
11.1	AZIONE PERMANENTE DA PESO PROPRIO DEL PLINTO DI FONDAZIONE	9
11.2	AZIONE PERMANENTE NON STRUTTURALE	9
11.3	AZIONE VARIABILE INDOTTA DAL VENTO.....	10
11.4	AZIONI SISMICHE (E).....	17
12	CONCLUSIONI	29
12.1	TIPO DI ANALISI SVOLTA	29
12.2	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	29
12.3	AFFIDABILITA' DEI CODICI DI CALCOLO	30
12.4	VALIDAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO	30
12.5	MODALITA' DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI.....	30
12.6	INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE	30
12.7	GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI	30

1 PREMESSA

Nella presente “**RELAZIONE TECNICA GENERALE**” si riportano i concetti salienti propedeutici alle analisi strutturali ed alle verifiche allo Stato Limite Ultimo e di Esercizio dei plinti di fondazione per i pali della pubblica illuminazione da realizzare nell’ambito della progettazione “**CITTA' VERTICALE: RIQUALIFICAZIONE DEI PERCORSI PEDONALI TRA COLLINA E IL MARE**”.

I nuovi pali della pubblica illuminazione sono in numero di 5 su Calata San Francesco.

Essendo i pali tra di loro identici, ovviamente, si procederà all’analisi di uno solo di essi. Il plinto di fondazione è in calcestruzzo, ha dimensioni nette pari a 100 cm x 100 cm x h = 100 cm (**Peso totale 2400 daN**).

Per maggiori dettagli sulla tipologia di palo si rimanda agli elaborati specifici che sono parte integrante della presente relazione.

Il palo di pubblica illuminazione ha le seguenti caratteristiche geometriche:

- Palo conico di altezza $H = 5.00$ m;
- Diametro alla base $D_1 = 115$ mm;
- Diametro in sommità $D_2 = 60$ mm;
- Spessore minimo $s = 3.0$ mm;
- Il corpo illuminante Si inscrive in un quadrato di dimensioni 50 cm x 50 cm.

Nella relazione di calcolo allegata nulla si dirà in merito alle verifiche del palo in quanto in capo al produttore di pali stessi ma si provvederà al dimensionamento ed alla verifica del plinto di fondazione.

Al fine di progettare la fondazione, nella relazione di calcolo si è provveduto a modellare l’intero sistema in modo da determinare gli sforzi alla base. Pertanto di seguito di riportano le ipotesi e le analisi condotte per la determinazione delle azioni derivanti dal sito e dalle condizioni al contorno.

Il plinto di fondazione sarà di dimensione 100x100x100 cm e l’ancoraggio avverrà mediante l’infissione del palo stesso all’interno del plinto di fondazione.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il progetto esecutivo delle strutture necessarie alla messa in sicurezza del muro di sostegno di cui alla premessa è stato redatto nel rispetto delle seguenti normative.

DECRETO MINISTERIALE LL. PP. 17 gennaio 2018:

Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” su Supplemento Ordinario n°42 della Gazzetta Ufficiale del 20 febbraio 2018.

CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP:

Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

3 **CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO**

Per l'analisi strutturale e per le verifiche di tutte le strutture introdotte precedentemente si utilizza il codice di Calcolo **PRO_SAP Professional Structural**, con solutore **e-sap prodotto dalla 2si s.p.a.** Il codice è corredato di certificazione di affidabilità così come previsto dal D.M. 17/01/2018 (paragrafo 10.2) la licenza d'uso è (**chiave dsi 3632 – Numero seriale I241113X88621H8**).

4 MATERIALI UTILIZZATI PER LE STRUTTURE

Il calcolo delle caratteristiche della sollecitazione interna e le verifiche di resistenza delle strutture sono state eseguite con i metodi della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni utilizzando come criterio di resistenza quello degli STATI LIMITE ULTIMI. Di seguito, per i materiali utilizzati, si riportano i valori delle caratteristiche meccaniche fissati dalla normativa vigente.

Acciaio in barre ad aderenza migliorata, controllato in stabilimento, B 450 C (FeB 44k):

- Modulo Elastico: $E = 210.000,00 \text{ MPa}$
- Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} = 540,00 \text{ MPa}$
- Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 450,00 \text{ MPa}$
- Rapporto medio tra tensione di rottura e tensione di snervamento: $(f_t/f_y)_{\text{medio}} > 1,13$
- Rapporto tra il singolo valore della tensione di snervamento e tensione caratteristica di snervamento: $(f_y/f_{yk}) < 1,35$
- Coefficiente di sicurezza del materiale: $\gamma_s = 1,15$
- Con riferimento alle Norme Tecniche, per l'acciaio B 450 C (Fe B 44k) si definisce una resistenza di calcolo f_{sd} determinata dalla seguente relazione: $f_{sd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450,00}{1,15} = 391,00 \text{ MPa}$

Calcestruzzo del plinto di fondazione C 25/30 ($R_{bk} = 300,00 \text{ daN/cm}^2$):

- Resistenza cubica caratteristica per compressione: $R_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$
- Resistenza cilindrica caratteristica per compressione: $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 24,90 \text{ MPa}$
- Resistenza media a trazione: $f_{ctm} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{(f_{ck})^2} = 2,56 \text{ MPa}$
- Resistenza caratteristica a trazione: $f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 1,79 \text{ MPa}$
- Coefficiente di sicurezza del materiale: $\gamma_c = 1,50$
- Resistenza di progetto a compressione: $f_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = 14,11 \text{ MPa}$
- Resistenza di progetto a trazione: $f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = 1,19 \text{ MPa}$
- Resistenza caratteristica a trazione per flessione: $f_{cfk} = \frac{f_{ctm}}{1,20} = 2,13 \text{ MPa}$
- Modulo di elasticità normale: $E = 22.000 \cdot [(f_{ck} + 8)/10]^{0,3} = 31.447 \text{ MPa}$

5 CARATERIZZAZIONE MECCANICA DEI TERRENI

Per la caratterizzazione meccanica dei terreni coinvolti dal volume significativo del plinto di fondazione si è fatto riferimento alla relazione geologica ed agli estratti riportati nei precedenti paragrafi.

Pertanto si considera un'unica unità con le seguenti caratteristiche meccaniche.

UNITA' A – da 0,00 m a 3,00 m

- Altezza dello strato: $H = 3,00 \text{ m}$
- Peso unità di volume: $\gamma = 1600 \text{ daN/mc}$
- Angolo di attrito: $\varphi = 24^\circ$
- Coesione: $c = 0,00 \text{ daN/cm}^2$

Non esiste alcuna falda interferente con le fondazioni in oggetto.

6 VITA NOMINALE 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 (*plinti di fondazione di pali per pubblica illuminazione*) potendosi definire un'**opera con livelli di prestazione ordinari** è = **50 anni**.

7 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 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 e della progettazione (*plinti di fondazione su infrastrutture dove possono prevedersi affollamenti significativi*) può essere associata, a vantaggio di statica, sicuramente alla **CLASSE IV**.

8 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 le opere da verificare e calcolare la vita nominale N_V **si pone pari a 50 anni** mentre il coefficiente d'uso per la **classe IV** è pari ad **2,00**. Pertanto il periodo di riferimento da utilizzare nelle verifiche si calcola nel modo seguente.

$$V_R = N_V \times C_U = 50 \times 2,00 = 100 \text{ anni}$$

9 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**

Nella fattispecie, considerando quanto desunto dalla relazione geologica, 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 da 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 pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$.

10 COMPORTAMENTO STRUTTURALE

Per le costruzioni soggette all'azione sismica, non dotate di appositi dispositivi d'isolamento e/o dissipativi, è necessario definire il comportamento strutturale. Nella fattispecie, essendo un'opera minore, si utilizza il comportamento strutturale **NON DISSIPATIVO** per il quale nella valutazione della domanda tutte le membrature e i collegamenti rimangono in campo elastico o sostanzialmente elastico; la domanda derivante dall'azione sismica e dalle altre azioni è calcolata, in funzione dello stato limite cui ci si riferisce, ma indipendentemente dalla tipologia strutturale e senza tener conto delle non linearità di materiale, attraverso un modello elastico.

11 MODELLO DELLE AZIONI ED ANALISI DEI CARICHI

Nel modello delle azioni si intende calcolare e definire tutte le azioni che nel corso della vita utile possono sollecitare la struttura. Le azioni secondo normativa che sollecitano la struttura in oggetto possono riassumersi nelle seguenti categorie:

- ✚ G Azioni permanenti;
- ✚ Q Azioni variabili,
- ✚ E Azioni sismiche.

Nei paragrafi successivi si valuteranno numericamente tutte le azioni introdotte e menzionate nel presente paragrafo.

AZIONI PERMANENTI (G)

Le azioni permanenti (G) sono quelle azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare, con sufficiente approssimazione, costanti nel tempo.

- ✘ peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1);
- ✘ peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2);
- ✘ spostamenti e deformazioni impressi, incluso il ritiro;
- ✘ presollecitazione (P).

AZIONI VARIABILI (Q)

Le azioni variabili (Q) sono quelle azioni che agiscono sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo. Le predette azioni possono essere di lunga durata se agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura. Sono dette di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura. Le tipologie sono le seguenti:

- ✘ sovraccarichi accidentali;
- ✘ azioni del vento;
- ✘ azione della neve;
- ✘ azioni della temperatura.

AZIONI SISMICHE (E)

Sono azioni che come dice la stessa parola sono derivanti dai terremoti.

11.1 AZIONE PERMANENTE DA PESO PROPRIO DEL PLINTO DI FONDAZIONE

Il peso proprio del plinto di fondazione va calcolato tenendo conto delle sezioni di ciascun elemento strutturale. Come già detto il plinto di fondazione è in calcestruzzo, ha dimensioni nette pari a 100 cm x 100 cm x h = 100 cm (**Peso totale 2400 daN in quanto lo si considera debolmente armato**)

Peso proprio del plinto di fondazione: **$G_{1,1} = 2400$ daN.**

11.2 AZIONE PERMANENTE NON STRUTTURALE

Per quanto concerne le azioni permanenti non strutturali si considera il peso proprio del palo della pubblica illuminazione ed il peso proprio dell'armatura elettrica sommitale. Come già detto in premessa il palo dell'illuminazione ha un'altezza di 5.00 metri un diametro medio pari a 87.5 mm mentre l'armatura può iscriversi in un rettangolo le cui dimensioni laterali si assumono pari a 50.0 cm x 50.0 cm per un'area impattante pari a 2500 cmq.

Il peso di siffatta armatura si stima essere pari a 10.0 daN.

Il peso proprio del palo sarà calcolato considerando il peso specifico dell'acciaio e la geometria riportata in premessa.

Pertanto, in definitiva, si ha quanto segue:

- Palo conico di altezza $H = 5.00$ m;
- Diametro alla base $D_1 = 115$ mm;
- Diametro in sommità $D_2 = 60$ mm;
- Diametro medio $D_{\text{medio}} = 87.5$ mm
- Spessore minimo $s = 3.0$ mm;
- Peso specifico acciaio $\gamma = 7850$ daN/mc

Il peso proprio del palo + armatura è pari a:

$$G_{1,2} = 10,00 + (3.14 \cdot 0,04375^2 - 3.14 \cdot 0.04075^2) \cdot 5,00 \cdot 7850 = 41,24 \text{ daN}$$

11.3 AZIONE VARIABILE INDOTTA DAL VENTO

Come già detto le azioni variabili sono quelle azioni che agiscono sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo.

Le predette azioni possono essere:

- ✗ di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
- ✗ di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura.

L'azione variabile predominante che agisce sulla struttura in oggetto è l'azione del vento di cui a seguire se ne determina il valore numerico.

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti di cui alla trattazione riportata a seguire.

VELOCITÀ BASE DI RIFERIMENTO

La velocità base di riferimento v_b è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza sul suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi tabelle 3.3.II a seguire), riferito ad un periodo di ritorno $T_R = 50$ anni. In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche, v_b è data dalla seguente espressione:

$$v_b = v_{b,0} \cdot C_a$$

$v_{b,0}$ è la velocità base di riferimento al livello del mare e si determina mediante i seguenti parametri:

- ✗ la località in esame (Città Napoli – Certosa di San Martino [più alta]) prevede $a_0 = 500$ m;
- ✗ la quota sul livello medio mare della zona dove sorgerà l'opera è pari a 251 m s.l.m.m.

quindi inferiore a 500 m pertanto la velocità base di riferimento è pari a: $v_{b,0} = 27,00 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$;

C_a è il coefficiente di altitudine ed è fornito dalla seguente relazione:

$$c_a = 1 \quad \text{per} \quad a_s < a_0$$
$$c_a = 1 + K_s \cdot \left(\frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per} \quad a_0 < a_s \leq 1500\text{m}$$

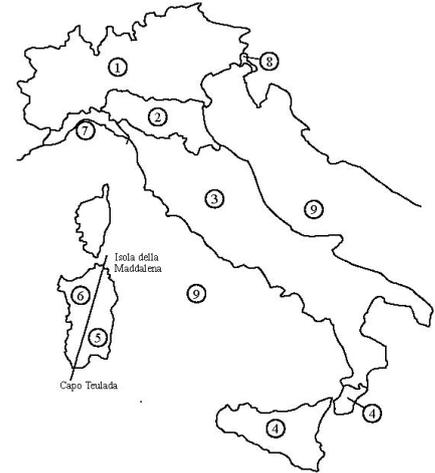
nella fattispecie $a_s < 500$ m per cui risulta $c_a = 1$ e quindi:

$$v_b = v_{b,0} = 27,00 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

Nella tabella a seguire (tabella 3.3.I) si riportano i parametri fondamentali che hanno permesso di determinare la velocità base di riferimento.

Tab. 3.3.I - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32



Nella tabella e nella figura su riportate si sono allegati i parametri fondamentali per la determinazione della velocità base di riferimento e la mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

VELOCITÀ DI RIFERIMENTO

La velocità di riferimento v_r è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza dal suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), riferito al periodo di ritorno di progetto T_R . Tale velocità è definita dalla relazione:

$$v_r = v_b \cdot C_r$$

dove:

v_b è la velocità base di riferimento ed è stata determinata precedentemente;

C_r come già detto è il coefficiente di ritorno e si calcola con la seguente relazione:

$$c_r = 0.75 \cdot \sqrt{1 - 0.2 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]}$$

dove T_R è il periodo di ritorno espresso in anni.

Ove non specificato diversamente, si assumerà $T_R = 50$ anni, cui corrisponde $C_r = 1$. Per un'opera di nuova realizzazione in fase di costruzione o per le fasi transitorie relative ad interventi sulle costruzioni esistenti, il periodo di ritorno dell'azione potrà essere ridotto come di seguito specificato:

- ✘ per fasi di costruzione o fasi transitorie con durata prevista in sede di progetto non superiore a tre mesi, si assumerà $T_R \geq 5$ anni;

- ✗ per fasi di costruzione o fasi transitorie con durata prevista in sede di progetto compresa fra tre mesi ed un anno, si assumerà $T_R \geq 10$ anni;

Nella fattispecie essendo un'opera definitiva e non avendo particolari specifiche di sorta si assumerà un $T_R = 50$ anni e quindi un $C_r = 1$.

Orbene, noti i parametri necessari, la velocità di riferimento è pari a:

$$v_r = v_b \cdot c_r = 27,00 \cdot 1,00 = 27,00 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

AZIONI STATICHE EQUIVALENTI

Le azioni del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione.

L'azione del vento sui singoli elementi che compongono la costruzione va determinata considerando la combinazione più gravosa delle pressioni agenti sulle due facce di ogni elemento.

L'azione d'insieme esercitata dal vento su una costruzione è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando come direzione del vento quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione; in casi particolari, come ad esempio per le torri a base quadrata o rettangolare, si deve considerare anche l'ipotesi di vento spirante secondo la direzione di una delle diagonali.

PRESSIONE DEL VENTO

La pressione del vento è data dalla seguente espressione.

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

dove:

q_r è la **pressione cinetica di riferimento**;

C_e è il **coefficiente di esposizione**;

C_p è il **coefficiente di pressione** (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento;

C_d è il **coefficiente dinamico** con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni

strutturali.

PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

La pressione cinetica di riferimento è data dalla seguente espressione.

$$q_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2$$

ρ è la **densità dell'aria** assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/mc;

v_r è la **velocità di riferimento** è stata analizzata e determinata precedentemente.

Pertanto, noti i parametri necessari la velocità cinetica di riferimento è pari a:

$$q_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,00^2 = 45,56 \frac{\text{daN}}{\text{mq}}$$

COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione “**C_e**” dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di $z = 200$ m, esso è dato dalla formula:

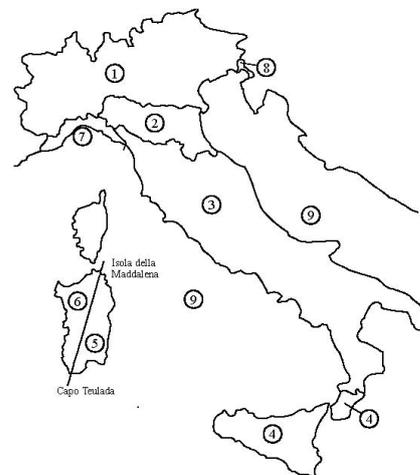
$$C_e(z) = K_f^2 \cdot c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \left[7 + c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] \quad \text{per} \quad z \geq z_{\min}$$

$$C_e(z) = C_e(z_{\min}) \quad \text{per} \quad z < z_{\min}$$

La zona in oggetto (NAPOLI – San Martino) è posta ad una distanza dalla costa di circa 1,50 km quindi minore di 10,00 km pertanto in funzione della conformazione dell'intorno del sito si ha:

Tab. 3.3.I - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32



Dalla precedente tabella si evince che la Campania (regione in oggetto) appartiene alla **zona di riferimento 3** mentre dalla tabella riportata di seguito è possibile determinare la classe di esposizione in funzioni delle condizioni al contorno.

Poiché la zona dove sorge l'opera può definirsi "Area urbana (non di classe A), suburbane, industriali e boschive" la classe di rugosità del terreno di appartenenza può definirsi **classe "B"**.

Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ...)

Orbene ricapitolando i dati ottenuti si ha quanto segue:

- ✘ Zona 3;
- ✘ Classe di rugosità B;
- ✘ Distanza dalla costa = 1,50 km < 10,00 km;
- ✘ Quota sul livello medio mare = 251,00 m < 500,00 m

e pertanto, per quanto precedentemente affermato, mediante la tabella riportata di seguito si deduce che la **classe di esposizione della zona in oggetto è la III**.

ZONE 1,2,3,4,5						
	mare	costa				
	2 km	10 km	30 km	500m	750m	
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

Inoltre avendo classificato la zona come III in conformità alla tabella riportata di seguito si ha che $z_{\min} = 5,00\text{m}$. Avendo la struttura in oggetto un'altezza media dal suolo pari a circa $z_{\text{palo}} = 5,00\text{ m} = z_{\min} = 5,00\text{ m}$ si ha che il coefficiente di esposizione è pari a quello a seguire.

Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	K_r	z_0 [m]	z_{\min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

$$C_e = K_r^2 \cdot c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \left[7 + c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right]$$

dove:

$$K_r = 0,20 \quad z_0 = 0,10\text{m} \quad z_{\minimo} = 5,00\text{ m} \quad z_{\text{palo}} = 5,00\text{ m}$$

$$C_e = 1,70$$

COEFFICIENTE DI PRESSIONE

Il coefficiente di pressione c_p dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Questo coefficiente, definito coefficiente aerodinamico, può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

Per i corpi cilindrici quali i pali della pubblica illuminazione si fa riferimento alla seguente trattazione:

Per i corpi cilindrici a sezione circolare di diametro d ed altezza h (ambedue espresse in metri) i coefficienti C_p sono i seguenti:

$$\begin{array}{ll} C_p = 1,20 & \text{per } d \cdot \sqrt{q} \leq 2,20 \\ C_p = (1,783 - 0,263 \cdot d \cdot \sqrt{q}) & \text{per } 2,20 < d \cdot \sqrt{q} < 4,20 \\ C_p = 0,70 & \text{per } 4,20 \leq d \cdot \sqrt{q} \end{array}$$

dove: $q = q_r \times C_e = 455,625 \times 1,70 = 774,56 \text{ N/mq}$

Palo per armatura stradale con $d_{\text{medio}} = 0,0875 \text{ m}$ si ha:

$$d \times (q)^{1/2} = 2,43 \text{ per cui } 2,20 < 2,43 < 4,20$$

e quindi

$$C_p = 1,783 - 0,263 \cdot 2,43 = 1,14 \quad \text{Coefficiente di pressione}$$

COEFFICIENTE DINAMICO

Il coefficiente dinamico tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1.

Pertanto l'AZIONE UNITARIA DEL VENTO è pari a:

$$P = 45,56 \times 1,70 \times 1,14 = 88,30 \text{ daN/mq}$$

Considerando il contributo del palo dell'illuminazione e considerando il contributo dell'armatura elettrica le sollecitazioni unitarie sono pari a:

$$q_{\text{palo}} = 88,30 \cdot 0,0875 = 7,75 \text{ daN/m (uniformemente distribuito lungo il palo)}$$

$$q_{\text{armatura}} = 88,30 \cdot 0,50 \cdot 0,50 = 22,10 \text{ daN (da applicare alla sommità del palo)}$$

11.4 AZIONI SISMICHE (E)

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:

- *Stato Limite di Operatività (SLO)*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- *Stato Limite di Danno (SLD)*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell’interruzione d’uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- *Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)*: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

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

Le **probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}** , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono 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%	75 anni	45
	SLD	63%		75
Stati limite ultimi	SLV	10%		712
	SLC	5%		1462

Orbene, il calcolo delle azioni sismiche sulla struttura in oggetto viene effettuato su un modello 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 **Decreto Ministeriale del 17/01/2018**.

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

F_o 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.

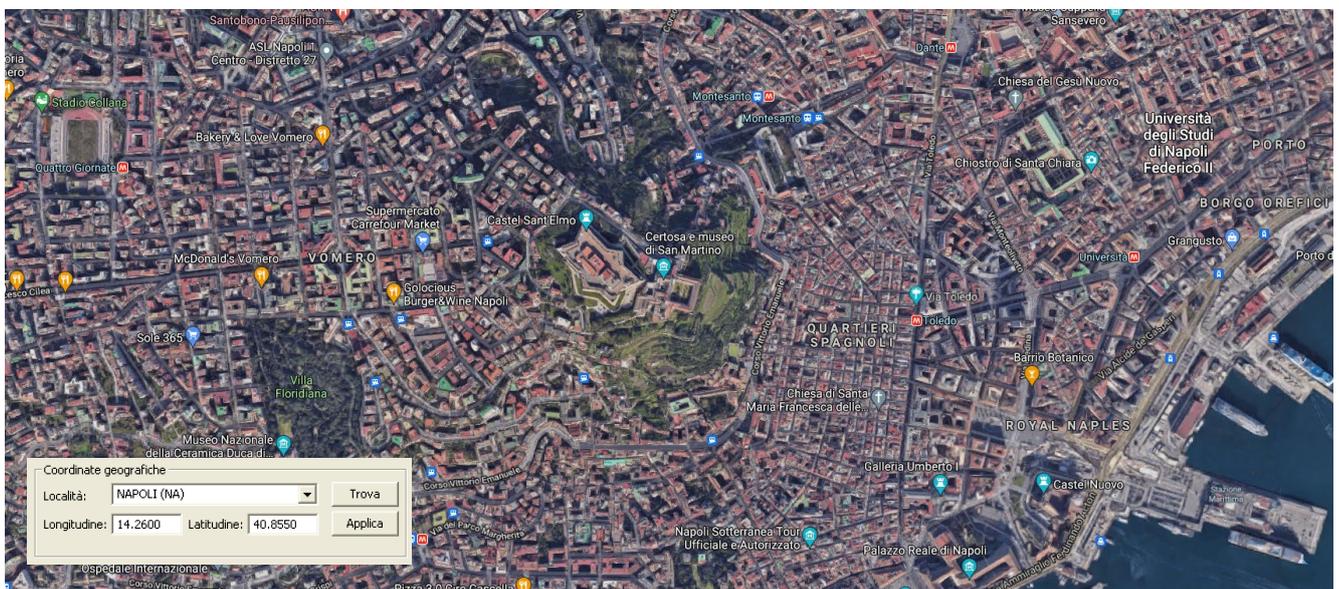
Pertanto in funzione della latitudine e della longitudine e dei tempi di ritorno T_r del sito in oggetto è possibile determinare i tre parametri introdotti precedentemente (pericolosità sismica).

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 **NAPOLI – Zona Vomero** le cui coordinate identificative sono quelle riportate nella figura seguente.



Coordinate di riferimento del sito della struttura in esame

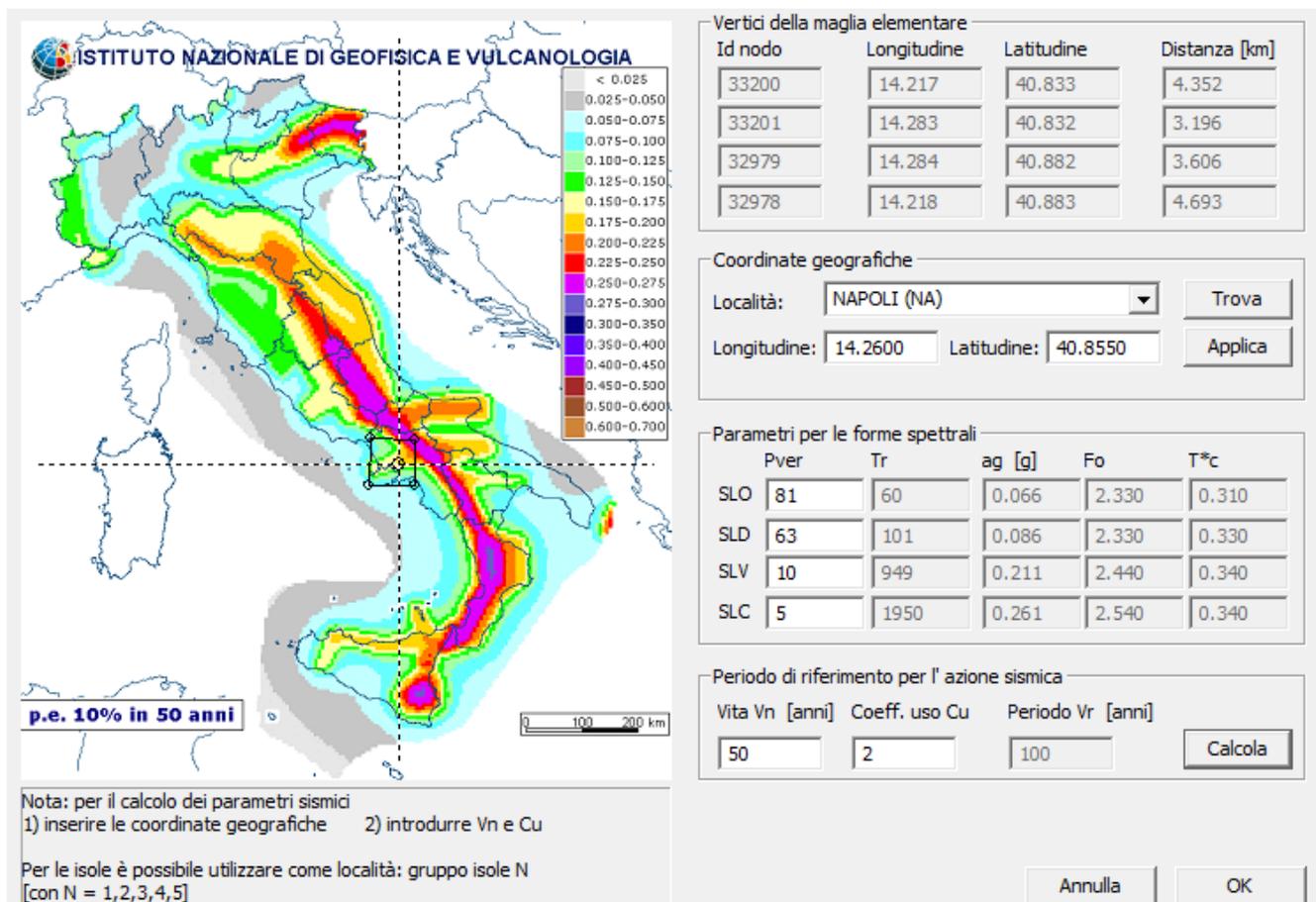
Poiché generalmente i valori delle predette coordinate non corrispondono ad alcun nodo del reticolo di riferimento (come si evince dalla figura riassuntiva riportata di seguito nella quale si riportano pure le coordinate dei nodi della maglia elementare) i valori dei parametri $p(a_g, F_0, T_c^*)$ si 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_0, 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_0 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

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

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

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

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

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_o 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 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 $S_T = 1,00$.

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali

ξ 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	0,066	0,31	2,33	1,55	0,479	0,160	1,864	1,608	1,500	1,000	1,500
63	0,086	0,33	2,33	1,51	0,500	0,167	1,944	1,580	1,500	1,000	1,500
10	0,211	0,34	2,44	1,50	0,510	0,170	2,444	1,391	1,391	1,000	1,391
5	0,261	0,34	2,54	1,50	0,510	0,170	2,644	1,302	1,302	1,000	1,302

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 assumono quelli riportati dalla normativa vigente e che di seguito si riassumono.

P_{VR}	a_g [g]	T_c^*	F_0	F_v	T_B	T_C	T_D	S_s
81	0,066	0,31	2,330	0,808	0,050	0,150	1,000	1,000
63	0,086	0,33	2,330	0,922	0,050	0,150	1,000	1,000
10	0,211	0,34	2,440	1,513	0,050	0,150	1,000	1,000
5	0,261	0,34	2,540	1,752	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).

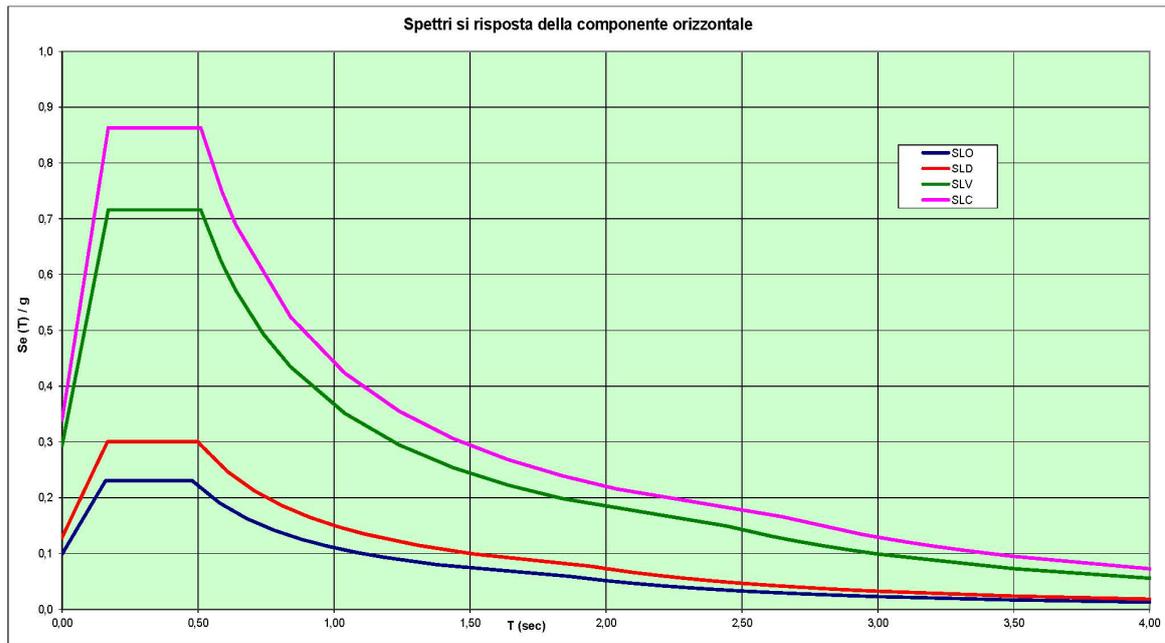
Il **Decreto Ministeriale 17/01/2018** al paragrafo 7.1 oltre a definire i concetti di capacità e domanda, ribadisce che sotto l'effetto delle azioni sismiche deve essere garantito il rispetto degli Stati Limite Ultimi (SLV e SLC) e di Esercizio (SLO e SLD) definiti nei primi paragrafi della presente 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 in tabella seguente.

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

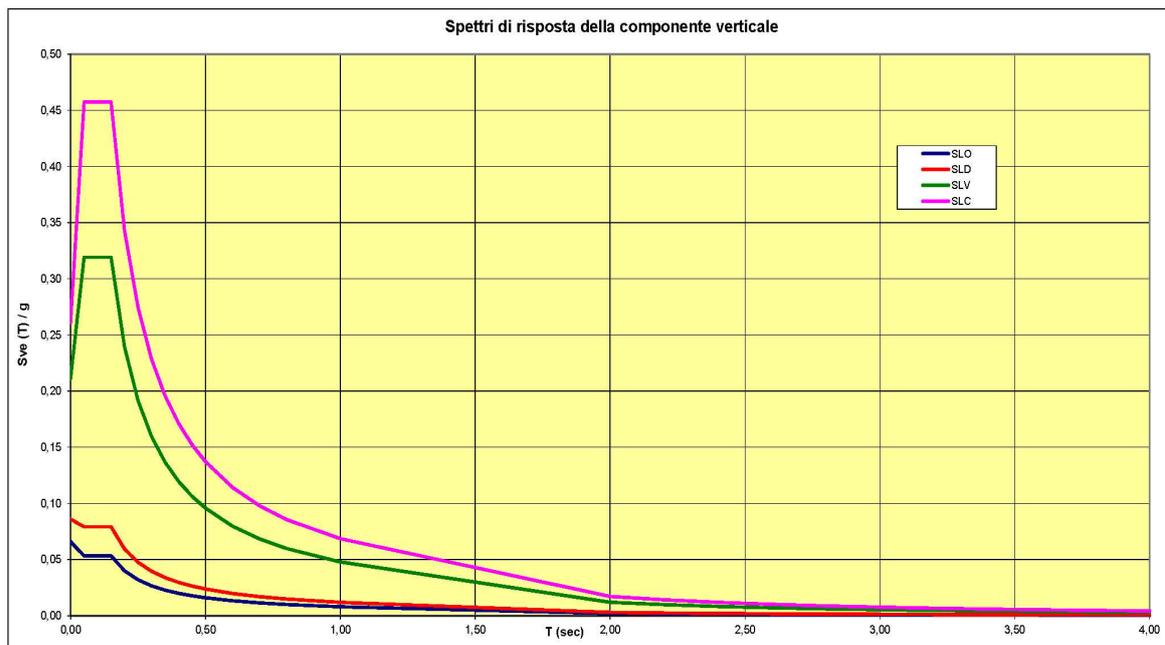
STATI LIMITE	CU I	CU II			CU III e IV		
	ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM ^(*)
SLE	SLO				RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG		RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT ^(*)		DUT ^(*)		

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. Gli spettri elastici e di progetto relativamente a SLV, SLD e SLO si riportano nelle pagine a seguire.

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 **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.

SLO orizzontale		SLD orizzontale		SLV orizzontale		SLC orizzontale	
Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta
0,0000	0,0990	0,0000	0,1290	0,0000	0,2935	0,0000	0,3398
0,0500	0,1401	0,0500	0,1804	0,0500	0,4178	0,0500	0,4937
0,1600	0,2307	0,1670	0,3006	0,1700	0,7161	0,1700	0,8631
0,1800	0,2307	0,2500	0,3006	0,2500	0,7161	0,2500	0,8631
0,4790	0,2307	0,5000	0,3006	0,5100	0,7161	0,5100	0,8631
0,4800	0,2302	0,5050	0,2976	0,5800	0,6297	0,5880	0,7486
0,4850	0,2278	0,5100	0,2947	0,6000	0,6087	0,5900	0,7461
0,5800	0,1905	0,6100	0,2464	0,6400	0,5707	0,6400	0,6878
0,6800	0,1625	0,7100	0,2117	0,7400	0,4936	0,8400	0,5241
0,7800	0,1417	0,8100	0,1855	0,8400	0,4348	1,0400	0,4233
0,8800	0,1256	0,9100	0,1651	1,0400	0,3512	1,2400	0,3550
0,9800	0,1127	1,0100	0,1488	1,2400	0,2945	1,4400	0,3057
1,0800	0,1023	1,1100	0,1354	1,4400	0,2536	1,6400	0,2684
1,1800	0,0936	1,3100	0,1147	1,6400	0,2227	1,8400	0,2392
1,3800	0,0801	1,5100	0,0995	1,8400	0,1985	2,0400	0,2158
1,8640	0,0593	1,9440	0,0773	2,4440	0,1494	2,6440	0,1665
2,0000	0,0515	2,0000	0,0730	2,6000	0,1320	2,9400	0,1347
2,1000	0,0467	2,1000	0,0662	2,6100	0,1310	2,9500	0,1337
2,2000	0,0426	2,2000	0,0604	2,6200	0,1300	2,9600	0,1328
2,3000	0,0389	2,3000	0,0552	2,6300	0,1291	2,9700	0,1319
2,4000	0,0358	2,4000	0,0507	2,6500	0,1271	2,9800	0,1311
2,5000	0,0330	2,5000	0,0467	2,6600	0,1262	2,9900	0,1302
2,6000	0,0305	2,6000	0,0432	2,6700	0,1252	3,0000	0,1293
2,7000	0,0283	2,7000	0,0401	2,7000	0,1224	3,1000	0,1211
2,8000	0,0263	2,8000	0,0373	2,8000	0,1139	3,2000	0,1137
2,9000	0,0245	2,9000	0,0347	2,9000	0,1061	3,3000	0,1069
3,0000	0,0229	3,0000	0,0325	3,0000	0,0992	3,4000	0,1007
3,5000	0,0168	3,5000	0,0238	3,5000	0,0729	3,5000	0,0950
4,0000	0,0129	4,0000	0,0183	4,0000	0,0558	4,0000	0,0727

→ Tb

→ Tc

→ Td

SLO verticale		SLD verticale		SLV verticale		SLC verticale	
Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta
0,0000	0,0660	0,0000	0,0860	0,0000	0,2110	0,0000	0,2610
0,0250	0,0597	0,0250	0,0826	0,0250	0,2651	0,0250	0,3591
0,0500	0,0533	0,0500	0,0793	0,0500	0,3192	0,0500	0,4573
0,1000	0,0533	0,1000	0,0793	0,1000	0,3192	0,1000	0,4573
0,1500	0,0533	0,1500	0,0793	0,1500	0,3192	0,1500	0,4573
0,2000	0,0400	0,2000	0,0595	0,2000	0,2394	0,2000	0,3430
0,2500	0,0320	0,2500	0,0476	0,2500	0,1915	0,2500	0,2744
0,3000	0,0267	0,3000	0,0396	0,3000	0,1596	0,3000	0,2286
0,3500	0,0229	0,3500	0,0340	0,3500	0,1368	0,3500	0,1960
0,4000	0,0200	0,4000	0,0297	0,4000	0,1197	0,4000	0,1715
0,4500	0,0178	0,4500	0,0264	0,4500	0,1064	0,4500	0,1524
0,5000	0,0160	0,5000	0,0238	0,5000	0,0958	0,5000	0,1372
0,6000	0,0133	0,6000	0,0198	0,6000	0,0798	0,6000	0,1143
0,7000	0,0114	0,7000	0,0170	0,7000	0,0684	0,7000	0,0980
0,8000	0,0100	0,8000	0,0149	0,8000	0,0599	0,8000	0,0857
1,0000	0,0080	1,0000	0,0119	1,0000	0,0479	1,0000	0,0686
2,0000	0,0020	2,0000	0,0030	2,0000	0,0120	2,0000	0,0171
2,2000	0,0017	2,2000	0,0025	2,2000	0,0099	2,2000	0,0142
2,4000	0,0014	2,4000	0,0021	2,4000	0,0083	2,4000	0,0119
2,6000	0,0012	2,6000	0,0018	2,6000	0,0071	2,6000	0,0101
2,8000	0,0010	2,8000	0,0015	2,8000	0,0061	2,8000	0,0087
3,0000	0,0009	3,0000	0,0013	3,0000	0,0053	3,0000	0,0076
3,2000	0,0008	3,2000	0,0012	3,2000	0,0047	3,2000	0,0067
3,4000	0,0007	3,4000	0,0010	3,4000	0,0041	3,4000	0,0059
3,6000	0,0006	3,6000	0,0009	3,6000	0,0037	3,6000	0,0053
3,8000	0,0006	3,8000	0,0008	3,8000	0,0033	3,8000	0,0048
4,0000	0,0005	4,0000	0,0007	4,0000	0,0030	4,0000	0,0043

→ 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 η 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)

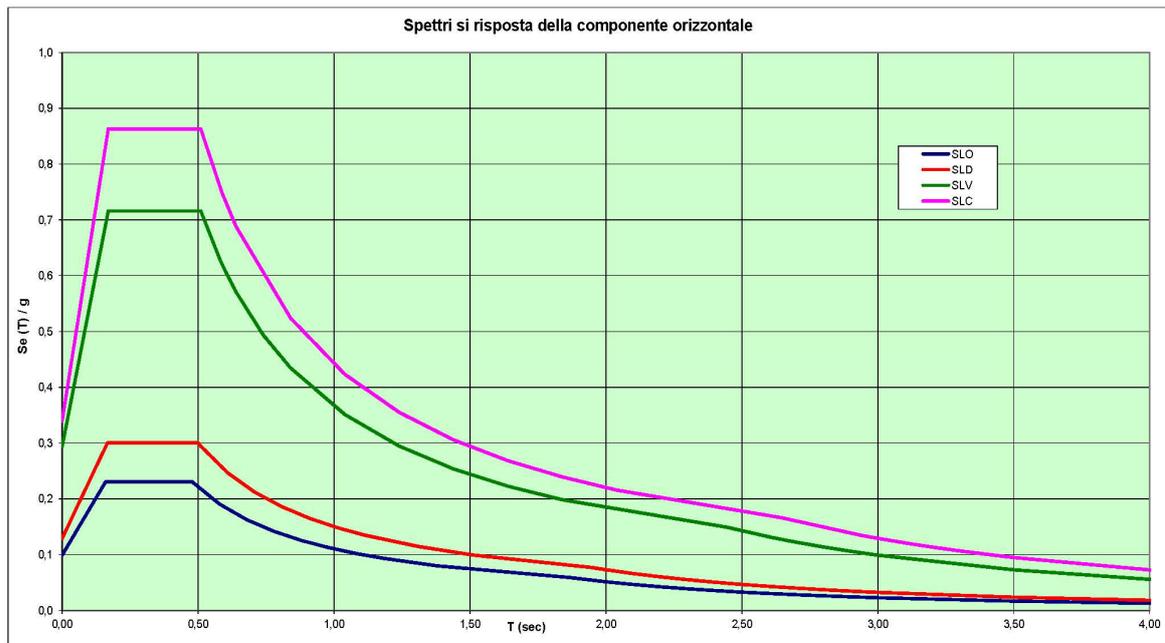
$$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot (1/q) \cdot F_v \cdot \left(\frac{T}{T_B} + \frac{q}{F_v} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right) \quad 0 \leq T < T_B$$

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

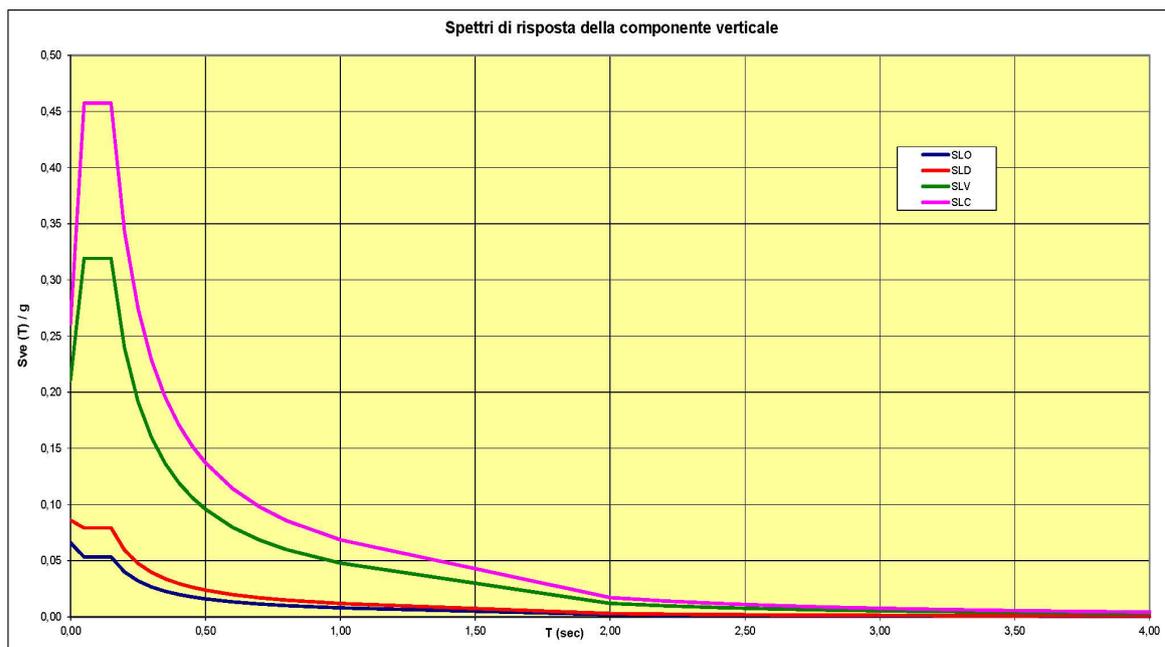
$$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot (1/q) \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \quad T_C \leq T < T_D$$

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

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



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 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	0,0990	0,0000	0,1290	0,0000	0,2935	0,0000	0,3398
0,0500	0,1401	0,0500	0,1804	0,0500	0,4178	0,0500	0,4937
0,1600	0,2307	0,1670	0,3006	0,1700	0,7161	0,1700	0,8631
0,1800	0,2307	0,2500	0,3006	0,2500	0,7161	0,2500	0,8631
0,4790	0,2307	0,5000	0,3006	0,5100	0,7161	0,5100	0,8631
0,4800	0,2302	0,5050	0,2976	0,5800	0,6297	0,5880	0,7486
0,4850	0,2278	0,5100	0,2947	0,6000	0,6087	0,5900	0,7461
0,5800	0,1905	0,6100	0,2464	0,6400	0,5707	0,6400	0,6878
0,6800	0,1625	0,7100	0,2117	0,7400	0,4936	0,8400	0,5241
0,7800	0,1417	0,8100	0,1855	0,8400	0,4348	1,0400	0,4233
0,8800	0,1256	0,9100	0,1651	1,0400	0,3512	1,2400	0,3550
0,9800	0,1127	1,0100	0,1488	1,2400	0,2945	1,4400	0,3057
1,0800	0,1023	1,1100	0,1354	1,4400	0,2536	1,6400	0,2684
1,1800	0,0936	1,3100	0,1147	1,6400	0,2227	1,8400	0,2392
1,3800	0,0801	1,5100	0,0995	1,8400	0,1985	2,0400	0,2158
1,8640	0,0593	1,9440	0,0773	2,4440	0,1494	2,6440	0,1665
2,0000	0,0515	2,0000	0,0730	2,6000	0,1320	2,9400	0,1347
2,1000	0,0467	2,1000	0,0662	2,6100	0,1310	2,9500	0,1337
2,2000	0,0426	2,2000	0,0604	2,6200	0,1300	2,9600	0,1328
2,3000	0,0389	2,3000	0,0552	2,6300	0,1291	2,9700	0,1319
2,4000	0,0358	2,4000	0,0507	2,6500	0,1271	2,9800	0,1311
2,5000	0,0330	2,5000	0,0467	2,6600	0,1262	2,9900	0,1302
2,6000	0,0305	2,6000	0,0432	2,6700	0,1252	3,0000	0,1293
2,7000	0,0283	2,7000	0,0401	2,7000	0,1224	3,1000	0,1211
2,8000	0,0263	2,8000	0,0373	2,8000	0,1139	3,2000	0,1137
2,9000	0,0245	2,9000	0,0347	2,9000	0,1061	3,3000	0,1069
3,0000	0,0229	3,0000	0,0325	3,0000	0,0992	3,4000	0,1007
3,5000	0,0168	3,5000	0,0238	3,5000	0,0729	3,5000	0,0950
4,0000	0,0129	4,0000	0,0183	4,0000	0,0558	4,0000	0,0727

→ Tb

→ Tc

→ Td

SLO verticale		SLD verticale		SLV verticale		SLC verticale	
Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta	Periodo	Risposta
0,0000	0,0660	0,0000	0,0860	0,0000	0,2110	0,0000	0,2610
0,0250	0,0597	0,0250	0,0826	0,0250	0,2651	0,0250	0,3591
0,0500	0,0533	0,0500	0,0793	0,0500	0,3192	0,0500	0,4573
0,1000	0,0533	0,1000	0,0793	0,1000	0,3192	0,1000	0,4573
0,1500	0,0533	0,1500	0,0793	0,1500	0,3192	0,1500	0,4573
0,2000	0,0400	0,2000	0,0595	0,2000	0,2394	0,2000	0,3430
0,2500	0,0320	0,2500	0,0476	0,2500	0,1915	0,2500	0,2744
0,3000	0,0267	0,3000	0,0396	0,3000	0,1596	0,3000	0,2286
0,3500	0,0229	0,3500	0,0340	0,3500	0,1368	0,3500	0,1960
0,4000	0,0200	0,4000	0,0297	0,4000	0,1197	0,4000	0,1715
0,4500	0,0178	0,4500	0,0264	0,4500	0,1064	0,4500	0,1524
0,5000	0,0160	0,5000	0,0238	0,5000	0,0958	0,5000	0,1372
0,6000	0,0133	0,6000	0,0198	0,6000	0,0798	0,6000	0,1143
0,7000	0,0114	0,7000	0,0170	0,7000	0,0684	0,7000	0,0980
0,8000	0,0100	0,8000	0,0149	0,8000	0,0599	0,8000	0,0857
1,0000	0,0080	1,0000	0,0119	1,0000	0,0479	1,0000	0,0686
2,0000	0,0020	2,0000	0,0030	2,0000	0,0120	2,0000	0,0171
2,2000	0,0017	2,2000	0,0025	2,2000	0,0099	2,2000	0,0142
2,4000	0,0014	2,4000	0,0021	2,4000	0,0083	2,4000	0,0119
2,6000	0,0012	2,6000	0,0018	2,6000	0,0071	2,6000	0,0101
2,8000	0,0010	2,8000	0,0015	2,8000	0,0061	2,8000	0,0087
3,0000	0,0009	3,0000	0,0013	3,0000	0,0053	3,0000	0,0076
3,2000	0,0008	3,2000	0,0012	3,2000	0,0047	3,2000	0,0067
3,4000	0,0007	3,4000	0,0010	3,4000	0,0041	3,4000	0,0059
3,6000	0,0006	3,6000	0,0009	3,6000	0,0037	3,6000	0,0053
3,8000	0,0006	3,8000	0,0008	3,8000	0,0033	3,8000	0,0048
4,0000	0,0005	4,0000	0,0007	4,0000	0,0030	4,0000	0,0043

→ Tb

→ Tc

→ Td

12 CONCLUSIONI

Dalle analisi condotte, i cui risultati sono stati esplicitati nei precedenti paragrafi, si evince che il plinto di fondazione oggetto dell'analisi, esaminato sotto l'effetto delle azioni verticali ed orizzontali si trova sempre in condizioni di equilibrio stabile e le caratteristiche della sollecitazione, indotte in ogni elemento di esso ed in ogni punto, risulta compatibile per i materiali ipotizzati in progetto. Il progetto presentato è stato redatto di concerto con il Committente nel rispetto delle seguenti normative.

DECRETO MINISTERIALE LL. PP. 17 gennaio 2018:

Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" su Supplemento Ordinario n°42 della Gazzetta Ufficiale del 20 febbraio 2018.

CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP:

Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

12.1 TIPO DI ANALISI SVOLTA

L'analisi strutturale e le verifiche sono state condotte con i metodi della scienza delle costruzioni e con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

La verifica della sicurezza degli elementi strutturali avviene con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è stata condotta con l'analisi statica lineare utilizzando il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi statici. L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è stata condotta con il metodo dell'analisi dinamica modale e dello spettro di risposta in termini di accelerazione secondo le disposizioni dei capitoli 3 e 7 del DM. 17/01/2088.

L'analisi strutturale è stata effettuata con il metodo degli elementi finiti.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limiti.

Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

12.2 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

Di seguito si indicano l'origine e le caratteristiche del codice di calcolo utilizzato riportando titolo, produttore e distributore, versione, estremi della licenza d'uso: **PRO_SAP Professional Structural**, con solutore **e-sap prodotto dalla 2si s.p.a.** Il codice è corredato di certificazione di affidabilità così come previsto dal D.M. 17/01/2018 (paragrafo 10.2) la licenza d'uso è (**chiave dsi 3632 – Numero seriale I241113X88621H8**).

12.3 AFFIDABILITA' DEI CODICI DI CALCOLO

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico.

La società produttrice, ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

12.4 VALIDAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO

La struttura in progetto NON è relativa ad un'opera di particolare importanza, ritenute tali dal committente, per questo NON sono stati eseguiti controlli incrociati sui risultati di calcolo attraverso l'esecuzione nuovamente dei calcoli da soggetto, prescelto dal Committente, diverso da quello originario mediante programmi di calcolo diversi da quelli usati originariamente.

12.5 MODALITA' DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. In particolare la relazione di calcolo oltre a illustrare in modo esaustivo i dati in ingresso e i risultati delle analisi in forma tabellare, riporta una serie di immagini, almeno per le parti più sollecitate della struttura, tale da avere una sintesi completa e efficace del comportamento della struttura per ogni tipo di analisi svolta.

12.6 INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE

Il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione, del non rispetto delle limitazioni geometriche e di armatura e della presenza di elementi non verificati. Al termine dell'analisi un controllo automatico identifica la presenza di spostamenti o rotazioni abnormi. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabulare, la quasi totalità dei dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

12.7 GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli che ne comprovano l'attendibilità. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, anche in fase di primo proporzionamento della struttura.

Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è

valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto detto, si può asserire che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Il progettista delle strutture