



AMBITO 4 PROGETTO DI INTERFACCIA PORTO CITTA'
**INTERVENTI PER LA FRUIBILITA' PROTETTA DELLA PASSEGGIATA
SUL MARE IN CORRISPONDENZA DEL MOLO DI PONENTE**
PROGETTO DEFINITIVO



PROGETTAZIONE:



Il Direttore Tecnico
Dott. Ing. Stefano PALLAVICINI



Il Direttore Tecnico
Dott. Ing. Antonino SUTERA

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PROGER MANAGER E RESPONSABILE INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: | Dott. Ing. Carlo LISTORTI Dott. Ing. Roberto D'ORAZIO |
| RESPONSABILE DI PROGETTO: | Dott. Ing. Antonino SUTERA |
| SUPPORTO SPECIALISTICO OPERE MARITTIME: | Dott. Ing. Franco GRIMALDI |
| SUPPORTO SPECIALISTICO WATERFRONT: | Dott. Ing. Paolo VIOLA Dott. Arch. Giacomo GUARNERI Dott. Arch. Andrea ANGELI Dott. Arch. Francesca GANGEMI |
| SUPPORTO MODELLAZIONE MOTO ONDOSO: | Dott. Ing. Andrea PEDRONCINI Dott. Ing. Davide PERSI |
| RESPONSABILE STRUTTURE: | Dott. Ing. Stefano PALLAVICINI |
| GEOLOGIA: | Dott. Geol. Mario MASCARUCCI |
| GEOTECNICA: | Dott. Ing. Ylenia MASCARUCCI |
| SUPPORTO SPEC. GEOLOGIA E GEOTECNICA: | Dott. Ing. Paolo MARCELLINO |
| RESPONSABILE AMBIENTE: | Dott. Ing. Marco SANDRUCCI Dott. Ing. Vincenzo IACOPINO |
| SUPPORTO SPECIALISTICO RAPPORTI ENTI: | Dott. Ing. Diego NESPOLO |
| COORDINATORE PER LA SICUREZZA: | Dott. Ing. Giuseppe BERNARDO |

D.03

RELAZIONE SISMICA

Questo elaborato è di proprietà della Proger S.p.A. pertanto non può essere riprodotto né integralmente, né in parte senza l'autorizzazione scritta della stessa. Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito.

| Nome File | Scala | Commessa | Codice Elaborato | | | | | |
|--------------------|-------|----------|------------------|----|----|---|----|----|
| DNC113_PD_D.03.dwg | | P18062 | D | 00 | 00 | G | RL | 04 |

| REVISIONI | REV. n° | DATA | MOTIVAZIONE | REDATTO | CONTROLLATO | APPROVATO |
|-----------|---------|------------|-------------|---------|-------------|-----------|
| | 00 | 20/06/2019 | | | | |

R.U.P.:

Geom. Domenico CIAVARELLA

VISTI/APPROVAZIONI:

INDICE

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | PREMESSA | 2 |
| 2 | QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO | 3 |
| 3 | CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO | 4 |
| 3.1 | <i>VALUTAZIONE "PERICOLOSITÀ SISMICA"</i> | 4 |
| 3.2 | <i>VALUTAZIONE TEMPO DI RITORNO TR</i> | 5 |
| 3.2.1 | <i>Periodo di riferimento Vr</i> | 5 |
| 3.2.2 | <i>Probabilità di superamento dello stato limite richiesto</i> | 5 |
| 3.3 | <i>DEFINIZIONE DELLA TERNA DI VALORI A_g, F_0, T^*_c</i> | 6 |
| 3.4 | <i>EFFETTO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE</i> | 7 |
| 3.4.1 | <i>Categoria di sottosuolo</i> | 7 |
| 3.4.2 | <i>Condizione topografica</i> | 7 |
| 3.5 | <i>TERMINI DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E TOPOGRAFICA</i> | 8 |
| 4 | CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELLE STRUTTURE | 9 |
| 5 | SPETTRI DI PROGETTO | 10 |
| 6 | METODO DI ANALISI | 13 |
| 6.1 | <i>ANALISI STATICA</i> | 13 |
| 6.2 | <i>CALCOLO SPINTA SISMICA DEL TERRENO</i> | 14 |
| 6.3 | <i>COMBINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA</i> | 16 |

PROGETTAZIONE:



Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale – Porti di La Spezia e Marina di Carrara

AMBITO 4 PROGETTO INTERFACCIA PORTO CITTA'

Interventi per la fruibilità protetta della passeggiata sul mare in corrispondenza del Molo di Ponente

PROGETTO DEFINITIVO

D.03 – RELAZIONE SISMICA

1 PREMESSA

Il progetto in esame riguarda i lavori inerenti gli *“Interventi per la fruibilità protetta della passeggiata sul mare in corrispondenza del Molo di Ponente”*.

La presente relazione pone l'attenzione sull'analisi del grado di sismicità dell'area oggetto degli interventi ed i parametri sismici relativi alle strutture di rinforzo previste in progetto.

Nel seguito, verranno evidenziati dapprima tutti i parametri generali legati alla sismicità dell'area dell'intervento, per poi passare al livello di importanza delle opere e scendere infine nel dettaglio della progettazione sismica in termini di metodi di analisi e spettri di progetto adottati.

PROGETTAZIONE:



Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale – Porti di La Spezia e Marina di Carrara

AMBITO 4 PROGETTO INTERFACCIA PORTO CITTA'

Interventi per la fruibilità protetta della passeggiata sul mare in corrispondenza del Molo di Ponente

PROGETTO DEFINITIVO

D.03 – RELAZIONE SISMICA

2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Ad oggi risultano vigenti le seguenti normative:

- DM.17/01/2018 “*Norme tecniche delle Costruzioni (NTC)*”
- CIRCOLARE n° 7 2019,
- Eurocodici in versione normata UNI

3 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

3.1 Valutazione “pericolosità sismica”

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 normativa adottata (D.M. 17/01/18 Testo Unico – Norme tecniche per le costruzioni) suddivide il territorio nazionale in un reticolo di punti di coordinate geografiche assegnate. Per ogni punto del reticolo vengono assegnate le 9 terne di valori, in funzione di determinati valori del periodo di ritorno (T_R):

$$a_g \quad F_o \quad T_c^*$$

dove:

- a_g è l’accelerazione orizzontale massima al sito su suolo di riferimento rigido.
- F_o è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T_c^* è il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tutte le opere rientrano nel seguente comune:


- **Comune di Carrara – Provincia di Massa Carrara**

La posizione geografica di riferimento del comune rientra all’interno di una specifica quaterna di punti notevoli del reticolo.

Interpolando i valori si ottengono le terne di valori, per i periodi di ritorno di riferimento, specifiche per il comune in oggetto.

Comune di Carrara

| T_R [anni] | a_g [g] | F_o [-] | T_c^* [s] |
|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| 30 | 0.045 | 2.490 | 0.233 |
| 50 | 0.056 | 2.508 | 0.250 |
| 72 | 0.065 | 2.506 | 0.262 |
| 101 | 0.075 | 2.504 | 0.269 |
| 140 | 0.085 | 2.503 | 0.275 |
| 201 | 0.099 | 2.462 | 0.280 |
| 475 | 0.137 | 2.413 | 0.292 |
| 975 | 0.177 | 2.373 | 0.299 |
| 2475 | 0.235 | 2.390 | 0.316 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PROGETTAZIONE:  | <p style="text-align: center;"><i>Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale – Porti di La Spezia e Marina di Carrara</i></p> <p style="text-align: center;">AMBITO 4 PROGETTO INTERFACCIA PORTO CITTA'</p> <p style="text-align: center;">Interventi per la fruibilità protetta della passeggiata sul mare in corrispondenza del Molo di Ponente</p> <p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO D.03 – RELAZIONE SISMICA</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

3.2 Valutazione tempo di ritorno T_r

Per la scelta del periodo di ritorno da utilizzare, intervengono 2 fattori: la valutazione del periodo di riferimento (V_r) e la probabilità di superamento dello stato limite di progetto (P_{VR}), ovvero la richiesta prestazionale che la struttura deve soddisfare.

3.2.1 Periodo di riferimento V_r

Il periodo di riferimento (V_r) dell'evento sismico viene definito (par n.2.4.3 – NTC 18) come prodotto tra la vita nominale (V_n) ed il coefficiente d'uso (C_u) ottenendo:

$$V_r = V_n \times C_u$$

Considerando per tutte le opere un'importanza normale, il termine V_n (vita nominale dell'opera), definito al par 2.4.1 delle NTC 18, è stato preso pari a 50 anni.

La classe d'uso III, definita al par 2.4.2, relativa alle opere appartenenti a reti viarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, fornisce un coefficiente d'uso C_u pari a 1.5.

Per quanto detto, il periodo di riferimento V_r assume valore:

$$V_r = 50 \times 1.5 = 75 \text{ anni}$$

3.2.2 Probabilità di superamento dello stato limite richiesto

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 e 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 per gli stati limite considerati, sono riportate nella tabella successiva:

| Stati Limite | P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R | |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81% |
| | SLD | 63% |
| Stati limite ultimi | SLV | 10% |
| | SLC | 5% |

Tabella 1 – Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato - Rif. Tab. 3.2.I D.M. 17/01/2018

Nelle NTC 18, al capitolo 7.1, sotto l'effetto dell'azione sismica si considerano rispettati tutti gli **stati limite di esercizio** qualora sia rispettato il solo **SLD**. Per quanto riguarda invece le verifiche in termine di **stati limite ultimi**, è sufficiente che sia rispettato il solo **SLV**.

3.3 Definizione della terna di valori a_g, F_0, T^*c

In ultima analisi, le scelte progettuali, introdotte ai due paragrafi precedenti, definiscono la massima accelerazione orizzontale al sito su suolo di riferimento rigido, orizzontale e privo di ostacoli:

Comune di Carrara

Valori dei parametri a_g, F_0, T_C^* per i periodi di ritorno T_R

| SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_C^* [s] |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLO | 45 | 0,054 | 2,504 | 0,247 |
| SLD | 75 | 0,066 | 2,506 | 0,263 |
| SLV | 712 | 0,158 | 2,390 | 0,296 |
| SLC | 1462 | 0,200 | 2,380 | 0,306 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PROGETTAZIONE:  | <i>Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale – Porti di La Spezia e Marina di Carrara</i> AMBITO 4 PROGETTO INTERFACCIA PORTO CITTA' Interventi per la fruibilità protetta della passeggiata sul mare in corrispondenza del Molo di Ponente PROGETTO DEFINITIVO D.03 – RELAZIONE SISMICA |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

3.4 Effetto della risposta sismica locale

Occorre valutare le condizioni geomorfologiche del sito che interessa le opere. Le NTC 18 individuano 2 parametri amplificativi dell'azione sismica, riferiti al tipo di sottosuolo (S_s) ed alla condizione topografica (S_t).

3.4.1 Categoria di sottosuolo

In funzione della rigidità del terreno le NTC 18 definiscono 5 categorie di sottosuolo, riportate nella seguente tabella:

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

Tabella 2 – Categorie di sottosuolo – Rif. Tab. 3.2.II D.M. 17/01/2018

La categoria di rigidità del terreno è stata valutata in riferimento all'elaborato D.02 – *Relazione geologica*, parte integrante del progetto, e risulta essere pari alla categoria di sottosuolo C.

3.4.2 Condizione topografica

In funzione della composizione topografica del sito delle opere le NTC 18 suddividono il territorio in 4 categorie, come riportato nella seguente tabella:

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

Tabella 3 – Categorie topografiche – Rif. Tab. 3.2.III D.M. 17/01/2018

Le aree in oggetto rientrano nella categoria topografica T1.

3.5 Termini di amplificazione stratigrafica e topografica

In diretta correlazione con il precedente capitolo 3.4, vengono definiti il coefficiente di amplificazione stratigrafica correlato alla categoria di sottosuolo (S_s) ed il coefficiente di amplificazione topografica correlato alla condizione topografica (S_t).

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_o e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella seguente tabella, dove g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi:

| Categoria sottosuolo | S_s | C_c |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------|
| A | 1,00 | 1,00 |
| B | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$ |
| C | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$ |
| D | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$ |
| E | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$ |

Tabella 4 – Espressioni di S_s e C_c – Rif. Tab. 3.2.IV D.M. 17/01/2018

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

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento | S_T |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| T1 | - | 1,0 |
| T2 | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2 |
| T3 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30° | 1,2 |
| T4 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30° | 1,4 |

Tabella 5 – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T – Rif. Tab. 3.2.V D.M. 17/01/2018

In funzione della categoria topografica T1, viene determinato un valore massimo del coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1$.

4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELLE STRUTTURE

Vista l'elevata rigidità della struttura si considera che il movimento del terreno venga trasmesso alla struttura senza subire sfasamenti, altresì si considera un periodo proprio di oscillazione delle strutture prossimo allo 0.

Per questo motivo, ed in accordo con la normativa tecnica adottata, il comportamento della struttura sotto l'effetto sismico non prende in conto i parametri q (fattore di duttilità della tipologia struttura) e ξ (fattore di duttilità funzione del materiale), in quanto tali parametri influenzano la risposta sismica solo nel caso in cui un'opera può oscillare con un proprio periodo diverso da quello del suolo ($T > 0$).

Per completezza nella trattazione, ed ai fini della redazione dello spettro di progetto utilizzato, i due valori precedenti vengono posti in una configurazione di default, rispettivamente pari a 1 e 5%.

5 SPETTRI DI PROGETTO

Lo spettro di progetto utilizzato ha come ipotesi alla base:

- Smorzamento ξ non considerato (Posto pari a 5%)
- Fattore di struttura componenti orizzontali non considerato (Posto pari a 1)
- Fattore di struttura componenti verticali posto pari a 1

Si riporta qui in seguito lo spettro di progetto utilizzato per le opere in oggetto.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
10.0617

LATITUDINE
44.0639

Ricerca per comune

REGIONE
Toscana

PROVINCIA
Massa-Carrara

COMUNE
Carrara

Elaborazioni grafiche

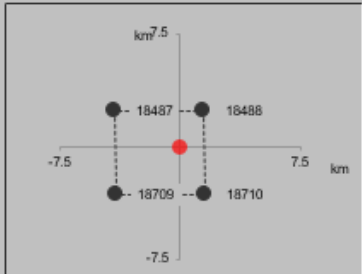
Grafici spettri di risposta

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 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 - $P_{VR} = 81\%$ | 45 |
| SLD - $P_{VR} = 63\%$ | 75 |
| Stati limite ultimi - SLU | |
| SLV - $P_{VR} = 10\%$ | 712 |
| SLC - $P_{VR} = 5\%$ | 1462 |

Elaborazioni

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

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo info

Categoria topografica info

$S_S = 1,473$ $C_C = 1,569$ info

$h/H = 0,000$ $S_T = 1,000$ info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE) Spettro di progetto inelastico (SLU)

Smorzamento ξ (%) $\eta = 1,000$ info

Fattore q_0 Regol. in altezza info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore q $\eta = 1,000$ info

Elaborazioni

- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

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

Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV |
|--------------|---------|
| a_g | 0,158 g |
| F_0 | 2,390 |
| T_C | 0,296 s |
| S_S | 1,473 |
| C_C | 1,569 |
| S_T | 1,000 |
| q | 1,000 |

Parametri dipendenti

| | |
|--------|---------|
| S | 1,473 |
| η | 1,000 |
| T_B | 0,155 s |
| T_C | 0,464 s |
| T_D | 2,233 s |

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_C / 3$$

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

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$$

Espressioni dello spettro di risposta

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

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

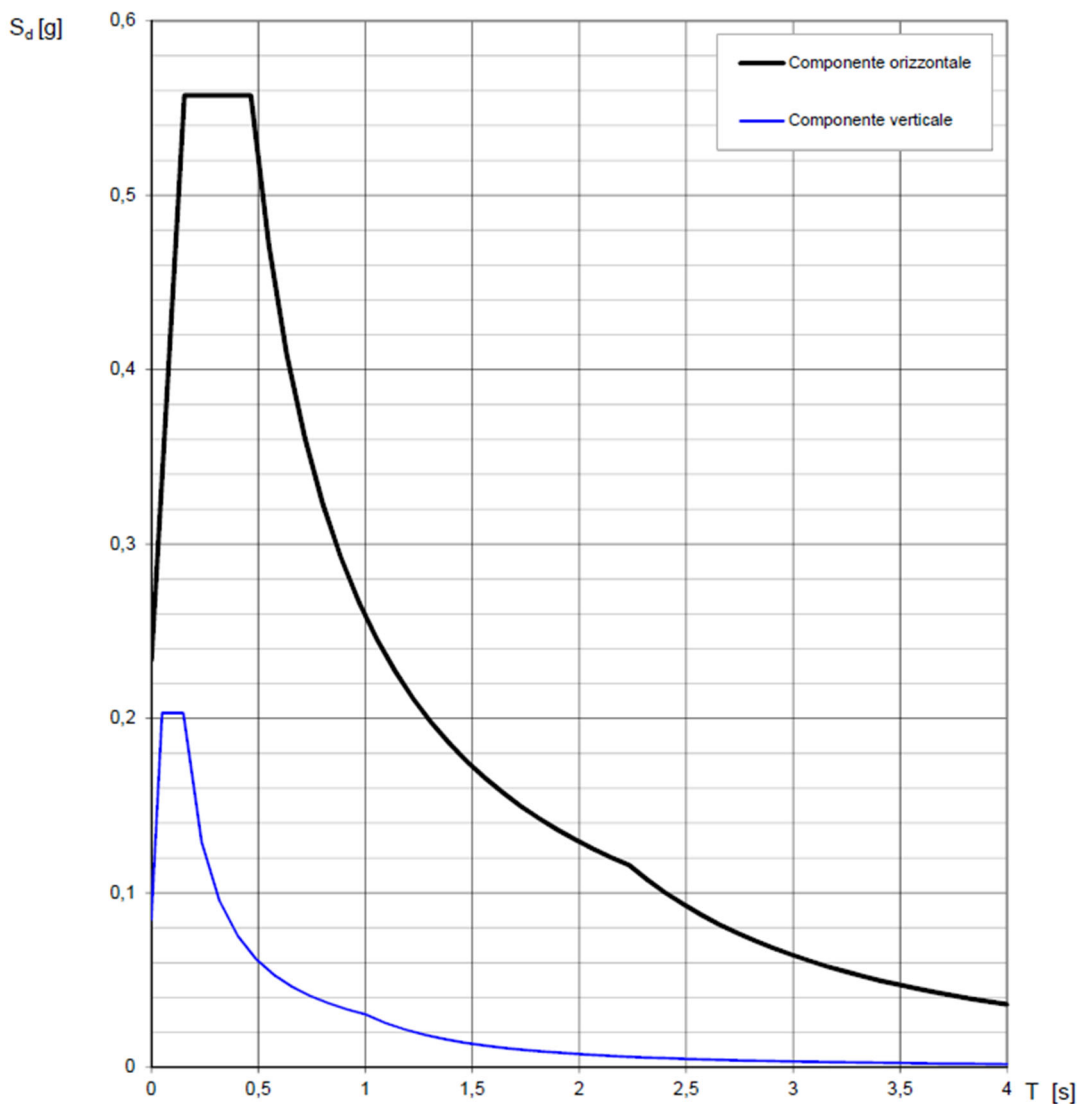
$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

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

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | Se [g] |
|------------------|-------|--------|
| | 0,000 | 0,233 |
| $T_B \leftarrow$ | 0,155 | 0,557 |
| $T_C \leftarrow$ | 0,464 | 0,557 |
| | 0,549 | 0,472 |
| | 0,633 | 0,409 |
| | 0,717 | 0,361 |
| | 0,801 | 0,323 |
| | 0,885 | 0,292 |
| | 0,970 | 0,267 |
| | 1,054 | 0,246 |
| | 1,138 | 0,227 |
| | 1,222 | 0,212 |
| | 1,307 | 0,198 |
| | 1,391 | 0,186 |
| | 1,475 | 0,175 |
| | 1,559 | 0,166 |
| | 1,644 | 0,157 |
| | 1,728 | 0,150 |
| | 1,812 | 0,143 |
| | 1,896 | 0,136 |
| | 1,980 | 0,131 |
| | 2,065 | 0,125 |
| | 2,149 | 0,120 |
| $T_D \leftarrow$ | 2,233 | 0,116 |
| | 2,317 | 0,108 |
| | 2,401 | 0,100 |
| | 2,486 | 0,094 |
| | 2,570 | 0,088 |
| | 2,654 | 0,082 |
| | 2,738 | 0,077 |
| | 2,822 | 0,073 |
| | 2,906 | 0,068 |
| | 2,990 | 0,065 |
| | 3,074 | 0,061 |
| | 3,159 | 0,058 |
| | 3,243 | 0,055 |
| | 3,327 | 0,052 |
| | 3,411 | 0,050 |
| | 3,495 | 0,047 |
| | 3,579 | 0,045 |
| | 3,663 | 0,043 |
| | 3,748 | 0,041 |
| | 3,832 | 0,039 |
| | 3,916 | 0,038 |
| | 4,000 | 0,036 |

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**6 METODO DI ANALISI**

Una volta definito lo spettro di progetto, è stato scelto il metodo di analisi da utilizzare per calcolare l'accelerazione delle masse delle strutture.

Si è scelto di affrontare l'analisi sismica con il metodo statico lineare.

6.1 Analisi statica

L'analisi statica consiste nell'applicare alle masse della struttura in esame delle forze statiche equivalenti alla forza sismica.

I vettori rappresentativi di tali forze hanno punto di applicazione nel baricentro della massa esaminata, direzione nelle tre componenti spaziali X Y Z, verso in entrambi i sensi e modulo pari a:

$$F_{\text{sisma}} = W * S_d(T_i)$$

con:

- W = massa dell'elemento
- $S_d(T_i)$ = accelerazione sismica, funzione del periodo proprio di oscillazione della massa.

Osservando lo spettro si può facilmente vedere che per strutture che hanno periodo proprio di oscillazione pari a 0 (rigidezza K molto elevata, tipica di strutture che oscillano con il terreno) la corrispondente accelerazione $S_d(T=0)$ è proprio uguale all'accelerazione massima orizzontale attesa al sito a_{max} pari a:

$$a_{\text{max}} = a_g * S_s * S_t = 0.2327 \text{m/s}^2$$

punto di attacco della curva dello spettro.

Per le opere geotecniche l'azione sismica è smorzata dal parametro β_m correlato con l'accelerazione massima attesa al sito su suolo rigido ed al tipo di terreno. Nel nostro caso il valore di β_m è pari a 1 in quanto le opere vengono considerate di tipo rigido.

Concludendo, tutte le masse dell'opera analizzata sono sottoposte ad un'azione sismica data dalla relazione:

$$F_{\text{sisma}_h} = W * k_h$$

$$F_{\text{sisma}_v} = W * k_v$$

$$\text{Dove: } k_h = a_{\text{max}} * \beta_m \quad k_v = k_h * 0.5$$

6.2 Calcolo spinta sismica del terreno

Per la spinta del terreno in presenza di sisma è necessario distinguere le opere flessibili, capaci di mobilitare uno stato di spinta attiva del terreno, e le opere rigide che sostengono il terreno in condizioni di spinta a riposo.

• Opere flessibili

Per quanto riguarda la spinta del terreno la risultante delle spinte statiche e dinamiche si determina con l'espressione:

$$S_a = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm K_v) K_a H^2 + q K_a H$$

dove $k_a = k_{a\text{-statico}} + k_{a\text{-sismico}}$

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \text{sen}(\varphi - \varepsilon - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta) \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$

con:

ψ = angolo di inclinazione del muro rispetto all'orizzontale

δ = angolo di attrito terreno-muro

φ = angolo di resistenza al taglio

ε = angolo di inclinazione del terrapieno

$$\theta = \arctan \frac{k_h}{1 + k} \quad \text{considerando un terreno sopra falda}$$

$$\theta = \arctan \frac{k_h}{1 \pm k_v} \quad \text{considerando un terreno sopra falda}$$

La forza dovuta alla spinta dinamica del terreno risulta applicata a metà altezza.

In conclusione la spinta sismica risulta pari ad una componente statica pari a:

$$S_{a\text{-statica}} = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) K_{a\text{-statica}} H^2 \quad \text{applicata ad H/3}$$

e una componente dinamica pari a:

$$S_{a\text{-sismica}} = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) K_{a\text{-sismica}} H^{*2} \quad \text{applicata ad H/2}$$

Per il sovraccarico rimane:

$$S_q = q K_a H \quad \text{applicata ad H/2}$$

• Opere rigide

L'azione derivata dall'incremento di spinta del terreno a tergo dell'opera, si valuta sulla base della seguente espressione (UNI EN 1998-5:2005 appendice E):

$$\Delta P_d = \alpha \cdot S \cdot \gamma \cdot H^2$$

dove:

α è dato dall'espressione $\alpha = a_g / g$

6.3 Combinazione dell'azione sismica

Il sisma viene considerato indipendente nelle 3 direzioni d'azione. Gli effetti ottenuti vengono combinati secondo la seguente formula:

$$\gamma X \pm \gamma Y \pm \gamma Z$$

I coefficienti γ generano le 3 seguenti combinazioni possibili:

| | | | |
|----|-----|-----|-----|
| C1 | 0,3 | 0,3 | 1 |
| C2 | 0,3 | 1 | 0,3 |
| C3 | 1 | 0,3 | 0,3 |

I segni invece generano 8 possibili combinazioni:

| | | | |
|----|---|---|---|
| C1 | + | + | + |
| C2 | - | + | + |
| C3 | + | - | + |
| C4 | + | + | - |
| C5 | - | - | + |
| C6 | - | + | - |
| C7 | + | - | - |
| C8 | - | - | - |

Combinando le due matrici otteniamo le 24 combinazioni possibili sismiche.