

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE

MANDATARIA

MANDANTI

:



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA - BARI
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA
LOTTO 1- RADDOPPIO RIPALTA - LESINA

OPERE CIVILI

Relazione di calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| | | | |
|---------------|--|--|-------|
| L'Appaltatore | COMPAT S.c.a.r.l. Il Direttore Tecnico (Ing. Gianguido Babini) | I progettisti (il Direttore della progettazione) | |
| data | firma | data | firma |

| | | | | | | | | |
|----------|-------|------|------|----------|--------------------|-------|-----|-------|
| COMMESSA | LOTTO | FASE | ENTE | TIPO DOC | OPERA / DISCIPLINA | PROGR | REV | SCALA |
| L I 0 7 | 0 1 | E | Z Z | C L | S E 0 0 0 0 | 0 0 5 | A | --- |

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato/Data |
|------|-----------------------------|------------|-------------|---------------|-------------|-----------------|-------------|---------------------------|
| A | Emissione a seguito RDV ITF | A. Falasca | Aprile 2022 | G. Filippucci | Aprile 2022 | F. Nicchiarelli | Aprile 2022 | T. Pelella Aprile 2022 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | n. Elab. |

Sommario

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Premessa e scopo del documento | 5 |
| 1.1 | Descrizione delle strutture..... | 5 |
| 2 | RIFERIMENTI..... | 6 |
| 2.1 | Riferimenti normativi | 6 |
| 3 | Documenti di progetto | 8 |
| 4 | caratteristiche dei materiali | 9 |
| 4.1 | Acciaio per carpenteria metallica | 9 |
| 4.2 | Calcestruzzo per magrone di sottofondazione | 9 |
| 4.3 | Calcestruzzo | 9 |
| | • Condizioni ambientali: ORDINARIE | 10 |
| | • Combinazione dei carichi: QUASI PERMANENTE..... | 10 |
| | • Sensibilità armatura: POCO SENSIBILE..... | 10 |
| 4.4 | Acciaio per barre da C.A. e reti elettrosaldate | 10 |
| 4.5 | Copriferro..... | 11 |
| 5 | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TERRENO DI FONDAZIONE..... | 11 |
| 5.1 | Parametri Geotecnici | 11 |
| 6 | DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA..... | 13 |
| 6.1 | Vita nominale | 13 |
| 6.2 | Classe d'uso | 13 |
| | • <i>Classe III</i> | 13 |
| 6.3 | Azioni di Progetto..... | 14 |
| 6.4 | Amplificazione stratigrafica | 18 |
| 6.5 | Condizioni topografiche | 18 |
| 6.6 | Classe di duttilità..... | 18 |

OPERE CIVILI PIAZZALE

Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|---------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 3 di 57 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.7 | Regolarità | 18 |
| 6.8 | Tipologia strutturale e fattore di struttura | 19 |
| 6.9 | Spettri di risposta | 19 |
| 7 | ANALISI DEI CARICHI | 22 |
| 7.1 | Analisi dei carichi da peso proprio e permanenti | 22 |
| 7.2 | Azione del Vento..... | 22 |
| 7.2.1 | Valutazione della velocità e della pressione cinetica del vento a 15 m e 25 m | 22 |
| 7.2.2 | Velocità base di riferimento..... | 23 |
| 7.2.3 | Velocità di riferimento | 24 |
| 7.2.4 | Coefficiente di esposizione | 25 |
| 7.2.5 | Coefficiente dinamico..... | 26 |
| 7.2.6 | Coefficiente di Forma (15m e 25m)..... | 27 |
| 7.2.7 | Determinazione dell'azione del vento su corpo illuminante e palo..... | 27 |
| 7.3 | Azione del treno..... | 29 |
| 7.4 | Azione della neve | 30 |
| | • q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo; | 30 |
| | • μ_1 è il coefficiente di forma della copertura..... | 30 |
| | • C_E è il coefficiente di esposizione..... | 30 |
| | • C_T è il coefficiente termico | 30 |
| 7.5 | Azione del Sisma | 32 |
| 8 | COMBINAZIONE DEI CARICHI..... | 34 |
| 9 | MODELLO DI CALCOLO..... | 36 |
| 9.1 | CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI | 36 |
| 9.2 | CARICHI DI PROGETTO..... | 36 |
| 10 | CRITERI DI CALCOLO | 40 |
| 10.1 | VERIFICA DI RIBALTAMENTO | 40 |
| 10.2 | VERIFICA DI SCORRIMENTO - TRASLAZIONE..... | 43 |

OPERE CIVILI PIAZZALE

Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1[^] e 2[^] fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|---------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 4 di 57 |

| | | |
|------|--|----|
| 10.3 | CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE..... | 45 |
| 10.4 | VERIFICHE STRUTTURALI DELLA FONDAZIONE | 52 |
| 10.5 | Verifica dei tirafondi | 55 |
| 11 | Incidenza Armatura | 57 |
| 12 | Conclusioni..... | 57 |

1 PREMESSA E SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione ha come oggetto il calcolo dei nuovi plinti sui quali verranno ancorati i pali di prima e seconda fila. Tali pali e relativi blocchi di fondazione sono a servizio della Sottostazione elettrica di conversione (SSE) di Ripalta (FG), nell'ambito della Progettazione Esecutiva della linea Pescara-Bari , lotto 1 raddoppio Ripalta-Lesina.

1.1 DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE

Il plinto oggetto della presente relazione di calcolo è la fondazione di un palo sezionatore, ovvero nel caso in esame un palo LSU22c di altezza 12 metri che porta ad una quota di circa 9 metri gli apparecchi di sezionamento per l'alimentazione della linea ferroviaria e fissato al plinto tramite tirafondi. Il plinto è un blocco di dimensioni 220x220 cm H=220 cm e baggio 90 x 90 cm H=50cm. Si riportano di seguito pianta e sezione del plinto (rif. elab. RS3T30D18BZPT0000013A).

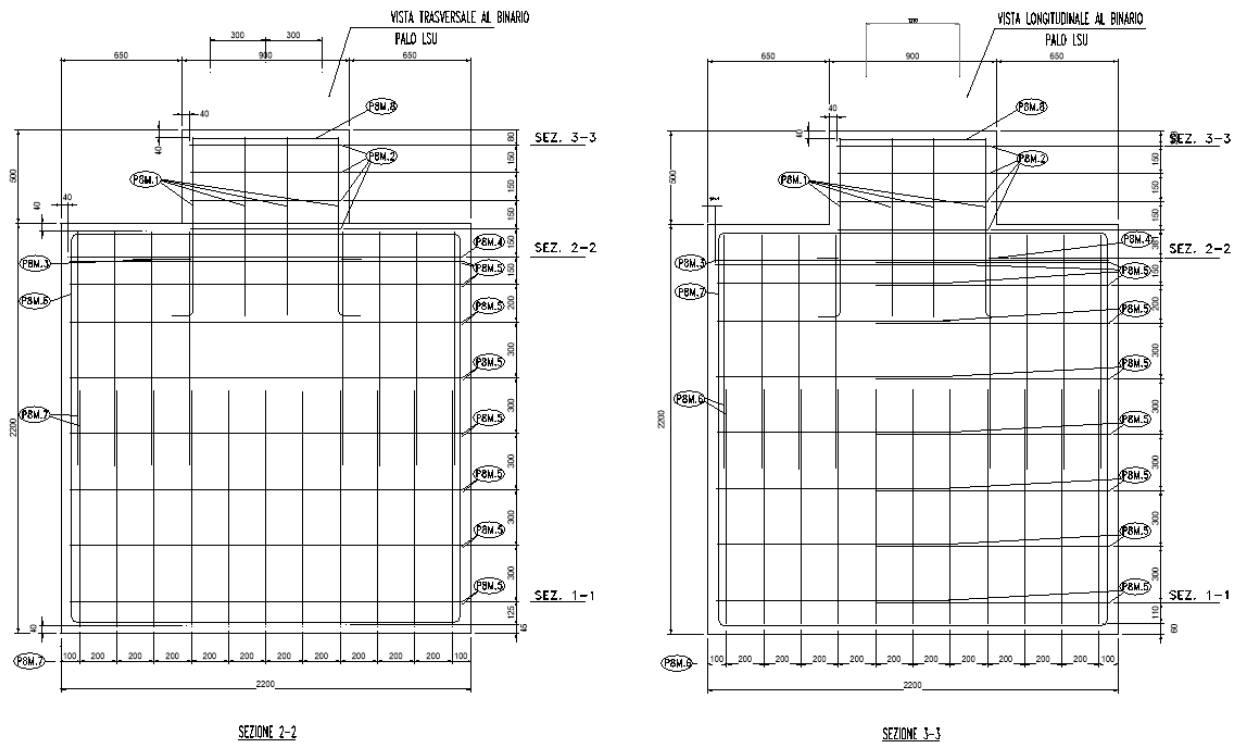


Figura 1-Viste Blocco di Fondazione

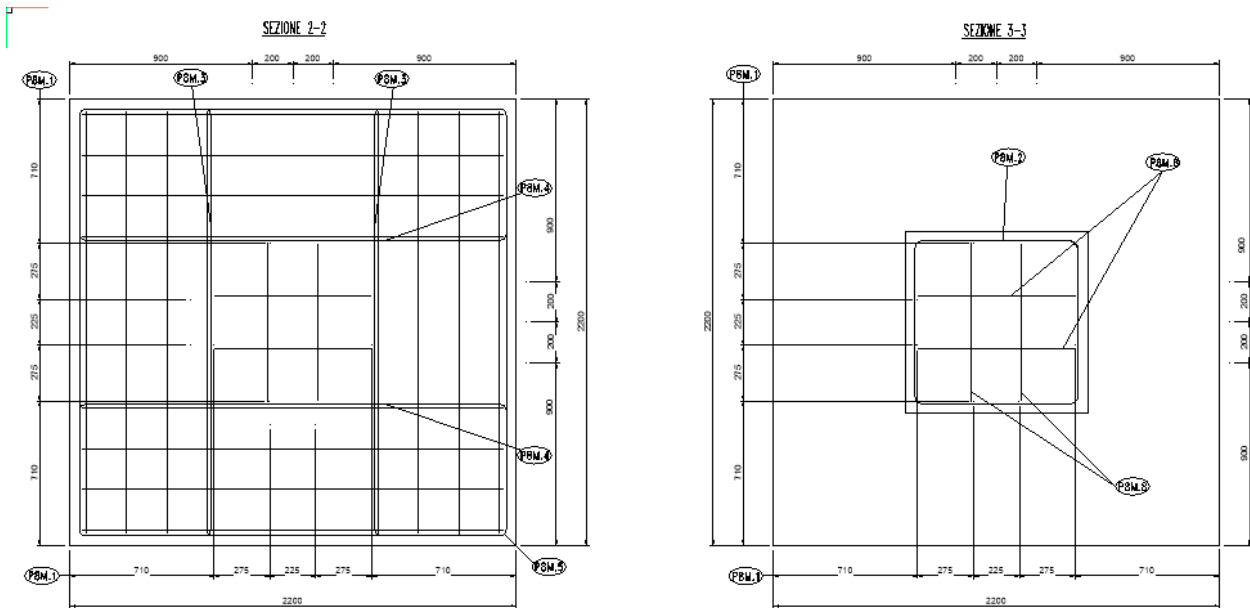


Figura 2-Sezione 2-2 Blocco di Fondazione

2 RIFERIMENTI

Nell'ambito dei lavori tutte le attività e i prodotti saranno conformi alle prescrizioni tecniche contenute nelle Norme vigenti e nelle specifiche tecniche di RFI.

Nei punti seguenti vengono citati i principali documenti tecnici cui verrà fatto esplicito od implicito riferimento.

2.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Per la esecuzione del presente progetto sono state adottate le Norme Tecniche nella loro edizione più recente nonché le Istruzioni e le Circolari RFI vigenti, delle quali si elencano qui di seguito le principali:

| CODIFICA | TITOLO |
|---|---|
| D.M. del 17 Gennaio 2018 | Nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018) |
| Circolare 21/01/2018, 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 |

| CODIFICA | TITOLO |
|---|--|
| UNI EN 1992-1 | Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Regole generali |
| UNI EN 1992-2 | Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Ponti |
| UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) | Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici |
| UNI EN 206 | Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità |
| UNI 11104 | Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1 |
| Linee guida sul calcestruzzo strutturale | Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP. |
| RFI DTC INC PO SP IFS 001 A | Specifiche per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie |
| RFI DTC SI MA IFS 001 D | Manuale di progettazione delle opere civili |
| RFI DTC SI SP IFS 001 B | Capitolato generale tecnico di appalto OOCC RFI |
| RFI DTC SI MA IFS 001 D | Manuale di progettazione delle opere civili-Parte I |
| RFI DTC SI AM MA IFS 001 C | Manuale di progettazione delle opere civili-Parte II-Sezione 1- Ambiente |
| RFI DTC SI PS MA IFS 001 D | Manuale di progettazione delle opere civili-Parte II-Sezione 2- Ponti e Strutture |
| RFI DTC SI CS MA IFS 001 D | Manuale di progettazione delle opere civili-Parte II-Sezione 3- Corpo stradale |
| RFI DTC SI PS MA IFS 001 D del 30/12/2019 | Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili |

Tabella 1-Riferimenti normativi

Per quanto non esplicitamente indicato, saranno in ogni caso adottate tutte le indicazioni normative e di legge atte a garantire la realizzazione dell'impianto a regola d'arte e nel rispetto della sicurezza.

OPERE CIVILI PIAZZALE

Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1[^] e 2[^] fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|---------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 8 di 57 |

3 DOCUMENTI DI PROGETTO

Sono parte integrante della presente relazione, i seguenti documenti di progetto:

| CODIFICA | | TITOLO |
|----------|----------------------|---|
| A[1] | LI0701EZZBCSE0000001 | Viste Fondazione pali 1° e 2° fila |
| A[2] | LI0701EZZRHSE0000001 | Relazione Geotecnica SSE Ripalta |
| A[3] | LI0701EZZRHGE0005001 | Relazione Geotecnica Lotto 1 Raddoppio Ripalta-Lesina |

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche dei materiali impiegati

4.1 ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA

ACCIAIO S355

Profilati laminati a caldo, secondo UNI EN 10025, in acciaio S355

| | |
|-----------------------------------|--|
| Peso Specifico | $\gamma = 78,50 \text{ kN/m}^3$ |
| Tensione di snervamento | $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$ |
| Tensione di rottura | $f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$ |
| Modulo di elasticità | $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$ |
| Coefficiente di Poisson | $\nu = 0.3$ |
| Coeff. espansione termica lineare | $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ |
| Coefficiente sicurezza | $\gamma_{M0} = 1,05$ (Resistenza Sezioni) |
| Coefficiente sicurezza | $\gamma_{M0} = 1,05$ (Resistenza all'instabilità) |
| Coefficiente sicurezza | $\gamma_{M2} = 1,25$ (Resistenza sezioni forate) |

4.2 CALCESTRUZZO PER MAGRONE DI SOTTOFONDAZIONE

CALCESTRUZZO MAGRO classe **C12/15**

Resistenza caratteristica cubica 15 MPa

4.3 CALCESTRUZZO

Classe di resistenza per plinti fondazione pali

| | C25/30 | |
|--|---------------|-----------------------------|
| Modulo di elasticità longitudinale | E_C | = 31447 [MPa] |
| Coefficiente di dilatazione termica | α | = 10×10^{-6} [C-1] |
| Coefficiente di Poisson | ν | = 0,20 [-] |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_c | = 1,50 [-] |
| Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata | α_{cc} | = 0,85 [-] |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione | R_{ck} | = 30,0 [MPa] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione | f_{ck} | = 24,9 [MPa] |
| Resistenza media cilindrica a compressione | f_{cm} | = 32,9 [MPa] |
| Resistenza media a trazione semplice | f_{ctm} | = 2,56 [MPa] |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice | f_{ctk} | = 1,79 [MPa] |

OPERE CIVILI PIAZZALE

 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 10 di 57 |

| | | | | |
|--|-----------|---|------|-------|
| Resistenza media a trazione per flessione | f_{cfm} | = | 3,07 | [MPa] |
| Resistenza caratteristica a trazione per flessione | f_{cfk} | = | 2,15 | [MPa] |
| Resistenza caratteristica tangenziale per aderenza | f_{bk} | = | 4,03 | [MPa] |
| Resistenza di calcolo a compressione | f_{cd} | = | 14,1 | [MPa] |
| Resistenza di calcolo a trazione semplice | f_{ctd} | = | 1,19 | [MPa] |
| Resistenza di calcolo a trazione per flessione | f_{cfd} | = | 1,43 | [MPa] |
| Resistenza di calcolo tangenziale per aderenza | f_{bd} | = | 2,69 | [MPa] |

In funzione di condizioni ambientali, combinazione dei carichi e sensibilità dell'acciaio di armatura, si definisce l'apertura limite delle fessure. Nel caso in esame, trattandosi di struttura a permanente contatto con il terreno, ci si riferisce alle seguenti condizioni:

- Condizioni ambientali: ORDINARIE
- Combinazione dei carichi: QUASI PERMANENTE
- Sensibilità armatura: POCO SENSIBILE

per le quali l'apertura massima delle fessure δ_f deve risultare:

$$\delta_f \leq w_1 = 0.2\text{mm}$$

in accordo con quanto previsto dalla normativa di riferimento.

4.4 ACCIAIO PER BARRE DA C.A. E RETI ELETTRISALDATE

ACCIAIO B450C

B450C

| | | | |
|------------------------------|--------|-----|--|
| $f_{yk} \geq$ | 450 | MPa | tensione caratteristica di snervamento |
| $f_{tk} \geq$ | 540 | MPa | tensione caratteristica di rottura |
| $(f_t/f_y)_k \geq$ | 1,15 | | |
| $(f_t/f_y)_k <$ | 1,35 | | |
| $\gamma_s =$ | 1,15 | - | coefficiente parziale di sicurezza SLU |
| $f_{yd} =$ | 391,3 | MPa | tensione caratteristica di snervamento |
| $E_s =$ | 200000 | MPa | Modulo elastico di progetto |
| $\epsilon_{yd} =$ | 0,196% | | deformazione di progetto a snervamento |
| $\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k$ | 7,50% | | deformazione caratteristica ultima |

4.5 COPRIFERRO

Con riferimento al punto 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato nella tabella C4.1.IV della Circolare 21.2.2019, riportata di seguito, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC.

| | | | barre da c.a. | | barre da c.a. | | cavi da c.a.p | | cavi da c.a.p | |
|--------|--------|------------|--------------------|-----------|----------------|-----------|--------------------|-----------|----------------|-----------|
| | | | elementi a piastra | | altri elementi | | elementi a piastra | | altri elementi | |
| Cmin | Co | ambiente | C≥Co | Cmin≤C<Co | C≥Co | Cmin≤C<Co | C≥Co | Cmin≤C<Co | C≥Co | Cmin≤C<Co |
| C25/30 | C35/45 | ordinario | 15 | 20 | 20 | 25 | 25 | 30 | 30 | 35 |
| C28/35 | C40/50 | aggressivo | 25 | 30 | 30 | 35 | 35 | 40 | 40 | 45 |
| C35/45 | C45/55 | molto ag. | 35 | 40 | 40 | 45 | 45 | 50 | 50 | 50 |

Tabella 2 - Tabella C4.1.IV della Circolare applicativa delle NTC del 21.02.2019

Nel caso in esame, considerando un ambiente ordinario, si ha un copriferro minimo pari a 25mm.

Ai valori riportati nella tabella vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 5 mm.

In definitiva si prescrive che, per le fondazioni oggetto della presente relazione, il copriferro nominale minimo risulta pari a 40mm.

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TERRENO DI FONDAZIONE

5.1 PARAMETRI GEOTECNICI

In accordo alla Relazione di calcolo geotecnica (documento di riferimento LI0701EZZRHSE0000001A) relativa ai siti in oggetto, al fine di eseguire le verifiche geotecniche relative al blocco tipologico, sono stati assunti i seguenti parametri caratteristici del terreno in base alla quota di imposta della fondazione:

Peso di volume naturale $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

Angolo di attrito terreno $\phi' = 24^\circ$

Coesione drenata $c' = 7,5 \text{ kPa}$

Di seguito si riporta la tabella con la stratigrafia completa del sito di realizzazione delle fondazioni.

OPERE CIVILI PIAZZALE

Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 12 di 57 |

Si procederà a **trattamento a calce** del terreno al piano di posa (tipo A6, A7-6) per uno spessore di **0,50m**. Per una stima dei parametri di resistenza da associare ai terreni trattati a calce, si è fatto riferimento alle documentazioni bibliografiche su esperienze maturate per terreni simili in condizioni analoghe per il dettaglio delle quali si rimanda alla Relazione geotecnica (Elaborato **LI0001E78RHGE0005001A**). Dunque sono state assunte le seguenti caratteristiche:

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Peso specifico | $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$ |
| Coesione | $c' = 0 \text{ kPa}$ |
| Angolo di attrito | $\Phi' = 30^\circ$ |
| Modulo elastico operativo | $E' = 20000 \text{ kPa}$ |

STRATO 2 (da quota – 1,70 m a quota - 25,00 m) – UNITÀ 5AL - *Argille limose e limi argillosi*

Sono state assunte le seguenti caratteristiche:

| | |
|---------------------------|------------------------------|
| Peso specifico | $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ |
| Coesione | $c' = 7,5 \text{ kPa}$ |
| Angolo di attrito | $\Phi' = 24^\circ$ |
| Coesione non drenata | $c_u = 95 \text{ kPa}$ |
| Modulo elastico iniziale | $E_0 = 245000 \text{ kPa}$ |
| Modulo elastico operativo | $E' = 49000 \text{ kPa}$ |

Tabella 3-Stratigrafia terreno e parametri meccanici

Sulla base dei sondaggi effettuati si ha evidenza che la falda e' posta ad almeno 2,38 m da piano campagna.

6 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie riportate nella Tabella 3.2. II delle NTC18, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_{Seq} .

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* , relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento, sono forniti nelle tabelle riportate in allegato [B] delle NTC18, in funzione di prefissati valori del periodo di ritorno TR.

L'accelerazione al sito a_g è espressa in g/10, F_0 è adimensionale, T_C^* è espresso in secondi.

I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a latitudine e longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine.

6.1 VITA NOMINALE

La vita nominale dell'edificio in questione è prevista in:

$VN = 75$ anni. (cautelativamente considerato su infrastrutture ferroviarie di nuova realizzazione)

6.2 CLASSE D'USO

La Classe d'Uso dei manufatti è prevista in:

- *Classe III*

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Per l'edificio in questione si ha:

VR (Periodo di Riferimento) = VN (Vita Nominale) x CU (coefficiente d'uso)

Per $CU = 1,5$ abbiamo:

$VR = VN \times CU = 75 \times 1,5 = 112,5$ anni

6.3 AZIONI DI PROGETTO

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC 18, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NTC 18 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : 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.

Le forme spettrali previste dalle NTC 18 sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e da vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento V_R della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

A tal fine si utilizza come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e P_{VR} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante la seguente espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Lo spettro di Risposta di progetto viene calcolato in funzione dei parametri sismici più cautelativi della vicina Lesina (FG).

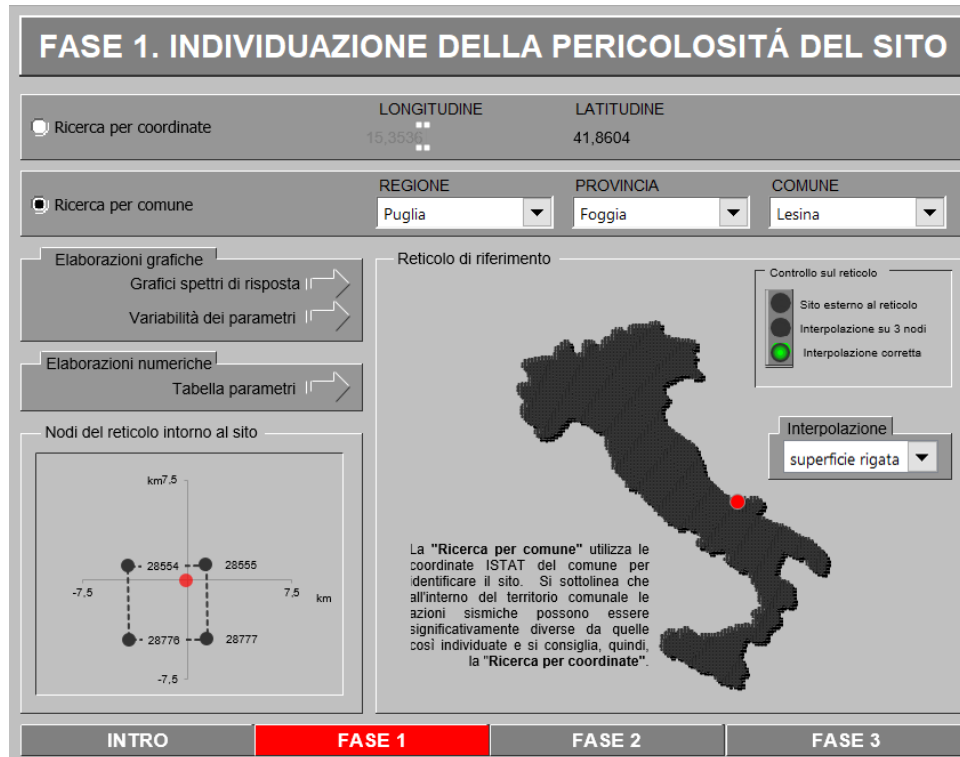


Figura 3-Individuazione del sito



Figura 4-Scelta della Strategia di Progettazione

OPERE CIVILI PIAZZALE

Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 16 di 57 |

Qualora la attuale pericolosità sismica sul reticolo di riferimento non contempli il periodo di ritorno TR corrispondente alla VR e alla PVR fissate, il valore del generico parametro p (ag, F0 e TC*) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai TR previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione seguente:

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

Di seguito si riportano i grafici ed i valori dei parametri ag, F0 e TC* per i periodi di ritorno TR associati a ciascuno stato limite.

OPERE CIVILI PIAZZALE
 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 17 di 57 |

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

Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV |
|--------------|---------|
| a_g | 0,270 g |
| F_0 | 2,430 |
| T_C | 0,340 s |
| S_S | 1,306 |
| C_C | 1,499 |
| S_T | 1,000 |
| q | 1,000 |

Parametri dipendenti

| | |
|--------|---------|
| S | 1,306 |
| η | 1,000 |
| T_B | 0,170 s |
| T_C | 0,510 s |
| T_D | 2,679 s |

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-18 Eq. 3.2.4)

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

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

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

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

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. (NTC-18 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | Se [g] |
|---------|-------|--------|
| | 0,000 | 0,353 |
| T_B ← | 0,170 | 0,857 |
| T_C ← | 0,510 | 0,857 |
| | 0,613 | 0,712 |
| | 0,716 | 0,610 |
| | 0,820 | 0,533 |
| | 0,923 | 0,473 |
| | 1,026 | 0,426 |
| | 1,130 | 0,387 |
| | 1,233 | 0,354 |
| | 1,336 | 0,327 |
| | 1,440 | 0,303 |
| | 1,543 | 0,283 |
| | 1,646 | 0,265 |
| | 1,750 | 0,250 |
| | 1,853 | 0,236 |
| | 1,956 | 0,223 |
| | 2,060 | 0,212 |
| | 2,163 | 0,202 |
| | 2,266 | 0,193 |
| | 2,369 | 0,184 |
| | 2,473 | 0,177 |
| | 2,576 | 0,170 |
| T_D ← | 2,679 | 0,163 |
| | 2,742 | 0,156 |
| | 2,805 | 0,149 |
| | 2,868 | 0,142 |
| | 2,931 | 0,136 |
| | 2,994 | 0,131 |
| | 3,057 | 0,125 |
| | 3,120 | 0,120 |
| | 3,183 | 0,116 |
| | 3,245 | 0,111 |
| | 3,308 | 0,107 |
| | 3,371 | 0,103 |
| | 3,434 | 0,099 |
| | 3,497 | 0,096 |
| | 3,560 | 0,092 |
| | 3,623 | 0,089 |
| | 3,686 | 0,086 |
| | 3,748 | 0,083 |
| | 3,811 | 0,081 |
| | 3,874 | 0,078 |
| | 3,937 | 0,075 |
| | 4,000 | 0,073 |

OPERE CIVILI PIAZZALE

Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 18 di 57 |

6.4 AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Dalle analisi condotte sul sito in esame e riportate nell'elaborato geologica del sito risulta che per la verifica delle opere è conveniente assumere la **Categoria di sottosuolo tipo "C"**.

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)".

6.5 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Con riferimento alle caratteristiche della superficie topografica inerente l'opera in oggetto come riportato nella Relazione geologica della SSE di Ripalta

(rif.to LI0701EZZRHSE0000001A), si adotta:

Categoria topografica T1: "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

6.6 CLASSE DI DUTTILITÀ

La costruzione soggetta all'azione sismica, non dotata di appositi dispositivi dissipativi, è stata progettata considerando un comportamento strutturale dissipativo per il quale gli effetti combinati delle azioni sismiche e delle altre azioni sono calcolati tenendo conto delle non linearità di comportamento. Nello specifico:

Classe di duttilità CD: [B] bassa.

6.7 REGOLARITÀ

La struttura è rispondente a tutti i requisiti di regolarità in pianta ed in elevazione:

| | |
|---------------------|----|
| Regolare in pianta | si |
| Regolare in altezza | si |

6.8 TIPOLOGIA STRUTTURALE E FATTORE DI STRUTTURA

La struttura è classificabile come:

Struttura a pendolo inverso

Il valore del fattore di struttura q , da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, funzione della tipologia strutturale, del suo grado di iperstaticità e dei criteri di progettazione adottati e che prende in conto le non linearità del materiale, è determinabile come:

$$q = q_0 \times K_R$$

dove:

- $q_0=2,0$: per strutture in acciaio con comportamento a pendolo inverso e classe di duttilità CD "B",
- $K_R = 1,0$ per strutture regolari in altezza;

da cui:

$$q = q_0 \times K_R = 2,0 \times 1,0 = 2,00$$

In via cautelativa, a vantaggio di sicurezza si utilizza un fattore di struttura $q_0=1$ con $K_R=1$.

6.9 SPETTRI DI RISPOSTA

OPERE CIVILI PIAZZALE
Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 20 di 57 |

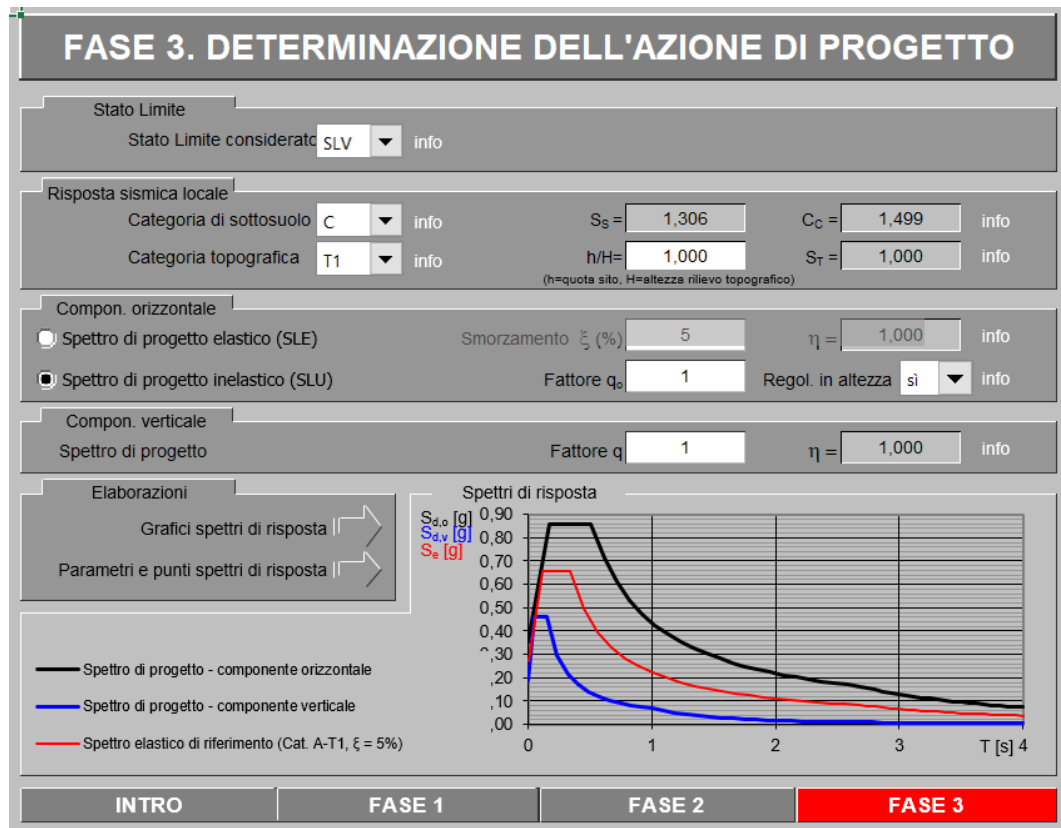


Figura 5-Determinazione Azione di Progetto

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

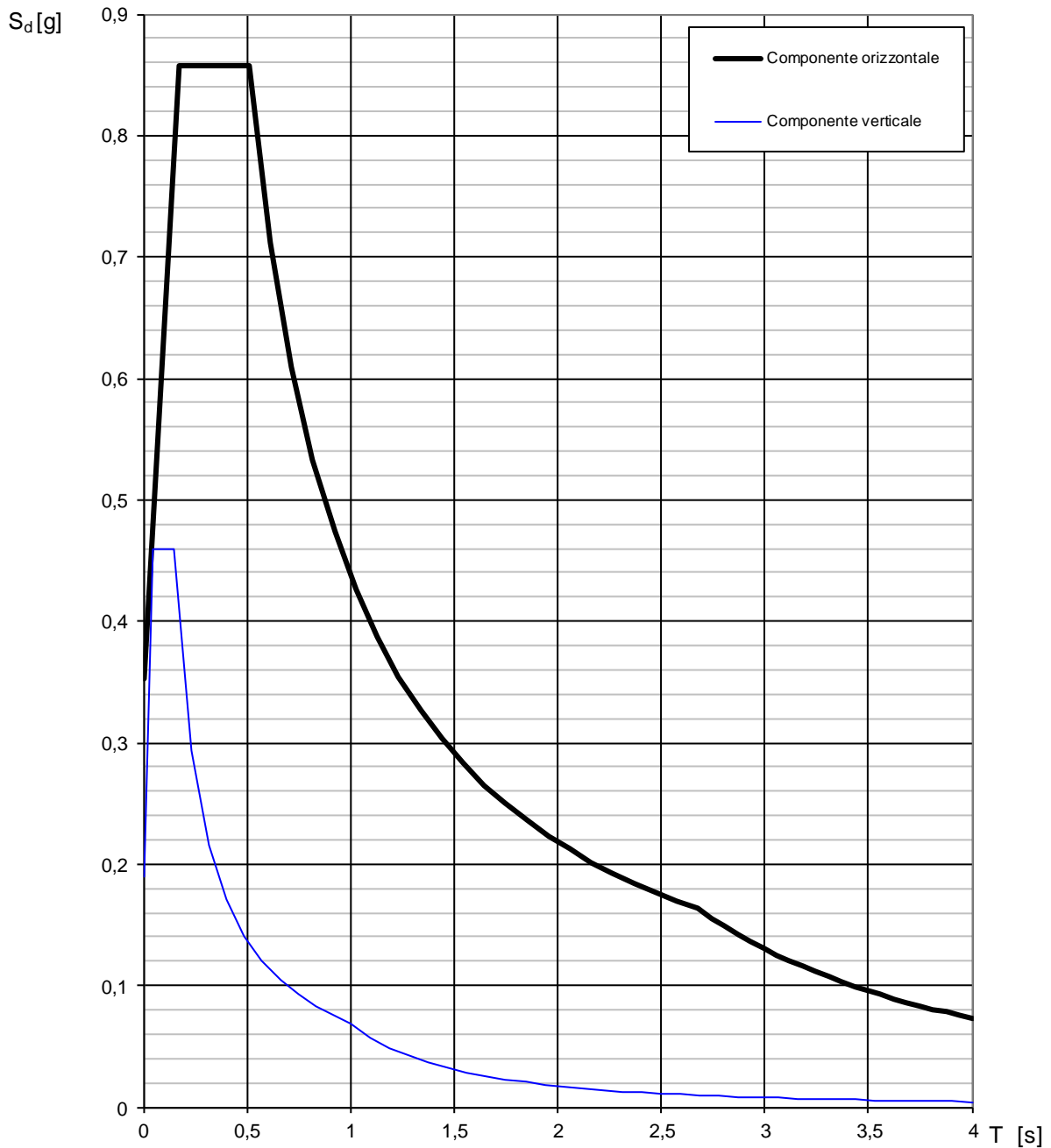


Figura 6-Spettro di Risposta di Progetto

7 ANALISI DEI CARICHI

7.1 ANALISI DEI CARICHI DA PESO PROPRIO E PERMANENTI

I carichi permanenti strutturali sono rappresentati dal peso del plinto avente peso per unità di volume $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, dal peso del terreno avente peso per unità di volume $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ e dal peso del sostegno con tutte le attrezzature montate.

Peso plinto, composto dal baggiolo e dalla fondazione:

$$P_b = B_b \cdot L_b \cdot H_b \cdot \gamma_{cls} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 25 = 10,13 \text{ kN}$$

$$P_f = B_f \cdot L_f \cdot H_f \cdot \gamma_{cls} = 2,2 \cdot 2,2 \cdot 2,2 \cdot 25 = 266,2 \text{ kN}$$

Tale carico è applicato ad un'eccentricità rispetto al punto di rotazione C di 1,1 m.

Peso palo e sezionatore:

$$P_{\text{palo}} = 9,66 \text{ kN}$$

Tale carico è applicato ad un'eccentricità rispetto al punto di rotazione C di 1,1 m.

$P_{\text{Apparecchiature}} \approx 4,12 \text{ kN}$ (che è pari al peso dell'apparecchiatura, scaricatore con protezione e mensola di sostegno)

Tale carico è applicato ad un'eccentricità rispetto al punto di rotazione C di 1,1 m.

Le varie apparecchiature sono poste sul palo ad una quota di 8,70 metri.

A vantaggio di sicurezza, per il dimensionamento e le verifiche del plinto, non si tiene conto del contributo del terreno.

7.2 AZIONE DEL VENTO

L'azione del vento sul palo viene valutata come un carico concentrato sul palo stesso e applicato sul centro di massa di quest'ultimo.

Il palo è composto da un profilo tronco-conico; ai fini della determinazione dell'azione del vento, viene considerata la superficie maggiore del palo investita dal vento, ovvero il lato pieno.

Inoltre, viene considerata l'azione del vento sulle apparecchiature considerando che queste abbiano una superficie investita dal vento pari a $0,5 \text{ m}^2$.

7.2.1 Valutazione della velocità e della pressione cinetica del vento a 15 m e 25 m

L'azione del vento viene convenzionalmente considerata come un'azione statica agente in direzione orizzontale. La pressione normale alle superfici delle tamponature frontali investite dal vento è stata valutata mediante l'espressione:

$$p = q_{rif} \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

dove:

OPERE CIVILI PIAZZALE

Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 23 di 57 |

- q_{rif} è la pressione cinetica di riferimento;
- C_e è il coefficiente di esposizione;
- C_p è il coefficiente aerodinamico;
- C_d è il coefficiente dinamico.

La pressione cinetica di riferimento si calcola con la formula proposta nel par. 3.3.6 delle NTC18:

$$q_{rif} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

dove:

- v_b è la velocità base di riferimento;
- ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³.

7.2.2 Velocità base di riferimento

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche, v_b è data dall'espressione:

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

Dove

- $v_{b,0}$ è la velocità base di riferimento al livello del mare, assegnata nella tabella 3.3.I (NTC2019) in funzione della zona in cui sorge la costruzione;
- c_a è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = \begin{cases} 1 & \text{per } a_{slm} \leq a_0 \\ 1 + k_s \left(\frac{a_{slm}}{a_0} - 1 \right) & \text{per } a_0 < a_{slm} \leq 1500m \end{cases}$$

dove:

a_0 ; k_s , sono parametri forniti nella tabella 3.3.I in funzione della zona in cui sorge la costruzione

a_{slm} è l'altitudine sul livello del mare sul quale sorge la costruzione.

OPERE CIVILI PIAZZALE

Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 24 di 57 |

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

| Zona | Descrizione | $v_{b,0}$ [m/s] | a_0 [m] | k_z |
|------|---|-----------------|-----------|-------|
| 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 |

In questo caso, essendo $a_{slm} < a_0$, la velocità base di riferimento è pari a 27 m/s

7.2.3 Velocità di riferimento

La velocità di riferimento si calcola a partire dalla velocità base di riferimento, moltiplicando il valore di $V_{b,0}$ per un coefficiente C_r , funzione del periodo di ritorno.

Per il caso in esame si considera un periodo di ritorno di 50 anni, per il quale si ha un valore del coefficiente C_r pari a 1,0007. Il valore della velocità di riferimento è dato da:

$$V_{rif} = V_{b,0} * C_r = 27,0198 \text{ m/s}$$

OPERE CIVILI PIAZZALE

Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 25 di 57 |

7.2.4 Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione è calcolato come indicato nel paragrafo 3.3.7 dell NTC2018 considerando, in favore di sicurezza, la condizione più gravosa:

Categoria di esposizione del sito: II (Classe di rugosità del terreno: D)

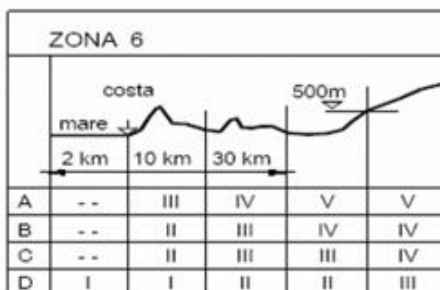
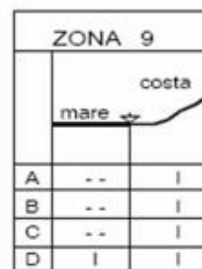
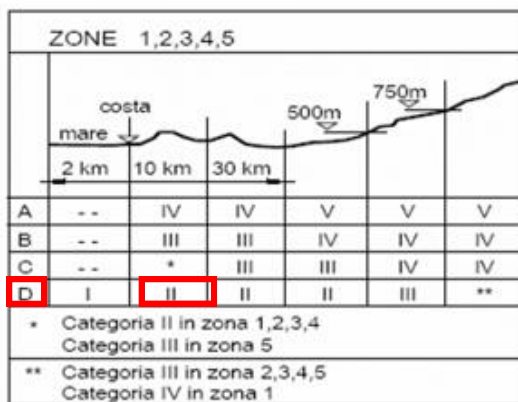
Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

| 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,) |

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

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

| Categoria di esposizione del sito | K_T | 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 |



- Coefficiente topografico: $C_t = 1$
- Altezza del punto rispetto al suolo: $z_1 = 12$ m (Altezza massima palo)
- Altezza del punto rispetto al suolo: $z_2 = 8,70$ m (Quota Apparecchiature)

7.2.5 Coefficiente dinamico

Il coefficiente dinamico a vantaggio di sicurezza viene posto pari a 1

7.2.6 Coefficiente di Forma (15m e 25m)

Il Coefficiente di forma (c_p) per il palo, come riportato nel paragrafo C3.3.8.7 delle NTC2018, per torri e pali a traliccio a sezione rettangolare o quadrata e vento diretto normalmente ad una delle pareti, viene assunto salvo più accurate valutazioni pari a 2,8.

Per quanto riguarda le apparecchiature del palo, in accordo alle norme NTC2018, si assume un coefficiente di forma pari a 1,8.

7.2.7 Determinazione dell'azione del vento su corpo illuminante e palo

Nel paragrafo seguente si riportano i calcoli effettuati per la determinazione della pressione del vento sul palo e apparecchiature.

| AZIONE DEL VENTO | |
|--|--|
| Comune di realizzazione dell'opera: | Stazione Ripalta |
| Altitudine del sito di realizzazione opera | 10 m s.l.m. |
| Zona di suddivisione territorio italiano: | Zona 3 |
| $v_{b,0} =$ 27 m/s | Velocità di base di riferimento livello del mare |
| $a_0 =$ 500 m | Parametro funzione della zona del sito |
| $k_s =$ 0,37 [-] | Parametro funzione della zona del sito |
| $c_a =$ 1 [-] | Coefficiente di altitudine |
| $v_b =$ 27 m/s | Velocità di base di riferimento |
| $T_r =$ 50 anni | Periodo di ritorno |
| $c_r =$ 1,00073378 [-] | Coefficiente di ritorno |
| $v_r =$ 27,0198121 m/s | Velocità di riferimento |
| $\rho =$ 1,25 kg/m ³ | Densità dell'aria |
| $q_r =$ 456,29 N/m ² | Pressione cinetica di riferimento |
| Classe di rugosità del terreno: | D |
| Categoria di esposizione del sito: | II |
| $k_r =$ 0,19 [-] | Parametro per definizione C_E |
| $z_0 =$ 0,05 m | Parametro per definizione C_E |
| $z_{min} =$ 4,00 m | Parametro per definizione C_E |
| Pressione su palo | |

OPERE CIVILI PIAZZALE

 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 28 di 57 |

| | | | |
|--------------------------|------------|------------------|--|
| Z = | 12,00 | m | Altezza dal suolo del punto considerato |
| c _t = | 1,00 | [-] | Coefficiente di topografia |
| c _d = | 1,00 | [-] | Coefficiente Dinamico |
| c _E = | 2,47 | [-] | Coefficiente di esposizione |
| c _p = | 2,80 | [-] | Coefficiente di forma pali tralicciati |
| p _v = | 3154,84414 | N/m ² | Pressione agente sul palo |
| Pressione su sezionatore | | | |
| Z = | 8,70 | m | Altezza dal suolo del punto considerato |
| c _t = | 1,00 | [-] | Coefficiente di topografia |
| c _d = | 1,00 | [-] | Coefficiente Dinamico |
| c _E = | 2,26 | [-] | Coefficiente di esposizione |
| c _p = | 1,80 | [-] | Coefficiente di forma su apparecchiature |
| p _v = | 1859,92053 | N/m ² | Pressione agente su sezionatore |

Tabella 4-Determinazione pressione del vento su palo e corpo illuminante

In corrispondenza del sezionatore l'azione del vento può essere schematizzata come una forza puntuale e vale:

| AZIONE SU SEZIONATORE | | | |
|-----------------------|-------|-------------------|-----------------------------|
| H _{C.ILL.} | 8,70 | m | Quota Sezionatore |
| A _{C.ILL.} | 0,50 | m ² | Superficie esposta al vento |
| p _v | 1,86 | kN/m ² | Pressione su sezionatore |
| F _x | 0,93 | kN | Taglio alla Base del Palo |
| M _y | 8,09 | kNm | Momento Alla Base del Palo |
| F _x | 0,93 | kN | Taglio in Fondazione |
| M _y | 10,60 | kNm | Momento in Fondazione |

Tabella 5-Azione del Vento sul Sezionatore

Il palo ha le seguenti caratteristiche: altezza 12 m, base di 180 mm, larghezza lato traliccio di 400 e peso di 7,48 KN (sono dimensioni massime cautelative):

L'azione del vento sul palo viene valutata considerando come quota di calcolo per il coefficiente di esposizione, l'altezza massima del palo e l'azione del vento ricavata viene considerata come un carico concentrato applica alla quota di mezzzeria del palo.

Di seguito si riporta il foglio di calcolo con esplicitati i vari valori ricavati.

| AZIONE SU PALO | | | |
|-------------------------------|-------|-------------------|-------------------------------------|
| $H_{PALO} =$ | 12,00 | m | Altezza Palo |
| $A_{palo\ esposta} =$ | 2,64 | m ² | Superficie esposta lato pieno |
| $A_{palo\ lato\ traliccio} =$ | 1,97 | m ² | Superficie esposta lato tralicciato |
| $p_v =$ | 3,15 | kN/m ² | Pressione del vento sul palo |
| $F_x =$ | 8,33 | kN | Taglio alla Base del Palo |
| $M_y =$ | 49,97 | kNm | Momento Alla Base del Palo |
| $F_x =$ | 8,33 | kN | Taglio in Fondazione |
| $M_y =$ | 72,46 | kNm | Momento in fondazione |

Tabella 6-Azione del vento sul palo

7.3 AZIONE DEL TRENO

Come richiesto dal manuale di progettazione di RFI viene considerato agente anche l'azione aerodinamica associata al passaggio dei convogli.

La velocità massima del binario di corsa è pari a 70km/h, al disotto di quelle prese a riferimento nel manuale e riportate nella figura sottostante, pertanto risulta trascurabile. Risulta trascurabile anche in funzione del fatto che i pali sezionatori non sono prossime alla linea, la loro distanza è di circa 10m dal binario e comunque all'interno della recinzione del piazzale della sottostazione.

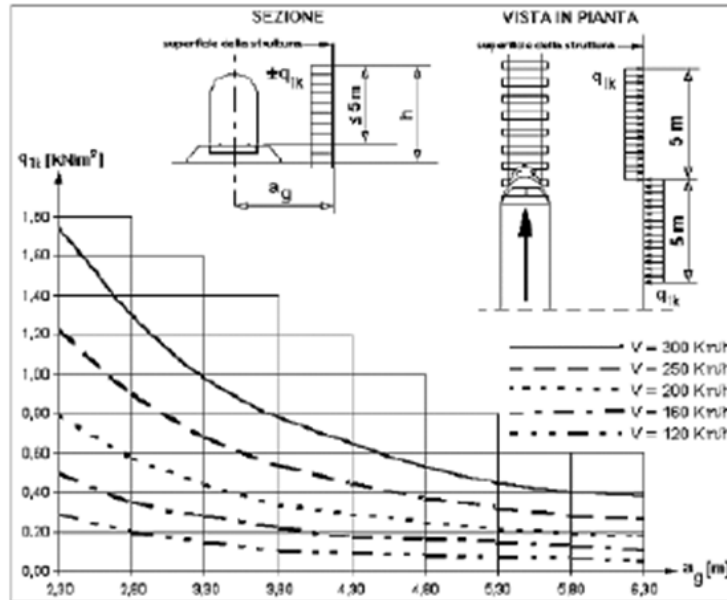


Figura 7-Valori caratteristici delle azioni q_{1k} per superfici verticali parallele al binario

7.4 AZIONE DELLA NEVE

Il carico della neve sulla copertura è valutato secondo il §3.4.1 delle NTC2018 mediante la seguente espressione:

$$q_s = q_{sk} \times \mu_1 \times C_E \times C_T$$

dove:

- q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo;
- μ_1 è il coefficiente di forma della copertura
- C_E è il coefficiente di esposizione
- C_T è il coefficiente termico

OPERE CIVILI PIAZZALE

 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 31 di 57 |

Valore di riferimento del carico della neve al suolo

La Palina oggetto di verifica sorge nel comune di Ripalta, pertanto ubicata in Zona II secondo la zonazione nazionale esposta al §3.4.2 delle NTC2018

| | | | |
|---|--|--|---|
| ○ | Zona I - Alpina Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza. | $q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/mq}$ | $a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$ |
| ○ | Zona I - Mediterranea Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese. | $q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] \text{ kN/mq}$ | $a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$ |
| ● | Zona II Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona. | $q_{sk} = 1,00 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$ | $a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$ |
| ○ | Zona III Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo. | $q_{sk} = 0,60 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$ | $a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$ |

Per i siti in esame aventi altitudine inferiore a 200 m s.l.m. il valore di riferimento del carico della neve al suolo risulta:

$$q_{sk} = 1 \text{ kN/m}^2$$

Coefficiente di forma della copertura

Per copertura a una falda con inclinazione compresa fra 0 e 30° il valore di μ_1 è 0.8.

| | |
|-----------------------------------|-----|
| α (inclinazione falda [°]) | 0 |
| μ | 0.8 |

Coefficiente di esposizione

| Topografia | Descrizione | C_E |
|------------|---|-------|
| Normale | Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi. | 1 |

OPERE CIVILI PIAZZALE

 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 32 di 57 |

Coefficiente termico

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato **C_t = 1**.

A vantaggio di sicurezza è stata considerata una superficie esposta pari ad 1 m².

Di seguito si riporta la scheda excel riepilogativa con i calcoli svolti.

| AZIONE DELLA NEVE | | | |
|--|------|-------------------|-----------------------------------|
| Comune di realizzazione dell'opera: | | Ripalta | |
| Zona di carico della neve: | | Zona II | |
| Altitudine del sito di realizzazione opera | | 10 m s.l.m. | |
| q _{sk} = | 1,00 | kN/m ² | Valore carico della neve al suolo |
| μ _i = | 0,80 | [-] | Coefficiente di forma |
| C _t = | 1,00 | [-] | Coefficiente termico |
| C _E = | 1,00 | [-] | Coefficiente di esposizione |
| q _s = q _{sk} x C _t x C _E = | 0,80 | kN/m ² | Carico da Neve |
| A= | 1,00 | m ² | Superficie esposta |
| Q _N = | 0,80 | kN | Carico da Neve |

Tabella 7-Parametri Carico da Neve

7.5 AZIONE DEL SISMA

Per quanto riguarda l'effetto del sisma sul palo sezionatore si considera, a favore di sicurezza, una forza pari al peso del palo con le apparecchiature, applicata a ¼ dell'altezza e moltiplicata per l'accelerazione sismica.

Come accelerazione sismica, a vantaggio di sicurezza viene considerato il valore corrispondente al plateau.

Di seguito si allega il calcolo:

| AZIONE SISMICA PALO SEZIONATORE | | | |
|--|-------|-----|----------------------|
| S _d = | 0,850 | g | Coordinata Spettrale |
| m= | 1,392 | ton | Massa Partecipante |

OPERE CIVILI PIAZZALE

 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 33 di 57 |

| | | | |
|------------|---------|-----|---|
| $\lambda=$ | 1,000 | [-] | Coefficiente Riduttivo per accumulo spostamenti |
| $h_b=$ | 9,000 | m | Quota baricentro massa partecipante |
| $F_x=$ | 11,611 | kN | Azione Orizzontale su piano di posa |
| $M_y=$ | 135,849 | kNm | Momento Flettente su piano di posa |

Tabella 8-Azione sismica su palo sezionatore

Per quanto riguarda l'azione del sisma sul blocco di fondazione, si considera una forza concentrata applicata al centro di massa del blocco di fondazione, con valore pari alla massa del blocco moltiplicata per l'accelerazione ottenuta dallo spettro di risposta di progetto considerando un periodo pari a 0 secondi.

Di seguito si riporta la relativa scheda di calcolo.

| SISMA BLOCCO DI FONDAZIONE | | | |
|----------------------------|---------|-----|---|
| $S_e=$ | 0,353 | g | Coordinata Spettrale |
| $m=$ | 28,168 | ton | Massa Partecipante |
| $\lambda=$ | 1,000 | [-] | Coefficiente Riduttivo per accumulo spostamenti |
| $h_b=$ | 1,149 | m | Quota baricentro massa partecipante |
| $F_x=$ | 97,543 | kN | Azione Orizzontale su piano di posa |
| $M_y=$ | 112,122 | kNm | Momento Flettente su piano di posa |

Tabella 9-Azione del Sisma sul Blocco di Fondazione

8 COMBINAZIONE DEI CARICHI

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2018 al par.2.5.3:

- Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d'esercizio:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} \dots$$

- Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots$$

- Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots$$

- Combinazione sismica:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots$$

Le azioni sismiche E_x ed E_y vengono combinate, con permutazione dei coefficienti moltiplicativi, in tal modo:

$$E = \pm 1.00 \cdot E_x \pm 0.3 \cdot E_y$$

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva delle combinazioni di calcolo considerate

OPERE CIVILI PIAZZALE

 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 35 di 57 |

| Combinazione | G1 | G2 | Q_H | N | Vx | Vy | Ex | Ey |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SLU 1 | 1,30 | 1,50 | 1,50 | 0,75 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 2 | 1,30 | 1,50 | 1,50 | 0,75 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 3 | 1,30 | 1,50 | 1,20 | 1,50 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 4 | 1,30 | 1,50 | 1,20 | 1,50 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 5 | 1,30 | 1,50 | 1,20 | 0,75 | 1,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 6 | 1,30 | 1,50 | 1,20 | 0,75 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 7 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 0,75 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 8 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 0,75 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 9 | 1,00 | 1,00 | 1,20 | 1,50 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 10 | 1,00 | 1,00 | 1,20 | 1,50 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 11 | 1,00 | 1,00 | 1,20 | 0,75 | 1,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 12 | 1,00 | 1,00 | 1,20 | 0,75 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 13 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLU 14 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 0,00 |
| SLV 1 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,30 |
| SLV 2 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 1,00 |
| EQU 1 | 0,90 | 0,90 | 1,50 | 0,75 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 2 | 0,90 | 0,90 | 1,50 | 0,75 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 3 | 0,90 | 0,90 | 1,20 | 1,50 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 4 | 0,90 | 0,90 | 1,20 | 1,50 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 5 | 0,90 | 0,90 | 1,20 | 0,75 | 1,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 6 | 0,90 | 0,90 | 1,20 | 0,75 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 7 | 0,90 | 0,90 | 1,50 | 0,75 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 8 | 0,90 | 0,90 | 1,50 | 0,75 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 9 | 0,90 | 0,90 | 1,20 | 1,50 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 10 | 0,90 | 0,90 | 1,20 | 1,50 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 11 | 0,90 | 0,90 | 1,20 | 0,75 | 1,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 12 | 0,90 | 0,90 | 1,20 | 0,75 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 13 | 0,90 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| EQU 14 | 0,90 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 0,00 |
| SLE Rara1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLE Rara2 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 |
| SLE Rara3 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLE Rara4 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 |
| SLE Rara5 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLE Rara6 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLE Freq.1 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLE Freq.2 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLE Freq.3 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | 0,00 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SLE Freq.4 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 0,00 | 0,00 |
| SLS QP1 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tabella 10-Combinazioni di Carico

9 MODELLO DI CALCOLO

9.1 CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI

Per il calcolo del blocco di fondazione del palo sezionatore sono stati redatti appositi fogli di calcolo mediante il software Excel; di seguito verranno allegati tutti i calcoli di verifica effettuati sul blocco di fondazione.

9.2 CARICHI DI PROGETTO

In conseguenza di quanto riportato nei paragrafi precedenti relativamente al palo sezionatore si ottengono i vari casi di carico, che rappresentano le azioni agenti alla base del palo sezionatore; per comodità si riassumono i vari carichi calcolati nei capitoli precedenti e si allega la tabella con le combinazioni di carico che verranno utilizzate per le verifiche del blocco di fondazione:

| CARICHI VERTICALI PERMANENTI | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|--------|------|-----------|
| Peso plinto | P_b | 276,33 | kN | G1 |
| Peso Palo | P_{palo} | 9,66 | kN | G1 |
| Peso Apparecchiature. | $P_{apparecchiature}$ | 4,00 | kN | G2 |
| Peso Terreno su Blocco | $P_{terreno}$ | 0 | kN | G1 |
| CARICHI NEVE | | | | |
| Peso Neve | Q_N | 0,80 | kN | N |
| SISMA | | | | |
| Azione Sisma su Palo | V | 11,611 | kN | E |
| | M | 135,85 | kN*m | E |
| Azione Sisma su Blocco | V | 97,543 | kN | E |
| | M | 112,12 | kN*m | E |
| VENTO | | | | |
| Carico MAX | F | 9,26 | kN | V |
| | M | 58,06 | kNm | V |
| | | | | |
| Ormeggio Alim | | | | |
| | Palim | 0,52 | kN | G2 |
| ormeggio230x2 | V | 4,12 | kN | G2 |
| | M | 49,44 | kN*m | G2 |

Tabella 11-Carichi Applicati al modello

OPERE CIVILI PIAZZALE
 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 37 di 57 |

| CASI DI CARICO STRUTTURA IN ELEVAZIONE | | | | | | | | |
|--|------|-------|------|------|-------|-------|--------|--------|
| Caso di carico | G1 | G2 | Q_H | N | Vx | Vy | Ex | Ey |
| Fx[kN] | 0,00 | 4,12 | 0,00 | 0,00 | 9,26 | 0,00 | 11,61 | 0,00 |
| Fy[kN] | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,26 | 0,00 | 11,61 |
| Fz[kN] | 9,66 | 4,00 | 0,00 | 0,98 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mx[kN*m] | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 58,06 | 0,00 | 135,85 |
| My[kN*m] | 0,00 | 49,44 | 0,00 | 0,00 | 58,06 | 0,00 | 135,85 | 0,00 |
| Mz[kN*m] | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

| CASI DI CARICO SU PIANO DI POSA | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-------|------|------|-------|-------|--------|--------|
| Caso di carico | G1 | G2 | Q_H | N | Vx | Vy | Ex | Ey |
| Fx[kN] | 0,00 | 4,12 | 0,00 | 0,00 | 9,26 | 0,00 | 109,15 | 0,00 |
| Fy[kN] | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,26 | 0,00 | 109,15 |
| Fz[kN] | 285,99 | 4,00 | 0,00 | 0,98 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mx[kN*m] | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 83,06 | 0,00 | 247,97 |
| My[kN*m] | 0,00 | 60,56 | 0,00 | 0,00 | 83,06 | 0,00 | 247,97 | 0,00 |
| Mz[kN*m] | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tabella 12-Casi di Carico

| TABELLA CARICHI ALLA BASE DEL PALO | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Combinazione | Fx | Fy | Fz | Mx | My | Mz |
| | [kN] | [kN] | [kN] | [kN*m] | [kN*m] | [kN*m] |
| SLU 1 | 14,51 | 0,00 | 19,29 | 0,00 | 126,42 | 0,00 |
| SLU 2 | 6,18 | 8,33 | 19,29 | 52,26 | 74,16 | 0,00 |
| SLU 3 | 14,51 | 0,00 | 20,02 | 0,00 | 126,42 | 0,00 |
| SLU 4 | 6,18 | 8,33 | 20,02 | 52,26 | 74,16 | 0,00 |
| SLU 5 | 20,07 | 0,00 | 19,29 | 0,00 | 161,26 | 0,00 |
| SLU 6 | 6,18 | 13,89 | 19,29 | 87,10 | 74,16 | 0,00 |
| SLU 7 | 12,45 | 0,00 | 14,39 | 0,00 | 101,70 | 0,00 |
| SLU 8 | 4,12 | 8,33 | 14,39 | 52,26 | 49,44 | 0,00 |
| SLU 9 | 12,45 | 0,00 | 15,12 | 0,00 | 101,70 | 0,00 |
| SLU 10 | 4,12 | 8,33 | 15,12 | 52,26 | 49,44 | 0,00 |

OPERE CIVILI PIAZZALE

 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 38 di 57 |

| | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|--------|--------|------|
| SLU 11 | 18,01 | 0,00 | 14,39 | 0,00 | 136,54 | 0,00 |
| SLU 12 | 4,12 | 13,89 | 14,39 | 87,10 | 49,44 | 0,00 |
| SLU 13 | 18,01 | 0,00 | 13,66 | 0,00 | 136,54 | 0,00 |
| SLU 14 | 4,12 | 13,89 | 13,66 | 87,10 | 49,44 | 0,00 |
| SLV 1 | 15,73 | 3,48 | 13,66 | 40,75 | 185,29 | 0,00 |
| SLV 2 | 7,60 | 11,61 | 13,66 | 135,85 | 90,19 | 0,00 |
| EQU 1 | 12,04 | 0,00 | 13,03 | 0,00 | 96,75 | 0,00 |
| EQU 2 | 3,71 | 8,33 | 13,03 | 52,26 | 44,50 | 0,00 |
| EQU 3 | 12,04 | 0,00 | 13,76 | 0,00 | 96,75 | 0,00 |
| EQU 4 | 3,71 | 8,33 | 13,76 | 52,26 | 44,50 | 0,00 |
| EQU 5 | 17,60 | 0,00 | 13,03 | 0,00 | 131,59 | 0,00 |
| EQU 6 | 3,71 | 13,89 | 13,03 | 87,10 | 44,50 | 0,00 |
| | | | | | | |
| EQU 7 | 12,04 | 0,00 | 13,03 | 0,00 | 96,75 | 0,00 |
| | | | | | | |
| EQU 8 | 3,71 | 8,33 | 13,03 | 52,26 | 44,50 | 0,00 |
| EQU 9 | 12,04 | 0,00 | 13,76 | 0,00 | 96,75 | 0,00 |
| EQU 10 | 3,71 | 8,33 | 13,76 | 52,26 | 44,50 | 0,00 |
| | | | | | | |
| EQU 11 | 17,60 | 0,00 | 13,03 | 0,00 | 131,59 | 0,00 |
| EQU 12 | 3,71 | 13,89 | 13,03 | 87,10 | 44,50 | 0,00 |
| EQU 13 | 17,60 | 0,00 | 12,29 | 0,00 | 131,59 | 0,00 |
| EQU 14 | 3,71 | 13,89 | 12,29 | 87,10 | 44,50 | 0,00 |
| SLE Rara1 | 9,68 | 0,00 | 14,15 | 0,00 | 84,28 | 0,00 |
| SLE Rara2 | 4,12 | 5,56 | 14,15 | 34,84 | 49,44 | 0,00 |
| SLE Rara3 | 9,68 | 0,00 | 14,64 | 0,00 | 84,28 | 0,00 |
| SLE Rara4 | 4,12 | 5,56 | 14,64 | 34,84 | 49,44 | 0,00 |
| SLE Rara5 | 13,38 | 0,00 | 14,15 | 0,00 | 107,50 | 0,00 |
| SLE Rara6 | 4,12 | 9,26 | 14,15 | 58,06 | 49,44 | 0,00 |
| SLE Freq.1 | 4,12 | 0,00 | 13,66 | 0,00 | 49,44 | 0,00 |
| SLE Freq.2 | 4,12 | 0,00 | 13,86 | 0,00 | 49,44 | 0,00 |
| SLE Freq.3 | 5,97 | 0,00 | 13,66 | 0,00 | 61,05 | 0,00 |
| SLE Freq.4 | 4,12 | 1,85 | 13,66 | 11,61 | 49,44 | 0,00 |
| SLS QP1 | 4,12 | 0,00 | 13,66 | 0,00 | 49,44 | 0,00 |

Tabella 13-Cobinazione dei Carichi Applicati alla base del palo

OPERE CIVILI PIAZZALE
 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 39 di 57 |

TABELLA CARICHI A quota imposta fondazione

| Combinazione | Fx | Fy | Fz | Mx | My | Mz |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | [kN] | [kN] | [kN] | [kN*m] | [kN*m] | [kN*m] |
| SLU 1 | 14,51 | 0,00 | 378,51 | 0,00 | 165,60 | 0,00 |
| SLU 2 | 6,18 | 8,33 | 378,51 | 74,76 | 90,85 | 0,00 |
| SLU 3 | 14,51 | 0,00 | 379,24 | 0,00 | 165,60 | 0,00 |
| SLU 4 | 6,18 | 8,33 | 379,24 | 74,76 | 90,85 | 0,00 |
| SLU 5 | 20,07 | 0,00 | 378,51 | 0,00 | 215,44 | 0,00 |
| SLU 6 | 6,18 | 13,89 | 378,51 | 124,59 | 90,85 | 0,00 |
| SLU 7 | 12,45 | 0,00 | 290,72 | 0,00 | 135,32 | 0,00 |
| SLU 8 | 4,12 | 8,33 | 290,72 | 74,76 | 60,56 | 0,00 |
| SLU 9 | 12,45 | 0,00 | 291,45 | 0,00 | 135,32 | 0,00 |
| SLU 10 | 4,12 | 8,33 | 291,45 | 74,76 | 60,56 | 0,00 |
| SLU 11 | 18,01 | 0,00 | 290,72 | 0,00 | 185,16 | 0,00 |
| SLU 12 | 4,12 | 13,89 | 290,72 | 124,59 | 60,56 | 0,00 |
| SLU 13 | 18,01 | 0,00 | 289,99 | 0,00 | 185,16 | 0,00 |
| SLU 14 | 4,12 | 13,89 | 289,99 | 124,59 | 60,56 | 0,00 |
| SLV 1 | 113,27 | 32,75 | 289,99 | 74,39 | 308,53 | 0,00 |
| SLV 2 | 36,87 | 109,15 | 289,99 | 247,97 | 134,96 | 0,00 |
| EQU 1 | 12,04 | 0,00 | 261,72 | 0,00 | 129,26 | 0,00 |
| EQU 2 | 3,71 | 8,33 | 261,72 | 74,76 | 54,51 | 0,00 |
| EQU 3 | 12,04 | 0,00 | 262,45 | 0,00 | 129,26 | 0,00 |
| EQU 4 | 3,71 | 8,33 | 262,45 | 74,76 | 54,51 | 0,00 |
| EQU 5 | 17,60 | 0,00 | 261,72 | 0,00 | 179,10 | 0,00 |
| EQU 6 | 3,71 | 13,89 | 261,72 | 124,59 | 54,51 | 0,00 |
| EQU 7 | 12,04 | 0,00 | 261,72 | 0,00 | 129,26 | 0,00 |
| EQU 8 | 3,71 | 8,33 | 261,72 | 74,76 | 54,51 | 0,00 |
| EQU 9 | 12,04 | 0,00 | 262,45 | 0,00 | 129,26 | 0,00 |
| EQU 10 | 3,71 | 8,33 | 262,45 | 74,76 | 54,51 | 0,00 |
| EQU 11 | 17,60 | 0,00 | 261,72 | 0,00 | 179,10 | 0,00 |
| EQU 12 | 3,71 | 13,89 | 261,72 | 124,59 | 54,51 | 0,00 |
| EQU 13 | 17,60 | 0,00 | 260,99 | 0,00 | 179,10 | 0,00 |
| EQU 14 | 3,71 | 13,89 | 260,99 | 124,59 | 54,51 | 0,00 |
| SLE Rara1 | 9,68 | 0,00 | 290,47 | 0,00 | 110,40 | 0,00 |

OPERE CIVILI PIAZZALE

 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 40 di 57 |

| | | | | | | |
|------------|-------|------|--------|-------|--------|------|
| SLE Rara2 | 4,12 | 5,56 | 290,47 | 49,84 | 60,56 | 0,00 |
| SLE Rara3 | 9,68 | 0,00 | 290,96 | 0,00 | 110,40 | 0,00 |
| SLE Rara4 | 4,12 | 5,56 | 290,96 | 49,84 | 60,56 | 0,00 |
| SLE Rara5 | 13,38 | 0,00 | 290,47 | 0,00 | 143,63 | 0,00 |
| SLE Rara6 | 4,12 | 9,26 | 290,47 | 83,06 | 60,56 | 0,00 |
| SLE Freq.1 | 4,12 | 0,00 | 289,99 | 0,00 | 60,56 | 0,00 |
| SLE Freq.2 | 4,12 | 0,00 | 290,18 | 0,00 | 60,56 | 0,00 |
| SLE Freq.3 | 5,97 | 0,00 | 289,99 | 0,00 | 77,18 | 0,00 |
| SLE Freq.4 | 4,12 | 1,85 | 289,99 | 16,61 | 60,56 | 0,00 |
| SLS QP1 | 4,12 | 0,00 | 289,99 | 0,00 | 60,56 | 0,00 |

Tabella 14-Combinazione dei Carichi applicati sul piano di posa

10 CRITERI DI CALCOLO

10.1 VERIFICA DI RIBALTAMENTO

Le verifiche a ribaltamento SLU e GEO vengono effettuate con l'Approccio 2, che prevede una sola combinazione dei coefficienti:

(A1+M1+R3)

in cui i coefficienti parziali di sicurezza R3 (come da NTC2018) sono pari a:

| Verifica | Coefficiente parziale (R3) |
|------------------------------------|----------------------------|
| Capacità portante della fondazione | $\gamma_R = 1,4$ |
| Scorrimento | $\gamma_R = 1,1$ |
| Ribaltamento | $\gamma_R = 1,15$ |
| Resistenza del terreno a valle | $\gamma_R = 1,4$ |

Tabella 15-Coefficienti Parziali per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno

Dalla condizione di equilibrio alla rotazione attorno all'asse - r – (vedi figura schematica seguente) si ha:

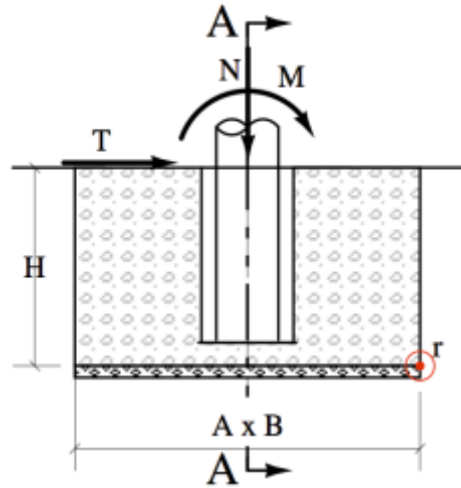


Figura 8-Schema di calcolo per verifica ribaltamento

H=2,2 m;

A = 2,2 m;

B=2,2 m;

Il momento stabilizzante dovuto ai carichi verticali (a vantaggio di sicurezza il momento stabilizzante dovuto al terreno laterale non viene considerato) vale:

$$M_{sx} = M_{sy} = [(Fz) \times a/2] / \gamma_R \quad [\text{in } Fz \text{ è compreso il peso del blocco di fondazione}]$$

Il momento ribaltante nelle direzioni x e y vale:

$$M_{rx} = (M_x + F_y \cdot H)$$

$$M_{ry} = (M_y + F_x \cdot H)$$

e devono essere soddisfatte la seguente relazioni:

$$M_{rx} / M_{sx} < 1$$

$$M_{ry} / M_{sy} < 1$$

Si allega la tabella con le verifiche per le varie combinazioni di carico:

| TABELLA CON LE VERIFICA RIBALTAMENTO NELLE VARIE COMBINAZIONI DI CARICO | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|--|
| Combinazione | M _{sx} [kN*m] | M _{sy} [kN*m] | M _{rx} [kN*m] | M _{ry} [kN*m] | M _{rx} / M _{sx} < 1 | ESITO | M _{ry} / M _{sy} < 1 | ESITO | |
| SLU 1 | 416,36 | 416,36 | 0,00 | 165,60 | 0,000 | OK | 0,398 | OK | |
| SLU 2 | 416,36 | 416,36 | 74,76 | 90,85 | 0,180 | OK | 0,218 | OK | |
| SLU 3 | 417,17 | 417,17 | 0,00 | 165,60 | 0,000 | OK | 0,397 | OK | |
| SLU 4 | 417,17 | 417,17 | 74,76 | 90,85 | 0,179 | OK | 0,218 | OK | |

OPERE CIVILI PIAZZALE

 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 42 di 57 |

| | | | | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|-------|----|-------|----|
| SLU 5 | 416,36 | 416,36 | 0,00 | 215,44 | 0,000 | OK | 0,517 | OK |
| SLU 6 | 416,36 | 416,36 | 124,59 | 90,85 | 0,299 | OK | 0,218 | OK |
| SLU 7 | 319,79 | 319,79 | 0,00 | 135,32 | 0,000 | OK | 0,423 | OK |
| SLU 8 | 319,79 | 319,79 | 74,76 | 60,56 | 0,234 | OK | 0,189 | OK |
| SLU 9 | 320,59 | 320,59 | 0,00 | 135,32 | 0,000 | OK | 0,422 | OK |
| SLU 10 | 320,59 | 320,59 | 74,76 | 60,56 | 0,233 | OK | 0,189 | OK |
| SLU 11 | 319,79 | 319,79 | 0,00 | 185,16 | 0,000 | OK | 0,579 | OK |
| SLU 12 | 319,79 | 319,79 | 124,59 | 60,56 | 0,390 | OK | 0,189 | OK |
| SLU 13 | 318,98 | 318,98 | 0,00 | 185,16 | 0,000 | OK | 0,580 | OK |
| SLU 14 | 318,98 | 318,98 | 124,59 | 60,56 | 0,391 | OK | 0,190 | OK |
| SLV 1 | 318,98 | 318,98 | 74,39 | 308,53 | 0,233 | OK | 0,967 | OK |
| SLV 2 | 318,98 | 318,98 | 247,97 | 134,96 | 0,777 | OK | 0,423 | OK |
| EQU 1 | 287,89 | 287,89 | 0,00 | 129,26 | 0,000 | OK | 0,449 | OK |
| EQU 2 | 287,89 | 287,89 | 74,76 | 54,51 | 0,260 | OK | 0,189 | OK |
| EQU 3 | 288,69 | 288,69 | 0,00 | 129,26 | 0,000 | OK | 0,448 | OK |
| EQU 4 | 288,69 | 288,69 | 74,76 | 54,51 | 0,259 | OK | 0,189 | OK |
| EQU 5 | 287,89 | 287,89 | 0,00 | 179,10 | 0,000 | OK | 0,622 | OK |
| EQU 6 | 287,89 | 287,89 | 124,59 | 54,51 | 0,433 | OK | 0,189 | OK |
| EQU 7 | 287,89 | 287,89 | 0,00 | 129,26 | 0,000 | OK | 0,449 | OK |
| EQU 8 | 287,89 | 287,89 | 74,76 | 54,51 | 0,260 | OK | 0,189 | OK |
| EQU 9 | 288,69 | 288,69 | 0,00 | 129,26 | 0,000 | OK | 0,448 | OK |
| EQU 10 | 288,69 | 288,69 | 74,76 | 54,51 | 0,259 | OK | 0,189 | OK |
| EQU 11 | 287,89 | 287,89 | 0,00 | 179,10 | 0,000 | OK | 0,622 | OK |
| EQU 12 | 287,89 | 287,89 | 124,59 | 54,51 | 0,433 | OK | 0,189 | OK |
| EQU 13 | 287,09 | 287,09 | 0,00 | 179,10 | 0,000 | OK | 0,624 | OK |
| EQU 14 | 287,09 | 287,09 | 124,59 | 54,51 | 0,434 | OK | 0,190 | OK |
| SLE Rara1 | 319,52 | 319,52 | 0,00 | 110,40 | 0,000 | OK | 0,346 | OK |
| SLE Rara2 | 319,52 | 319,52 | 49,84 | 60,56 | 0,156 | OK | 0,190 | OK |
| SLE Rara3 | 320,06 | 320,06 | 0,00 | 110,40 | 0,000 | OK | 0,345 | OK |
| SLE Rara4 | 320,06 | 320,06 | 49,84 | 60,56 | 0,156 | OK | 0,189 | OK |
| SLE Rara5 | 319,52 | 319,52 | 0,00 | 143,63 | 0,000 | OK | 0,450 | OK |
| SLE Rara6 | 319,52 | 319,52 | 83,06 | 60,56 | 0,260 | OK | 0,190 | OK |
| SLE Freq.1 | 318,98 | 318,98 | 0,00 | 60,56 | 0,000 | OK | 0,190 | OK |
| SLE Freq.2 | 319,20 | 319,20 | 0,00 | 60,56 | 0,000 | OK | 0,190 | OK |
| SLE Freq.3 | 318,98 | 318,98 | 0,00 | 77,18 | 0,000 | OK | 0,242 | OK |
| SLE Freq.4 | 318,98 | 318,98 | 16,61 | 60,56 | 0,052 | OK | 0,190 | OK |
| SLS QP1 | 318,98 | 318,98 | 0,00 | 60,56 | 0,000 | OK | 0,190 | OK |

Tabella 16-Verifica a Ribaltamento

10.2 VERIFICA DI SCORRIMENTO - TRASLAZIONE

Per la verifica a scorrimento del blocco lungo il piano di fondazione deve risultare, che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa, che tendono a fare scorrere la fondazione, deve essere minore di tutte le forze parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. In particolare, la Normativa, richiede che il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scorrimento FR e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il blocco Fs sia:

$$FR / Fs \geq R3 = 1,1 \text{ per l'approccio 2}$$

Con $F_s = (F_x^2 + F_y^2)^{0,5}$ somma vettoriale delle componenti della forza parallela al piano di posa (taglio massimo), e con FR, la forza resistente.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione, Fz composto dal carico totale di calcolo agente sul blocco e il peso del blocco stesso, indicando con "φ" l'angolo d'attrito tra interfaccia terreno-calcestruzzo si avrà:

$$FR = Fz \times \tan \phi$$

L'azione di taglio agente in testa al blocco di fondazione **Fs** nella realtà viene completamente contrastata dalla presenza del terreno laterale alla fondazione. Facendo comunque astrazione da questa condizione avremo la seguente tabella con le verifiche per tutte le combinazioni di carico:

| TABELLA CON LE VERIFICA ALLOSCORRIMENTO NELLE VARIE COMBINAZIONI DI CARICO | | | | |
|---|----------------|----------------|-----------------------|--------------|
| Combinazione | Fs [kN] | FR [kN] | FR/Fs > 1,1 | ESITO |
| SLU 1 | 14,51 | 204,82 | 14,113 | OK |
| SLU 2 | 10,37 | 204,82 | 19,743 | OK |
| SLU 3 | 14,51 | 205,15 | 14,136 | OK |
| SLU 4 | 10,37 | 205,15 | 19,775 | OK |
| SLU 5 | 20,07 | 204,82 | 10,206 | OK |
| SLU 6 | 15,20 | 204,82 | 13,474 | OK |
| SLU 7 | 12,45 | 165,74 | 13,309 | OK |
| SLU 8 | 9,30 | 165,74 | 17,829 | OK |
| SLU 9 | 12,45 | 166,06 | 13,335 | OK |
| SLU 10 | 9,30 | 166,06 | 17,864 | OK |
| SLU 11 | 18,01 | 165,74 | 9,203 | OK |

OPERE CIVILI PIAZZALE

 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 44 di 57 |

| | | | | |
|------------|--------|--------|--------|----|
| SLU 12 | 14,49 | 165,74 | 11,441 | OK |
| SLU 13 | 18,01 | 165,41 | 9,185 | OK |
| SLU 14 | 14,49 | 165,41 | 11,418 | OK |
| SLV 1 | 117,91 | 165,41 | 1,403 | OK |
| SLV 2 | 115,21 | 165,41 | 1,436 | OK |
| EQU 1 | 12,04 | 152,82 | 12,692 | OK |
| EQU 2 | 9,12 | 152,82 | 16,756 | OK |
| EQU 3 | 12,04 | 153,15 | 12,719 | OK |
| EQU 4 | 9,12 | 153,15 | 16,792 | OK |
| EQU 5 | 17,60 | 152,82 | 8,685 | OK |
| EQU 6 | 14,37 | 152,82 | 10,632 | OK |
| EQU 7 | 12,04 | 152,82 | 12,692 | OK |
| EQU 8 | 9,12 | 152,82 | 16,756 | OK |
| EQU 9 | 12,04 | 153,15 | 12,719 | OK |
| EQU 10 | 9,12 | 153,15 | 16,792 | OK |
| EQU 11 | 17,60 | 152,82 | 8,685 | OK |
| EQU 12 | 14,37 | 152,82 | 10,632 | OK |
| EQU 13 | 17,60 | 152,50 | 8,667 | OK |
| EQU 14 | 14,37 | 152,50 | 10,609 | OK |
| SLE Rara1 | 9,68 | 165,63 | 17,119 | OK |
| SLE Rara2 | 6,92 | 165,63 | 23,947 | OK |
| SLE Rara3 | 9,68 | 165,84 | 17,141 | OK |
| SLE Rara4 | 6,92 | 165,84 | 23,979 | OK |
| SLE Rara5 | 13,38 | 165,63 | 12,380 | OK |
| SLE Rara6 | 10,13 | 165,63 | 16,344 | OK |
| SLE Freq.1 | 4,12 | 165,41 | 40,148 | OK |
| SLE Freq.2 | 4,12 | 165,50 | 40,169 | OK |
| SLE Freq.3 | 5,97 | 165,41 | 27,699 | OK |
| SLE Freq.4 | 4,52 | 165,41 | 36,619 | OK |
| SLS QP1 | 4,12 | 165,41 | 40,148 | OK |

Tabella 17-Verifica a Scorrimento

Il blocco di fondazione risulta verificato allo scorrimento.

10.3 CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE

La verifica della capacità portante del terreno di fondazione è svolta in accordo con le NTC2018. La verifica della capacità portante consiste nel confronto tra il carico verticale di esercizio in fondazione e il carico limite per il terreno. La stabilità della base della fondazione nei riguardi di un superamento della capacità portante viene assicurata applicando alla capacità portante ultima calcolata un fattore di sicurezza maggiore uguale a 2,3.

Per il calcolo della capacità portante si è adottato il metodo descritto in “Lancellotta- Geotecnica- Ed. Zanichelli - 1993” basato sulle indicazioni teoriche di diversi autori (Terzaghi, Meyerof, Vesic e Brinch Hansen) che fornisce la seguente espressione generale per la valutazione della pressione limite di rottura del terreno:

$$q_{lim} = c' N_c D_c S_c + q_o' N_q D_q S_q + 0,5 \gamma A' N_\gamma D_\gamma S_\gamma$$

dove:

- γ = Peso di volume efficace del terreno di fondazione;
- c', ϕ' = Parametri di resistenza al taglio del terreno di fondazione in condizioni drenate;
- A' = Dimensione efficace della fondazione, funzione dell'eccentricità dei carichi;
- q_o' = Pressione efficace litostatica verticale al livello del piano di posa della fondazione;
- N_g, N_c, N_γ = Fattori di capacità portante funzione della resistenza al taglio;
- S_g, S_c, S_γ = Fattori di forma dipendenti dal rapporto fra le dimensioni dell'impronta della fondazione;
- D_g, D_c, D_γ = Fattori di profondità funzione del rapporto fra l'approfondimento del piano di posa e le dimensioni reali della fondazione;

Altri simboli utilizzati nelle verifiche:

- B = dimensione reale della fondazione longitudinale al binario;
- A = dimensione reale della fondazione trasversale al binario;
- A_{ef} = $B' \times A'$ = area efficace della fondazione;
- e_T = eccentricità del carico rapporto tra momento flettente e carico verticale in direzione trasversale (x);

OPERE CIVILI PIAZZALE

Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 46 di 57 |

e_L = eccentricità del carico rapporto tra momento flettente e carico verticale in direzione longitudinale (y);

La pressione ammissibile netta vale:

$$P_{amm} = (q_{lim} - q_0') / FS + q_0'$$

Le dimensioni efficaci della fondazione sono valutate tramite le seguenti espressioni (Meyeroff, 1953):

$$B' = B - 2e_T$$

$$A' = A - 2e_L$$

Per il calcolo dei fattori di capacità portante N_q e N_c si farà riferimento alle espressioni ricavate da Prandtl (1921) e da Reissner (1924). Per il fattore N_γ si fa riferimento all'espressione proposta da Caquot e Kérisel (1953):

$$N_q = \tan^2(\pi/4 + \phi'/2) e^{\pi \tan \phi'}$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

Per i coefficienti di forma si adottano le seguenti espressioni:

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot (B'/A')$$

$$s_c = 1 + B' \cdot N_q / (A' \cdot N_c)$$

$$s_q = 1 + (B' \cdot \tan \phi') / A'$$

Per tener conto dell'approfondimento del piano di posa si adottano le seguenti espressioni:

$$d_\gamma = 1$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \cdot k$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \cdot \tan \phi')$$

essendo:

$$k = (D_f / A) \quad \text{per } D_f / A \leq 1$$

$$k = \tan^{-1}(D_f / A) \quad \text{per } D_f / A > 1$$

La forza verticale limite vale:

$$F_{zlim} = q_{lim} \times A_{ef}$$

Il fattore di sicurezza della capacità portante può essere espresso come:

OPERE CIVILI PIAZZALE
Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| | | | | | |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 47 di 57 |

$$FC = q_{LIM} / [(NEd + Pb) / Aef]$$

Per semplicità e per non appesantire la relazione si riporta la verifica dello stato limite del terreno solo per la combinazione più gravosa che risulta essere la SLV2. Di seguito si allega il foglio di calcolo con le verifiche:

Fondazioni Dirette
Verifica in tensioni efficaci

$$q_{lim} = c * N_c * s_c * d_c * i_c * b_c * g_c + q * N_q * s_q * d_q * i_q * b_q * g_q + 0,5 * \gamma * B * N_{\gamma} * s_{\gamma} * d_{\gamma} * i_{\gamma} * b_{\gamma} * g_{\gamma}$$

D = Profondità del piano di appoggio

e_B = Eccentricità in direzione B ($e_B = Mb/N$)

e_L = Eccentricità in direzione L ($e_L = Ml/N$) (per fondazione nastriforme $e_L = 0$; $L^* = L$)

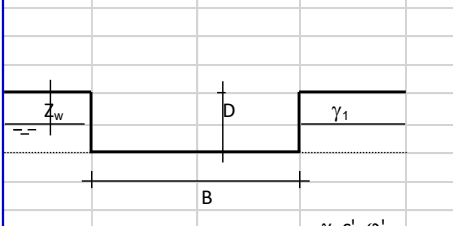
B^* = Larghezza fittizia della fondazione ($B^* = B - 2 * e_B$)

L^* = Lunghezza fittizia della fondazione ($L^* = L - 2 * e_L$)

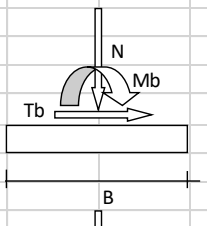
(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

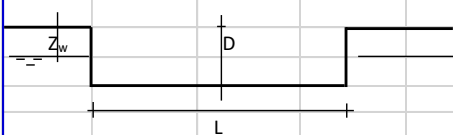
coefficienti parziali

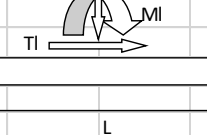
| Metodo di calcolo | azioni | | proprietà del terreno | |
|----------------------|------------|----------------------|-----------------------|------|
| | permanenti | temporanee variabili | $\tan \varphi'$ | c' |
| Stato limite ultimo | 1,00 | 1,30 | 1,25 | 1,25 |
| Tensioni ammissibili | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| definiti dall'utente | 1,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |



γ, c', φ'

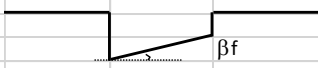




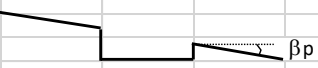


(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

| | | |
|-----|------|-----|
| B = | 2,20 | (m) |
| L = | 2,20 | (m) |
| D = | 2,20 | (m) |



$\beta_f = 0,00$ (°)



$\beta_p = 0,00$ (°)

OPERE CIVILI PIAZZALE

Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 48 di 57 |

| | | AZIONI | | |
|---|----------|---------------------------|------------|----------------------|
| | | valori di input | | Valori di calcolo |
| | | permanenti | temporanee | |
| | N [kN] | 289,99 | | 289,99 |
| | Mb [kNm] | 247,97 | 0,00 | 247,97 |
| | Ml [kNm] | 134,96 | 0,00 | 134,96 |
| | Tb [kN] | 36,87 | 0,00 | 36,87 |
| | Tl [kN] | 109,15 | 0,00 | 109,15 |
| | H [kN] | 115,21 | 0,00 | 115,21 |
| Peso unità di volume del terreno | | | | |
| γ_1 | = | 19,00 | (kN/mc) | |
| γ | = | 19,00 | (kN/mc) | |
| Valori caratteristici di resistenza del terreno | | Valori di progetto | | |
| c' | = | 75,00 | (kN/mq) | c' = 75,00 (kN/mq) |
| ϕ' | = | 24,00 | (°) | ϕ' = 24,00 (°) |
| Profondità della falda | | | | |
| Z_w | = | 2,38 | (m) | |
| e_B | = | 0,86 | (m) | B^* = 0,49 (m) |
| e_L | = | 0,47 | (m) | L^* = 1,27 (m) |
| q : sovraccarico alla profondità D | | | | |
| q | = | 41,80 | (kN/mq) | |
| γ : peso di volume del terreno di fondazione | | | | |
| γ | = | 9,82 | (kN/mc) | |
| <u>Nc, Nq, Ny : coefficienti di capacità portante</u> | | | | |
| $Nq = \tan^2(45 + \phi'/2) * e^{(\pi * \tan \phi')}$ | | | | |
| Nq | = | 9,60 | | |
| $Nc = (Nq - 1) / \tan \phi'$ | | | | |
| Nc | = | 19,32 | | |
| $Ny = 2 * (Nq + 1) * \tan \phi'$ | | | | |
| Ny | = | 9,44 | | |

OPERE CIVILI PIAZZALE
 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 49 di 57 |

S_c, S_q, S_γ : fattori di forma

$$S_c = 1 + B \cdot N_q / (L^* \cdot N_c)$$

$$S_c = 1,19$$

$$S_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L^*$$

$$S_q = 1,17$$

$$S_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B^* / L^*$$

$$S_\gamma = 0,85$$

i_c, i_q, i_γ : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,72 \quad \theta = \arctg(T_b / T_l) = 18,66 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,28 \quad m = 1,32 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^m$$

(m=2 nel caso di fondazione nastroforme e m=(m_bsin²θ+m_lcos²θ) in tutti gli altri)

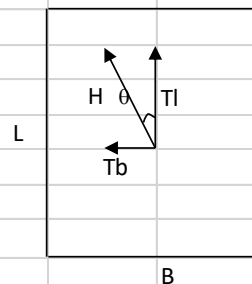
$$i_q = 0,63$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 0,59$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B \cdot L^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0,45$$


d_c, d_q, d_γ : fattori di profondità del piano di appoggio

per $D/B^* \leq 1$; $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi)^2 / B^*$

per $D/B^* > 1$; $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi)^2) \cdot \arctan (D / B^*)$

$$d_q = 1,42$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi)$$

$$d_c = 1,47$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1,00$$

OPERE CIVILI PIAZZALE
Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 50 di 57 |

| | | | | | |
|---|---------|-----------------------|------|--|--------------------------------|
| <u>b_c, b_q, b_γ : fattori di inclinazione base della fondazione</u> | | | | | |
| $b_q = (1 - \beta_f \tan\phi')^2$ | | $\beta_f + \beta_p =$ | 0,00 | | $\beta_f + \beta_p < 45^\circ$ |
| $b_q =$ | 1,00 | | | | |
| $b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\phi')$ | | | | | |
| $b_c =$ | 1,00 | | | | |
| $b_\gamma = b_q$ | | | | | |
| $b_\gamma =$ | 1,00 | | | | |
| <u>g_c, g_q, g_γ : fattori di inclinazione piano di campagna</u> | | | | | |
| $g_q = (1 - \tan\beta_p)^2$ | | $\beta_f + \beta_p =$ | 0,00 | | $\beta_f + \beta_p < 45^\circ$ |
| $g_q =$ | 1,00 | | | | |
| $g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\phi')$ | | | | | |
| $g_c =$ | 1,00 | | | | |
| $g_\gamma = g_q$ | | | | | |
| $g_\gamma =$ | 1,00 | | | | |
| <u>Carico limite unitario</u> | | | | | |
| $q_{lim} =$ | 1935,12 | (kN/m ²) | | | |
| <u>Pressione massima agente</u> | | | | | |
| $q = N / B^* L^*$ | | | | | |
| $q =$ | 466,50 | (kN/m ²) | | | |
| <u>Coefficiente di sicurezza</u> | | | | | |
| $F_s = q_{lim} / q =$ | | 4,15 | | | |

OPERE CIVILI PIAZZALE
 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 51 di 57 |

Di seguito si riportano i coefficienti di sicurezza per il carico limite ottenuti per le diverse combinazioni di carico.

| Combinazione | q [kN/m ²] | q _{lim} [kN/m ²] | FS |
|--------------|------------------------|---------------------------------------|-------------|
| SLU 1 | 129,8511668 | 4408,213704 | 33,94820248 |
| SLU 2 | 121,9207483 | 3617,531416 | 29,67117138 |
| SLU 3 | 129,9365706 | 4405,96367 | 33,90857285 |
| SLU 4 | 122,0390933 | 3617,316908 | 29,64064063 |
| SLU 5 | 162,0594739 | 4814,162409 | 29,70614609 |
| SLU 6 | 142,7460251 | 3467,630376 | 24,29230777 |
| SLU 7 | 104,1273315 | 4494,524167 | 43,16373137 |
| SLU 8 | 96,70524018 | 3527,678845 | 36,47867311 |
| SLU 9 | 104,1974673 | 4491,099099 | 43,10180675 |
| SLU 10 | 96,81757801 | 3527,691258 | 36,43647497 |
| SLU 11 | 142,6728399 | 5140,798419 | 36,03207467 |
| SLU 12 | 121,3960477 | 3341,800867 | 27,52808622 |
| SLU 13 | 142,8092395 | 5149,527002 | 36,05878038 |
| SLU 14 | 121,3574146 | 3341,200369 | 27,53190137 |
| SLV 1 | 2385,394532 | 16291,16606 | 6,829547833 |
| SLV 2 | 466,4937554 | 1935,103075 | 4,148186451 |
| SLE Rara1 | 117,5967747 | 3296,049895 | 28,02840386 |
| SLE Rara2 | 143,3579661 | 5441,818568 | 37,95965245 |
| SLE Rara3 | 117,5963903 | 3295,204027 | 28,02130252 |
| SLE Rara4 | 91,69904626 | 4288,920714 | 46,77170471 |
| SLE Rara5 | 87,73576728 | 3617,177671 | 41,228085 |
| SLE Rara6 | 91,77176802 | 4287,452804 | 46,71864666 |
| SLE Freq.1 | 87,82139784 | 3617,004816 | 41,18591716 |
| SLE Freq.2 | 109,020201 | 4577,841788 | 41,99076635 |
| SLE Freq.3 | 100,0635665 | 3497,284227 | 34,95062539 |
| SLE Freq.4 | 73,95594815 | 3997,201261 | 54,04840802 |
| SLS QP1 | 73,99402631 | 3996,984096 | 54,0176592 |

Tabella 18-Verifica a Carico Limite

10.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA FONDAZIONE

Data la geometria della fondazione in esame, è necessario studiarla da un punto di vista strutturale utilizzando una modellazione a tirante-puntone, verificando sia la resistenza dell'armatura tesa (tirante) che del puntone compresso di calcestruzzo.

L'azione di progetto viene calcolata utilizzando lo sforzo normale ed il momento massimo agenti sul plinto per ricavare la distribuzione di tensione sull'interfaccia plinto terreno ed andando quindi a ricavare le forze risultanti.

Nel caso in esame:

$$N=290\text{kN}$$

$$M=308,53\text{kNm}$$

Di conseguenza l'eccentricità vale:

$$e = \frac{M}{N} = 1,064 \text{ m}$$

Il valore appena ottenuto di eccentricità mostra che lo sforzo normale è applicato al di fuori del nocciolo centrale di inerzia, generando di conseguenza una distribuzione lineare di tensioni al di sotto del plinto.

La parte di plinto reagente può essere determinata mediante la regola delle 3u, dove:

$$u = \frac{B}{2} - e = 0,04 \text{ m}$$

Di seguito si riporta lo schema di calcolo adottato con il traliccio resistente:

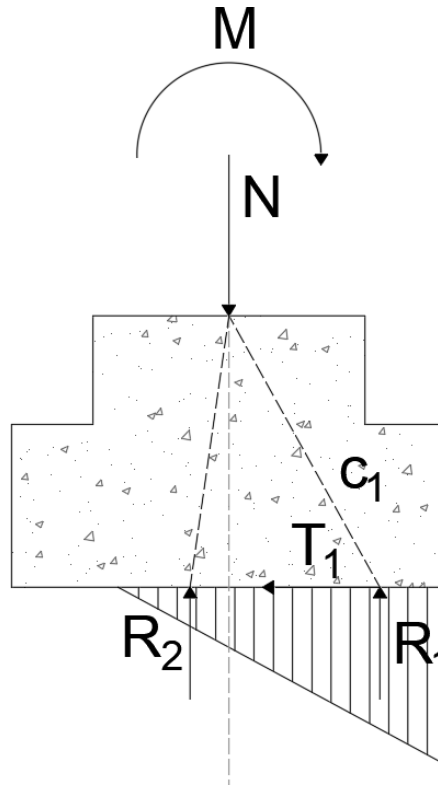
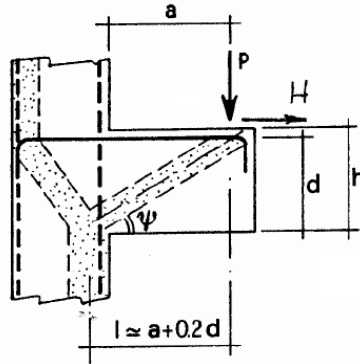


Figura 9-Schema di calcolo Strut & Tie

Dall'equilibrio e da semplici considerazioni geometriche si ricava $R_1=290$ kN applicati a 0,04 m dal punto di rotazione (bordo del blocco). A questo punto si applica la verifica della mensola tozza.

VERIFICA MENSOLA TOZZA (NTC2018)



CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E DELLA SEZIONE

| | | | |
|---------------|-------|------------|--------------------------|
| cls | 30 | acciaio | B450C |
| f_{ck} | 24,9 | f_{yk} | 450 |
| α_{cc} | 0,85 | | |
| γ_c | 1,5 | γ_s | 1,15 |
| f_{cd} | 14,11 | f_{yd} | 391,30 N/mm ² |

| | | | |
|---|---|-----|----|
| a | = | 106 | cm |
| h | = | 220 | cm |
| d | = | 215 | cm |
| l | = | 106 | cm |

| | | |
|----------|-------|-----------------------|
| Armatura | n° | 11 |
| | ∅ | 12 |
| | A_s | 12,44 cm ² |

$$\lambda = \text{ctg} \psi \approx l / (0,9d)$$

$$l = 0,548$$

SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

| | | | |
|----------------|---|-------|----|
| $P_{ed} = R_1$ | = | 290 | kN |
| H_{ed} | = | 143,5 | kN |

Portanza della mensola in termini di resistenza dell'armatura

$$P_R = P_{Rs} = (A_s \cdot f_{yd} - H_{ed}) \cdot (1/l) > P_{ed}$$

$$P_R = P_{Rs} = 626,7 \text{ kN} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Resistenza del puntone di calcestruzzo

$$P_{Rc} = 0.4 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot (c / (1 + l^2)) > P_{Rs}$$

OPERE CIVILI PIAZZALE

Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 55 di 57 |

| | | | |
|-----------------|---|---------|-------------------------------|
| c | = | 1 | §C4.1.2.1.5 Circolare NTC2018 |
| b | = | 220 | cm (lunghezza mensola) |
| P _{RC} | = | 20534,1 | kN Verifica soddisfatta |

10.5 VERIFICA DEI TIRAFONDI

Come riportato nel documento RFI E64866, i tirafondi utilizzati per l'ancoraggio sono 4 tondi $\phi 52$, infissi per 910 mm e realizzati mediante acciaio S355. Mentre dal documento E66013, si evince che la piastra ha dimensioni in pianta pari a 580x580 mm, spessore pari a 45 mm e anch'essa realizzata mediante acciaio S355.

L'azione massima di trazione sul tirafondo, viene ricavato modellando la flangia di base su VCA-Slu, inserendo le azioni di sforzo normale e flettenti massime e ricavando quindi la tensione massima di compressione sul calcestruzzo e la tensione massima di trazione sulla barra d'acciaio.

Infine, vengono eseguite le verifiche sul tirafondo in accordo con le norme cogenti NTC-2018.

Di seguito si riporta la scheda di calcolo con le verifiche effettuate.

OPERE CIVILI PIAZZALE
 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 56 di 57 |

GIUNTO DI BASE

| | | | | | | | | |
|---------------|----------|----------|---|-------------------|----------|-----------------|-------------------|------|
| $N_{ed,Max}$ | 2002,00 | daN | Azione Sollecitante di sforzo normale massimo | | | | | |
| $N_{ed,Min}$ | 1366,00 | | Azione Sollecitante di sforzo normale minimo | | | | | |
| $T_{ed,X}$ | 15,73 | daN | Azione Sollecitante di sforzo normale | | | | | |
| $T_{ed,Y}$ | 348,00 | daN | Azione Sollecitante di sforzo normale | | | | | |
| $M_{ed,x}$ | 4075,00 | daNm | Azione Sollecitante di sforzo normale | | | | | |
| $M_{ed,y}$ | 18529,00 | daNm | Azione Sollecitante di sforzo normale | | | | | |
| M_T | 0,00 | daNm | Momento torcente agente alla base | | | | | |
| H_p | 580,00 | mm | Altezza della Piastra | | | | | |
| L_p | 580,00 | mm | Larghezza della Piastra | | | | | |
| S_p | 45,00 | mm | Spessore della Piastra | | | | | |
| γ_{M0} | 1,05 | - | Coefficiente di sicurezza resistenza sezioni di classe 1-2-3-4 | | | | | |
| γ_{M2} | 1,25 | - | Coefficiente di sicurezza resistenza frattura (sezioni indebolite dai fori) | | | | | |
| TIRAFONDO | | M52 | ACCIAIO S355 | A_{res} | 1698,973 | mm ² | A_{res}/A | 0,80 |
| Acciaio | S355 | f_{yk} | 355 | N/mm ² | f_{tk} | 510 | N/mm ² | |
| $n_{Tir.}$ | 4 | [-] | Numero Tirafondi | | | | | |

CALCOLO TENSIONE DI TRAZIONE TIRAFONDO

Verifica C.A. S.L.U. - File: Piastra

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° Vertici Zoom N° barre Zoom

| N° | x [cm] | y [cm] | N° | As [cm ²] | x [cm] | y [cm] |
|----|--------|--------|----|-----------------------|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 | 1 | 21,24 | 7 | 7 |
| 2 | 58 | 0 | 2 | 21,24 | 7 | 51 |
| 3 | 58 | 58 | 3 | 21,24 | 51 | 51 |
| 4 | 0 | 58 | 4 | 21,24 | 51 | 7 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

File

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} kN
 M_{xEd} kNm
 M_{yEd} kNm

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Materiali
 S355 C25/30
 ϵ_{su} % ϵ_{c2} %
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} %
 E_s N/mm² f_{cd} %
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} % $\sigma_{c,adm}$ %
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} %
 τ_{c1} %

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_s %
 d cm
 x x/d
 δ

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

OPERE CIVILI PIAZZALE
 Relazione di Calcolo Fondazione Pali 1^a e 2^a fila

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| LI07 | 01 | EZZCL | SE0000005 | A | 57 di 57 |

| VERIFICA TIRAFONDI | | | | | | | | | |
|---|------------------------------|-----------------|--|-------------------------------------|----------|----|-------------------|--|--|
| $N_{tir} =$ | 19011,51 | daN | Azione normale di trazione massima agente sul Tirafondo | | | | | | |
| $T_{tir} =$ | 87,09 | daN | Azione di taglio massima agente sul Tirafondo | | | | | | |
| $F_{Tr,Rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} =$ | 57441,5 | daN | Resistenza a trazione Tirafondo | | | | | | |
| Verifica a Trazione: | | | $F_{Tr,Rd} > N_{tir}$ VERIFICA SODDISFATTA | | | | | | |
| $A_v =$ | 1081,6 | mm ² | Area Resistente a Taglio | | | | | | |
| $V_{c,Rd} = A_v f_{yk} / (3^{0,5} \gamma_{M0}) =$ | 21112,8 | daN | Resistenza a Taglio del Tirafondo | | | | | | |
| Verifica a Taglio: | | | $V_{c,Rd} > T_{tir}$ VERIFICA SODDISFATTA | | | | | | |
| Verifica a Taglio-Trazione: | | | $T_{tir} / V_{c,Rd} + N_{tir} / (1,4 F_{Tr,Rd}) < 1$ VERIFICA SODDISFATTA | | | | | | |
| CLASSE CLS | 25/30 | R_{ck} | 30 | N/mm ² | f_{ck} | 25 | N/mm ² | | |
| $f_{ctm} =$ | $0,30 (f_{ck})^{2/3} =$ | 2,56496 | N/mm ² | Resistenza Media a Trazione | | | | | |
| $f_{ctk} =$ | $0,7 f_{ctm} =$ | 1,79547 | N/mm ² | Resistenza a Trazione Pura | | | | | |
| $\eta_1 =$ | 1 | [-] | Coefficiente per condizioni di buona aderenza | | | | | | |
| $\eta_2 =$ | 1 | [-] | Coefficiente per barre di diametro inferiore a 32 mm | | | | | | |
| $f_{bk} =$ | $2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk}$ | 4,04 | N/mm ² | Tensione di aderenza caratteristica | | | | | |
| $f_{bd} =$ | $f_{bk} / 1,5 =$ | 2,69321 | N/mm ² | Tensione di aderenza di calcolo | | | | | |
| $L_{tirafondo} =$ | 910 | mm | Lunghezza Tirafondo | | | | | | |
| $F_{sfil,Rd} =$ | 40037,34 | daN | Resistenza a Sfilamento del cono di CLS | | | | | | |
| Verifica Sfilamento: | | | $F_{sfil,Rd} > N_{tir}$ VERIFICA SODDISFATTA | | | | | | |

11 INCIDENZA ARMATURA

Dal disegno di riferimento, si evince che il blocco in esame ha un peso totale di armatura pari a 272,1 kg.

Il volume totale del blocco è pari a 11,05 m³ da cui si può ricavare un'incidenza pari a 24,62 kg/m³. Ai fini del progetto, si considera **un'incidenza pari a 50 kg/m³**.

12 CONCLUSIONI

In virtù di tutto quanto sopra descritto, con particolare riferimento:

- alle caratteristiche geometriche della struttura in oggetto;
- alla tipologia del vincolo esterno;
- alla sezione dei vari elementi strutturali;
- alle caratteristiche meccaniche dei materiali utilizzati;
- alle caratteristiche del terreno di fondazione;
- al modello di calcolo;
- ai carichi agenti (permanenti, variabili, e sismici);
- alle verifiche geotecniche;

si conclude che la struttura oggetto della presente relazione è conforme ai criteri di progettazione e di resistenza indicati della normativa vigente, prendendo in considerazione anche le indicazioni e le prescrizioni concernenti la realizzazione di strutture in zona sismica.