

S.S 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"
TRATTO SPOLETO - ACQUASPARTA
1° stralcio: Madonna di Baiano-Fiorenzuola

SUPPORTO AGGIORNAMENTO PROG. DEFINITIVO

COD. **PG143**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
 Dott. Ing. Nando Granieri
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:
 Dott. Ing. Federico Durastanti
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A844

IL GEOLOGO:
 Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
 Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
 Dott. Ing. Filippo Pambianco
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

Il Responsabile di Progetto
 Arch. Pianificatore Marco Colazza

Il Responsabile del Procedimento
 Dott. Ing.
 Alessandro Micheli

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



Dott.Ing. N.Granieri
 Dott.Arch. N.Kamenicky
 Dott.Ing. V.Truffini
 Dott.Arch. A.Bracchini
 Dott.Ing. F.Durastanti
 Dott.Ing. E.Bartolucci
 Dott.Geol. G.Cerquiglini
 Geom. S.Scopetta
 Dott.Ing. L.Sbrenna
 Dott.Ing. E.Sellari
 Dott.Ing. L.Dinelli
 Dott.Ing. L.Nani
 Dott.Ing. F.Pambianco
 Dott. Agr. F.Berti Nulli

Dott. Ing. D.Carlaccini
 Dott. Ing. S.Sacconi
 Dott. Ing. G.Cordua
 Dott. Ing. V.De Gori
 Dott. Ing. C.Consorti
 Dott. Ing. F.Dominici

Dott. Ing. V.Rotisciani
 Dott. Ing. F.Macchioni
 Geom. C.Vischini
 Dott. Ing. V.Piunno
 Dott. Ing. G.Pulli
 Geom. C.Sugaroni



OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTI
VIADOTTO MOLINO VECCHIO
Viadotto Molino Vecchio - Inserito a relazione geotecnica

CODICE PROGETTO

NOME FILE

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

CODICE ELAB.

T00-VI02-STR-RE03

LOPG143 D 2007

T00VI02STRRE03

A

-

A

Emissione

30/11/2020

L.Sbrenna

F.Durastanti

N.Granieri

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

MOLINO VECCHIO: relazione sottostrutture

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUZIONE | 5 |
| 1.1 | GENERALITA' | 5 |
| 1.2 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 9 |
| 1.3 | METODO E PARAMETRI DI CALCOLO | 9 |
| 1.4 | PRESCRIZIONE MATERIALI | 10 |
| 1.4.1 | Calcestruzzo | 10 |
| 1.4.2 | Acciaio armatura | 10 |
| 2 | ANALISI SISMICA e ANALISI STRUTTURALE | 11 |
| 2.1 | GENERALITA', STRATEGIA DI PROTEZIONE ANTISISMICA e ANALISI STRUTTURALE..... | 11 |
| 2.2 | AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO | 12 |
| 2.2.1 | Spettri di risposta elastici..... | 15 |
| 2.3 | AZIONE SISMICA DI PROGETTO..... | 16 |
| 2.3.1 | Stato limite di salvaguardia della vita | 16 |
| 2.3.2 | Stato limite di prevenzione del collasso | 18 |
| 2.4 | MODELLAZIONE | 19 |
| 2.5 | COMBINAZIONE DEI CARICHI..... | 20 |
| 2.6 | RISULTATI ANALISI SISMICA..... | 23 |
| 2.6.1 | Modi di vibrare..... | 23 |
| 2.6.2 | Reazioni | 24 |
| 2.6.3 | Spostamenti | 28 |
| 3 | ISOLATORI E GIUNTI..... | 30 |
| 3.1 | ISOLATORI | 30 |
| 3.2 | GIUNTI | 32 |
| 4 | PROGETTO E VERIFICA PILA SU GIUNTO (impalcato B= 11.25 m) e FONDAZIONE | 34 |
| 4.1 | ANALISI DEI CARICHI | 34 |
| 4.1.1 | Azioni statiche trasmesse dall'impalcato | 34 |
| 4.1.2 | Azioni dinamiche | 36 |
| 4.2 | PROGETTO E VERIFICA PILA | 38 |
| 4.2.1 | Geometria | 38 |
| 4.2.2 | Combinazioni di carico | 41 |
| 4.2.3 | Sintesi azioni | 46 |
| 4.2.4 | Verifica di resistenza della pila | 49 |
| 4.2.5 | Verifica a fessurazione della pila | 53 |
| 4.3 | PROGETTO E VERIFICA FONDAZIONE..... | 54 |
| 4.3.1 | Ripartizione forze nei pali | 54 |
| 4.3.2 | Verifica di resistenza della zattera..... | 57 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 4.3.3 | Verifica a fessurazione della zattera | 57 |
| 5 | PROGETTO E VERIFICA PILA INTERMEDIA (impalcato B= 11.25 m) e FONDAZIONE | 58 |
| 5.1 | ANALISI DEI CARICHI | 58 |
| 5.1.1 | Azioni statiche trasmesse dall'impalcato | 58 |
| 5.1.2 | Azioni dinamiche | 60 |
| 5.2 | PROGETTO E VERIFICA PILA | 62 |
| 5.2.1 | Geometria | 62 |
| 5.2.2 | Combinazioni di carico | 65 |
| 5.2.3 | Sintesi azioni | 69 |
| 5.2.4 | Verifica di resistenza della pila | 73 |
| 5.2.5 | Verifica a fessurazione della pila | 77 |
| 5.3 | PROGETTO E VERIFICA FONDAZIONE | 78 |
| 5.3.1 | Ripartizione forze nei pali | 78 |
| 5.3.2 | Verifica di resistenza della zattera | 81 |
| 5.3.3 | Verifica a fessurazione della zattera | 81 |
| 6 | PROGETTO E VERIFICA PILA SU GIUNTO (impalcato B= 15.25 m) e FONDAZIONE | 82 |
| 6.1 | ANALISI DEI CARICHI | 82 |
| 6.1.1 | Azioni statiche trasmesse dall'impalcato | 82 |
| 6.1.2 | Azioni dinamiche | 82 |
| 6.2 | PROGETTO E VERIFICA PILA | 83 |
| 6.2.1 | Geometria | 83 |
| 6.2.2 | Combinazioni di carico | 85 |
| 6.2.3 | Sintesi azioni | 89 |
| 6.2.4 | Verifica di resistenza della pila | 92 |
| 6.2.5 | Verifica a fessurazione della pila | 95 |
| 6.3 | PROGETTO E VERIFICA FONDAZIONE | 97 |
| 6.3.1 | Ripartizione forze nei pali | 97 |
| 6.3.2 | Verifica di resistenza della zattera | 103 |
| 6.3.3 | Verifica a fessurazione della zattera | 103 |
| 7 | PROGETTO E VERIFICA SPALLA A e FONDAZIONE | 104 |
| 7.1 | ANALISI DEI CARICHI | 104 |
| 7.1.1 | Azioni statiche trasmesse dall'impalcato | 104 |
| 7.1.2 | Azioni dinamiche | 106 |
| 7.2 | PROGETTO E VERIFICA SPALLA | 108 |
| 7.2.1 | Geometria | 108 |
| 7.2.2 | Combinazioni di carico | 113 |
| 7.2.3 | Spinte del terrapieno | 116 |

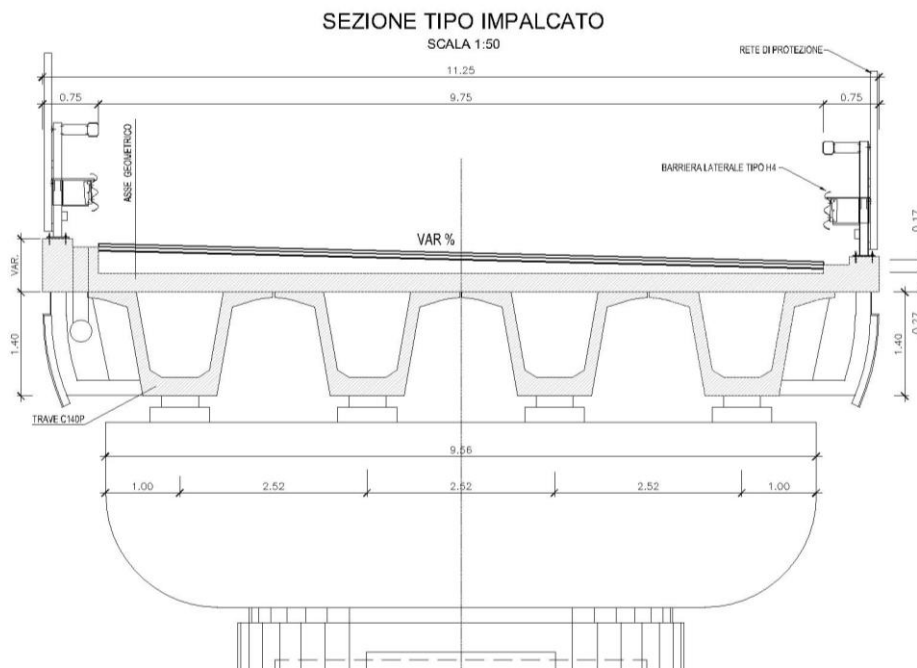
| | | |
|------------|--|------------|
| 7.2.4 | Sintesi azioni (A1+M1) | 118 |
| 7.2.5 | Sintesi azioni (A2+M2) | 122 |
| 7.2.6 | Verifica di resistenza della spalla | 129 |
| 7.2.7 | Verifica a fessurazione della spalla | 131 |
| 7.3 | PROGETTO E VERIFICA FONDAZIONE | 133 |
| 7.3.1 | Ripartizione forze nei pali | 133 |
| 7.3.2 | Verifica di resistenza della zattera | 136 |
| 7.3.3 | Verifica a fessurazione della zattera | 140 |
| 8 | PROGETTO E VERIFICA SPALLA B e FONDAZIONE | 141 |
| 8.1 | ANALISI DEI CARICHI | 141 |
| 8.1.1 | Azioni statiche trasmesse dall'impalcato | 141 |
| 8.1.2 | Azioni dinamiche | 141 |
| 8.2 | PROGETTO E VERIFICA SPALLA | 142 |
| 8.2.1 | Geometria | 142 |
| 8.2.2 | Combinazioni di carico | 147 |
| 8.2.3 | Spinte del terrapieno | 153 |
| 8.2.4 | Sintesi azioni (A1+M1) | 156 |
| 8.2.5 | Sintesi azioni (A2+M2) | 160 |
| 8.2.6 | Verifica di resistenza della spalla | 164 |
| 8.2.7 | Verifica a fessurazione della spalla | 167 |
| 8.3 | PROGETTO E VERIFICA FONDAZIONE | 168 |
| 8.3.1 | Ripartizione forze nei pali | 168 |
| 8.3.2 | Verifica di resistenza della zattera | 175 |
| 8.3.3 | Verifica a fessurazione della zattera | 180 |

1 INTRODUZIONE

1.1 GENERALITA'

Oggetto della presente relazione è l'analisi, ai sensi delle NTC 2018, delle sottostrutture dell'impalcato del viadotto "Molino Vecchio" afferente alla "Strada delle tre valli umbre" nel tratto Eggi - Acquasparta.

Il viadotto ha sezione stradale ad unica carreggiata con impalcato largo 11.25 m fino alla pila 5 dopo la quale, fino alla spalla B, diviene largo 15.25 m. Lo sviluppo del viadotto è di 750 m su campate da 30 m ed i giunti di impalcato sono posti in genere ogni 6 campate; tra due giunti consecutivi lo schema statico dell'impalcato è a trave continua. In corrispondenza del giunto sono presenti pile più importanti sulle quali sono presenti 4 + 4 appoggi a sostenere le travate di riva di due corpi di viadotto consecutivi. L'impalcato è costituito da 4 travi prefabbricate in CAP a V alte 1.4 m con soletta in CA gettata in opera di spessore 25 cm. La geometria della sezione trasversale tipo è mostrata di seguito.



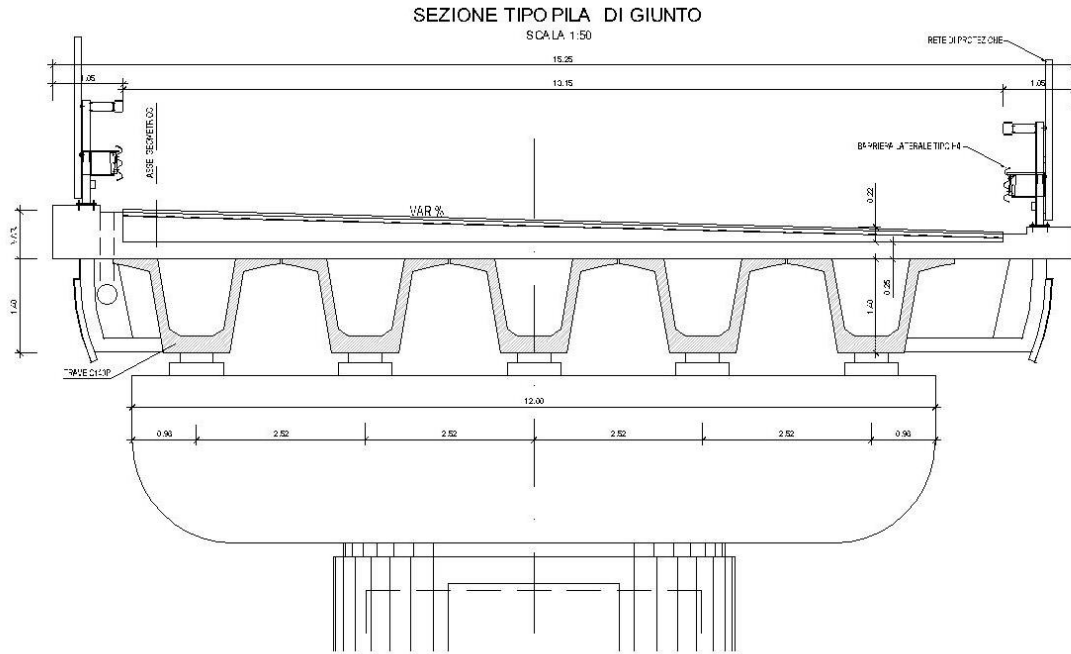


Figura 1-2: sezione trasversale tipo in allargamento.

L'andamento planimetrico dell'opera è sostanzialmente rettilineo, come mostra la planimetria illustrata di seguito, mentre dal profilo e della sezione longitudinale si desume la regolare altimetria del viadotto.

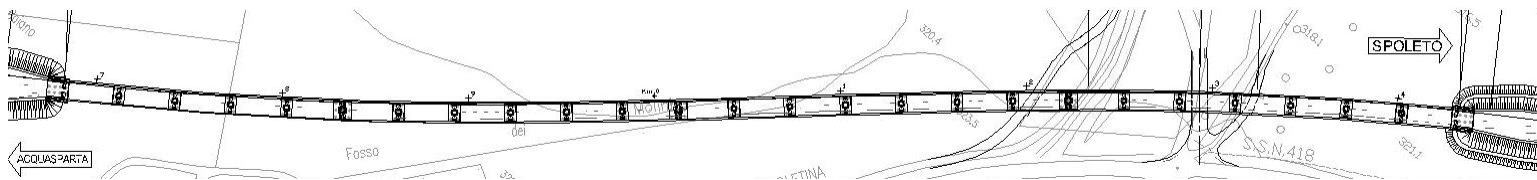


Figura 1-3: planimetria viadotto.

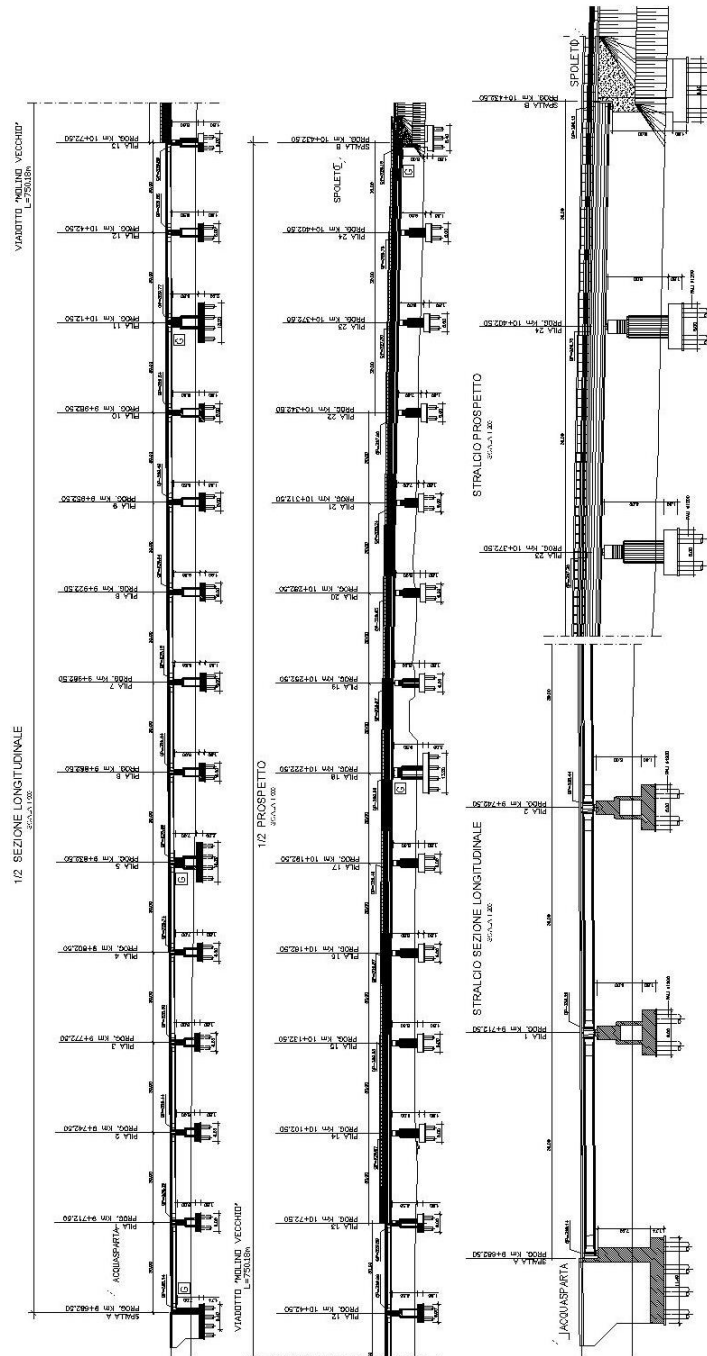


Figura 1-4: sezione longitudinale e prospetto (stralcio).

I sistemi di fondazione delle sottostrutture sono tutti di tipo profondo ed in particolare si ha:

- Spalle: zattere su pali di grande diametro (16 pali e 20 pali \varnothing 1200);
- Pile intermedie: zattera su pali di grande diametro (6 pali e 8 pali \varnothing 1200);

- Pile terminali: zattera su pali di grande diametro (9 pali Ø 1200).

I dispositivi di vincolo dell'impalcato alla sottostruttura sono composti per tutti gli allineamenti da isolatori elastomerici posti uno al di sotto di ogni trave le cui caratteristiche sono descritte nel seguito.

1.2 *NORMATIVA DI RIFERIMENTO*

I calcoli strutturali sono stati redatti nella piena osservanza delle normative vigenti, con particolare riferimento al **DECRETO MINISTERIALE 17 gennaio 2018 “AGGIORNAMENTO DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI”**..

1.3 *METODO E PARAMETRI DI CALCOLO*

Il calcolo delle sollecitazioni è condotto in campo elastico lineare mediante modelli della struttura formulati secondo la teoria degli elementi finiti (maggiori esplicazioni si rimandano al seguito). Le verifiche di resistenza sono eseguite con **il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite**.

1.4 PRESCRIZIONE MATERIALI

1.4.1 Calcestruzzo

Pile e spalle: zattere di fondazione e pali

| | | |
|---------------------------|--|-----------|
| Classe | | C25/30 |
| R_{ck} = | resistenza caratteristica cubica | 30 MPa |
| f_{ck} = | resistenza caratteristica cilindrica | 25 MPa |
| f_{cd} = | resistenza di progetto a compressione | 14.17 MPa |
| f_{cfk} = | resistenza a trazione per flessione caratteristica | 2.15 MPa |
| f_{ctk} = | resistenza a trazione caratteristica | 1.80 MPa |
| E_{cm} = | Modulo elastico | 31220 MPa |
| Classe di esposizione XC2 | | |

Pile e spalle: elevazione

| | | |
|---------------------------|--|-----------|
| Classe | | C32/40 |
| R_{ck} = | resistenza caratteristica cubica | 40 MPa |
| f_{ck} = | resistenza caratteristica cilindrica | 32 MPa |
| f_{cd} = | resistenza di progetto a compressione | 18.1 MPa |
| f_{cfk} = | resistenza a trazione per flessione caratteristica | 2.54 MPa |
| f_{ctk} = | resistenza a trazione caratteristica | 2.12 MPa |
| E_{cm} = | Modulo elastico | 33346 MPa |
| Classe di esposizione XC3 | | |

1.4.2 Acciaio armatura

| | | |
|------------|--|------------|
| Tipo | | B450C |
| f_{yk} = | tensione caratteristica di snervamento | 450 MPa |
| f_{yd} = | resistenza di progetto | 391.3 MPa |
| E_s = | modulo elastico | 206000 MPa |

2 ANALISI SISMICA e ANALISI STRUTTURALE

2.1 GENERALITA', STRATEGIA DI PROTEZIONE ANTISISMICA e ANALISI STRUTTURALE

Il viadotto viene decomposto in 4 “sottoviadotti” simicamente indipendenti (salvo il fatto che le pile terminali dei sottoviadotti devono resistere alle azioni ad esse trasmesse dai due corpi contigui ad essa vincolati). Le pile hanno altezza variabile tra 6 e 9.5 m.

La strategia di protezione antisismica adottata è quella dell'isolamento sismico totale, ossia il viadotto è vincolato con isolatori elastomerici, in luogo degli apparecchi di appoggio, che isolano la sovrastruttura sia longitudinalmente che trasversalmente. Quindi la presenza dell'isolatore elastomerico richiede, per un corretto comportamento dell'intero sistema strutturale, che sia la porzione di struttura al di sopra del sistema d'isolamento (sovrastruttura) che quella al di sotto (sottostruttura) si mantengano sostanzialmente in campo elastico, anche per le azioni di verifica allo SLU. La struttura è pertanto progettata senza applicare le regole della gerarchia delle resistenze ed i dettagli costruttivi per la duttilità, applicando le regole valide per la progettazione “non sismica”. Le azioni orizzontali, dovute alla massa dell'impalcato, vengono tutte ripartite tra tutte le sottostrutture.



Figura 2-1: isolatore elastomerico.

Gli isolatori elastomerici sono costituiti da strati di materiale elastomerico (gomma naturale o materiali artificiali idonei) alternati a piastre di acciaio, aventi prevalente funzione di confinamento dell'elastomero, e vengono disposti nella struttura in modo da sopportare le azioni e deformazioni orizzontali di progetto trasmesse mediante azioni parallele alla giacitura degli strati di elastomero ed i carichi permanenti ed accidentali verticali mediante azioni perpendicolari agli strati stessi. Sono caratterizzati da ridotta rigidità orizzontale (per garantire il disaccoppiamento del moto orizzontale della struttura da quella del terreno), elevata rigidità verticale (per sostenere i carichi verticali senza apprezzabili cedimenti) ed opportune capacità dissipative. La riduzione della risposta sismica orizzontale si ottiene incrementando il periodo fondamentale della costruzione per portarlo nel campo delle minori accelerazioni di risposta e limitando dunque la massima forza orizzontale trasmessa.

Il dimensionamento dell'isolatore viene fatto in funzione dei carichi verticali in esercizio e allo stato limite ultimo, in funzione dei carichi di esercizio (ai fini della valutazione della rigidità minima) e in funzione degli spostamenti massimi richiesti al dispositivo per una sisma con probabilità di occorrenza pari a quella per eventi che generano SLC (prescrizione che garantisce la richiesta maggiore affidabilità a tali dispositivi). Allo SLV sono invece le forze con cui si procede al progetto e alla verifica delle sottostrutture.

Date le caratteristiche del dispositivo (sostanzialmente a comportamento lineare) e della struttura, verrà condotta un'analisi dinamica lineare con spettro di risposta, in cui le caratteristiche dissipative vengono introdotte mediante opportune modifiche agli spettri di risposta. In seguito sono descritti ulteriori aspetti della modellazione.

2.2 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

L'azione sismica è valutata con riferimento alle prescrizioni delle NTC 2018. Tali azioni si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. La pericolosità sismica di base è definita in termini di accelerazione orizzontale massima

attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A) nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza. Nel caso oggetto di studio l'azione sismica di riferimento è lo spettro di progetto elastico.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- 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.

Il sito oggetto di studio è alle seguenti è alle seguenti coordinate:

LATITUDINE: 42.731

LONGITUDINE: 12.679

La vita nominale scelta per la costruzione (V_n) è pari a 50 anni, mentre il coefficiente d'uso della stessa (C_u) è pari a 2.0 (classe d'uso IV). Con i dati introdotti si ottengono, per i vari stati limite, i seguenti parametri che permettono di caratterizzare l'azione sismica:

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

| SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_C^* [s] |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLO | 60 | 0.082 | 2.469 | 0.284 |
| SLD | 101 | 0.101 | 2.451 | 0.294 |
| SLV | 949 | 0.225 | 2.476 | 0.331 |
| SLC | 1950 | 0.274 | 2.507 | 0.342 |

Per la definizione dello spettro di risposta elastico è necessario conoscere ulteriori parametri di tipo microsismico:

- la categoria di suolo, in accordo con le relazioni specialistiche, è assunta pari a C, ossia:

C) Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, spessori di superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s.

per le condizioni topografiche si è scelto di porsi nella categoria topografica T1.

Da tali parametri è possibile definire lo spettro di risposta elastico che è costituito da una forma spettrale considerata indipendente dal livello di sismicità, moltiplicata per il valore dell'accelerazione massima a_g che caratterizza il sito e riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%. I vari parametri e gli spettri impiegati nelle analisi sono definiti come di seguito indicato.

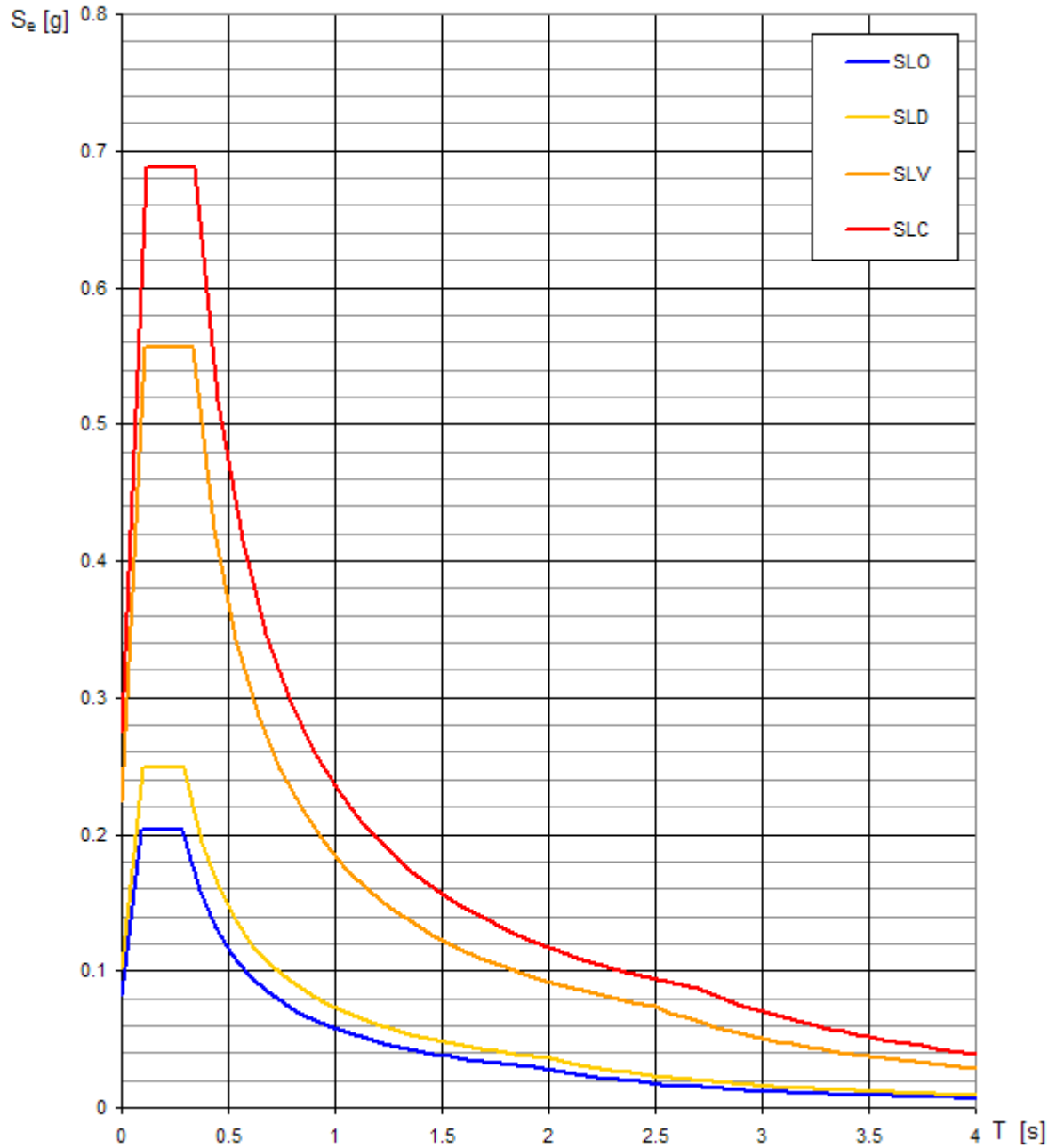
Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$\begin{array}{l}
 0 \leq T < T_B \\
 T_B \leq T < T_C \\
 T_C \leq T < T_D \\
 T_D \leq T
 \end{array}
 \left|
 \begin{array}{l}
 S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{array}
 \right.$$

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-08 § 3.2.3.5)

2.2.1 Spettri di risposta elastici

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

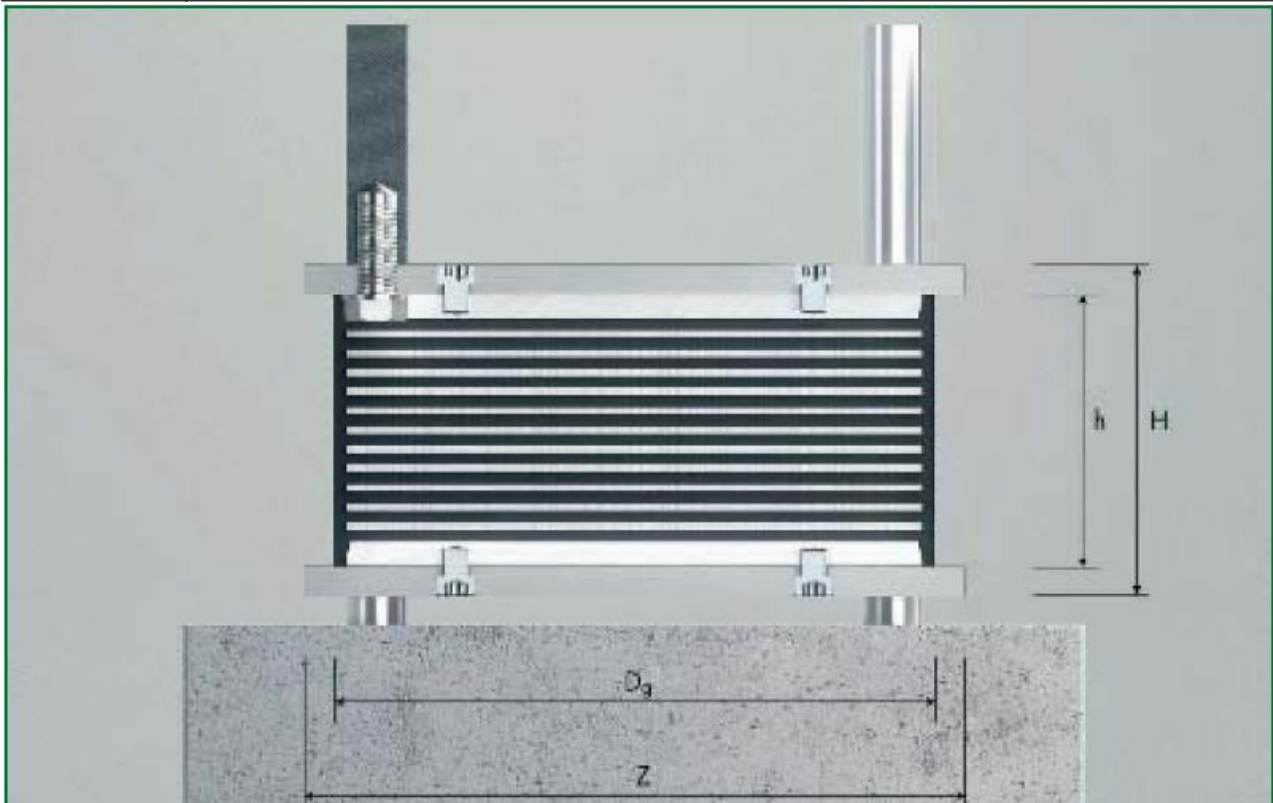


2.3 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

2.3.1 Stato limite di salvaguardia della vita

Come anticipato la struttura è isolata e ciò comporta che le azioni sismiche in essa indotte sono di tipo elastico. Il dispositivo adottato ha le seguenti caratteristiche:

| SI-H | V kN | F _{zd} kN | K _e kN/mm | K _v kN/mm | D _g mm | t _e mm | h mm | H mm | Z mm | W kg |
|-----------------|---|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| SI-H 450/126 | 1880 | 6930 | 1.77 | 1111 | 450 | 126 | 226 | 276 | 500 | 239 |
| V | Carico verticale agente sull'isolatore in presenza di sisma | | | | | | | | | |
| F _{zd} | Carico verticale massimo allo SLU in esercizio | | | | | | | | | |
| K _e | Rigidezza orizzontale equivalente | | | | | | | | | |
| K _v | Rigidezza verticale | | | | | | | | | |
| D _g | Diametro elastomero | | | | | | | | | |
| t _e | Spessore totale gomma | | | | | | | | | |
| h | Altezza escluse piastre di ancoraggio | | | | | | | | | |
| H | Altezza totale incluse piastre di ancoraggio | | | | | | | | | |
| Z | Lato piastre di ancoraggio | | | | | | | | | |
| W | Peso isolatore escluse zanche | | | | | | | | | |



Tale dispositivo ammette uno spostamento massimo (SLC) di ± 250 mm e la miscela degli elastomeri che lo costituiscono garantisce uno smorzamento viscoso equivalente del 15 %. Tale smorzamento consente di scalare ulteriormente lo spettro tramite il fattore

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

pari a 0.707 per uno smorzamento del 15%. Tale riduzione può essere effettuata solo per valori del periodo maggiori dell'80 % del periodo proprio della struttura (1.78 sec). Essendo pari a 1.4 secondi tale valore, lo spettro di progetto orizzontale allo SLV è quello mostrato di seguito:

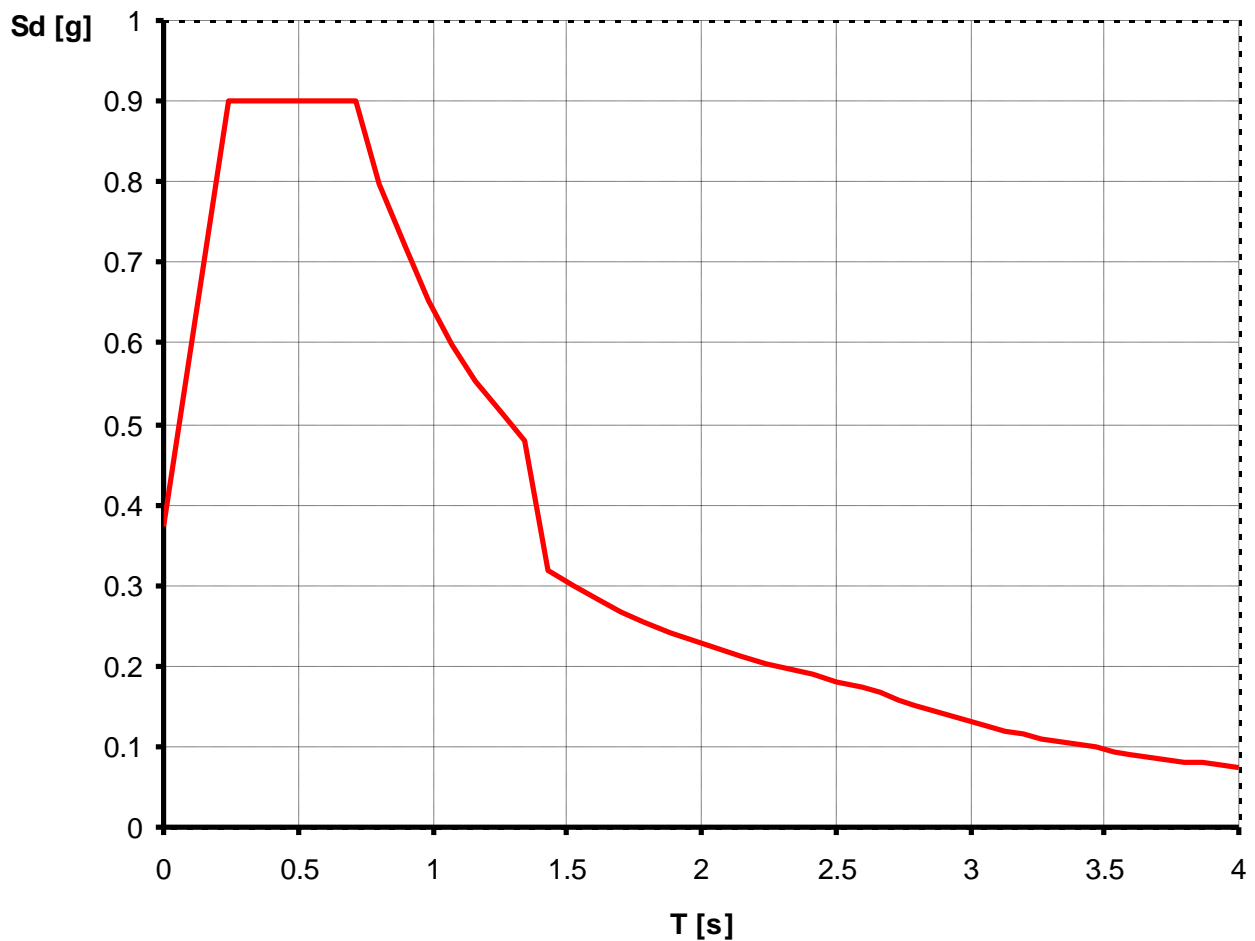


Figura 2-2: spettro di progetto orizzontale SLV.

2.3.2 Stato limite di prevenzione del collasso

Analogo discorso permette di definire lo spettro di progetto allo SLC.

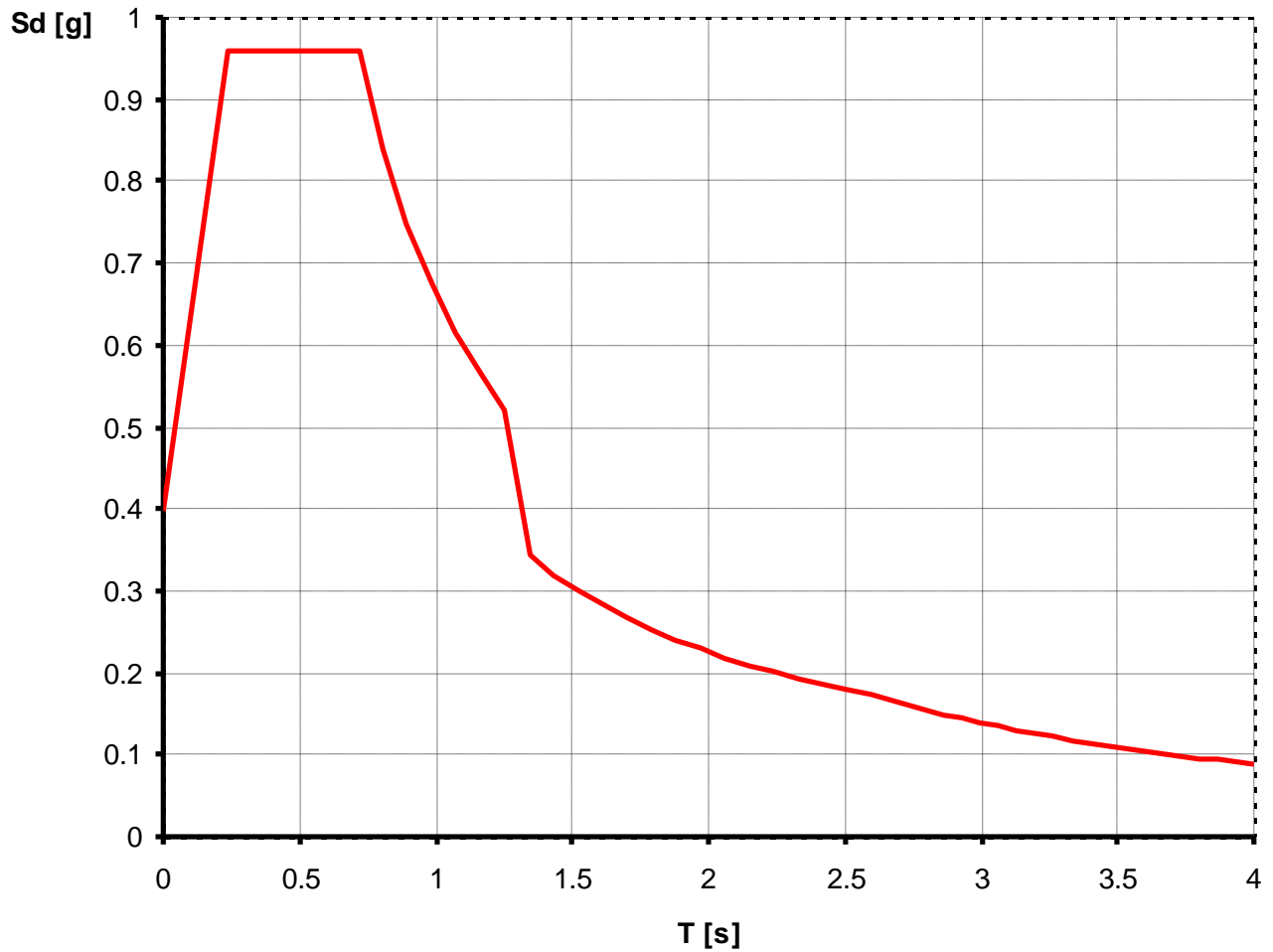


Figura 2-3: spettro di progetto orizzontale SLC.

2.4 MODELLAZIONE

L'analisi strutturale del viadotto è stata eseguita su un modello a telaio riprodotto la reale geometria plano-altimetrica del viadotto (si riportano i risultati del penultimo ed ultimo sottoviadotto in quanto con essi si configura la situazione più gravosa). Le masse applicate al sistema sono quelle derivanti dal peso delle pile (valori automaticamente computati dal programma di calcolo) e dal peso dell'impalcato (il cui peso complessivo è di circa 205 kN/m) mentre la rigidezza degli elementi (tipo beam elastiche lineari) è calcolata automaticamente dal programma (per le pile) mentre quella dell'impalcato tiene conto dell'effettiva geometria dei conci. Gli isolatori sono stati modellati come elementi link elastici lineari dotate delle caratteristiche meccaniche effettive determinate in fase di predimensionamento (in particolare ogni link riproduce la rigidezza dei 4 dispositivi posti in parallelo sotto l'impalcato in corrispondenza delle pile intermedie e delle spalle). Si chiaramente tenuto conto della indipendenza sismica tra gli impalcati nella modellazione.

L'analisi condotta è di tipo dinamica lineare con spettro di risposta.

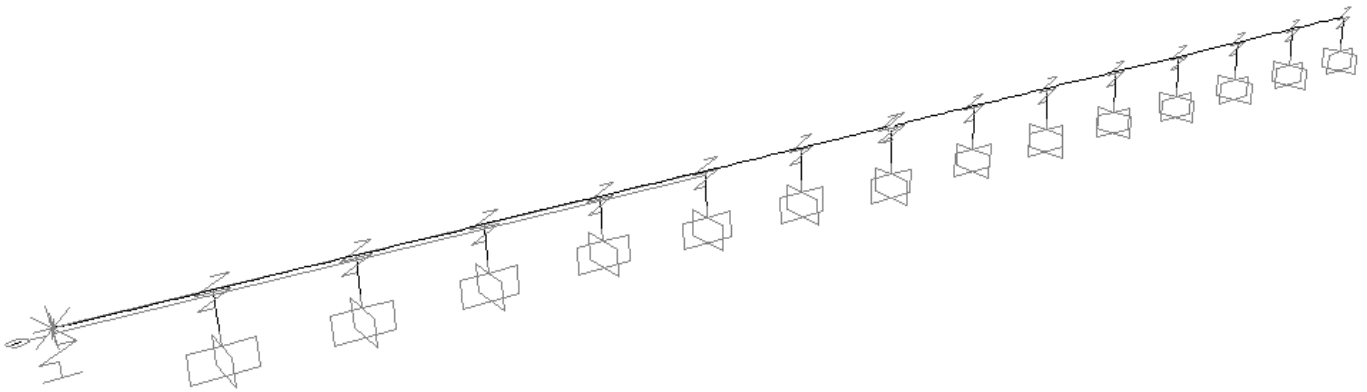


Figura 2-4: modello "F.E.M." del viadotto per l'analisi sismica.

2.5 COMBINAZIONE DEI CARICHI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- 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 alle tensioni ammissibili:

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

- Combinazione frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

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

- Combinazione quasi permanente (SLE), 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, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

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

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 . Nelle formule sopra riportate il simbolo + vuol dire combinato con.

Nelle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido: EQU
- lo stato limite di resistenza della struttura e della fondazione: STR
- lo stato limite di resistenza del terreno: GEO

Nelle successive tabelle si riportano i valori dei coefficienti parziali delle azioni assunti per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi. Per le verifiche nei confronti dello stato limite ultimo di equilibrio come corpo rigido (EQU) si utilizzano i coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni riportati nella colonna EQU delle tabelle sopra citate. Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO) sono stati adottati due diversi approcci progettuali. Nell'Approccio 1 si

impiegano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale del sistema (R). Nella *Combinazione 1* dell'Approccio 1, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1 delle Tabelle sopra citate. Nella *Combinazione 2* dell'Approccio 1, si impiegano invece i coefficienti γ_F riportati nella colonna A2. Nell'Approccio 2 si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le Azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale (R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1. I coefficienti parziali γ_M per i parametri geotecnici e i coefficienti γ_R che operano direttamente sulla resistenza globale di opere e sistemi geotecnici sono definiti nei capitoli di verifica di tali elementi ed elencati nelle tabelle seguenti.

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

| | | Coefficiente | EQU | A1 | A2 |
|--|-------------|---------------|-----|-----|-----|
| | | γ_F | | | |
| Carichi permanenti G_1 | Favorevoli | γ_{G1} | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
| | Sfavorevoli | | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$ | Favorevoli | γ_{G2} | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | Sfavorevoli | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| Azioni variabili Q | Favorevoli | γ_Q | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Sfavorevoli | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

| Parametro | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale γ_M | (M1) | (M2) |
|--|---|----------------------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \phi'_k$ | $\gamma_{\phi'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Coesione efficace | c'_k | $\gamma_{c'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | γ_γ | 1,0 | 1,0 |

In condizione sismica le verifiche agli stati limite ultimi sono state effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e impiegando i parametri geotecnici e le

resistenze di progetto con i valori dei coefficienti parziali specifici per i casi oggetto di studio.

2.6 RISULTATI ANALISI SISMICA

2.6.1 Modi di vibrare

I modi di vibrare della struttura hanno le seguenti caratteristiche (si riportano solo i primi 30 modi, mentre per eccitare in tutte le direzioni almeno il 90% della massa totale occorrono 150 modi).

| OutputCase | StepType | StepNum | Period | Frequency | CircFreq | Eigenvalue |
|------------|----------|----------|----------|-----------|----------|------------|
| Text | Text | Unitless | Sec | Cyc/sec | rad/sec | rad2/sec2 |
| MODAL | Mode | | 1.781551 | 0.56131 | 3.5268 | 12.438 |
| MODAL | Mode | | 1.780792 | 0.56155 | 3.5283 | 12.449 |
| MODAL | Mode | | 1.75848 | 0.56867 | 3.5731 | 12.767 |
| MODAL | Mode | | 1.754951 | 0.56982 | 3.5803 | 12.818 |
| MODAL | Mode | | 1.560099 | 0.64099 | 4.0274 | 16.22 |
| MODAL | Mode | | 1.55921 | 0.64135 | 4.0297 | 16.239 |
| MODAL | Mode | | 0.941337 | 1.0623 | 6.6747 | 44.552 |
| MODAL | Mode | | 0.940971 | 1.0627 | 6.6773 | 44.587 |
| MODAL | Mode | | 0.434672 | 2.3006 | 14.455 | 208.95 |
| MODAL | Mode | | 0.434599 | 2.301 | 14.457 | 209.02 |
| MODAL | Mode | | 0.315355 | 3.171 | 19.924 | 396.97 |
| MODAL | Mode | | 0.314831 | 3.1763 | 19.957 | 398.3 |
| MODAL | Mode | | 0.29896 | 3.3449 | 21.017 | 441.71 |
| MODAL | Mode | | 0.298297 | 3.3524 | 21.064 | 443.67 |
| MODAL | Mode | | 0.261294 | 3.8271 | 24.046 | 578.23 |
| MODAL | Mode | | 0.260863 | 3.8334 | 24.086 | 580.14 |
| MODAL | Mode | | 0.232922 | 4.2933 | 26.975 | 727.68 |
| MODAL | Mode | | 0.232875 | 4.2942 | 26.981 | 727.97 |
| MODAL | Mode | | 0.221891 | 4.5067 | 28.317 | 801.83 |
| MODAL | Mode | | 0.221349 | 4.5177 | 28.386 | 805.76 |
| MODAL | Mode | | 0.188897 | 5.2939 | 33.262 | 1106.4 |
| MODAL | Mode | | 0.188481 | 5.3056 | 33.336 | 1111.3 |
| MODAL | Mode | | 0.16448 | 6.0798 | 38.2 | 1459.3 |
| MODAL | Mode | | 0.164086 | 6.0944 | 38.292 | 1466.3 |
| MODAL | Mode | | 0.148844 | 6.7185 | 42.213 | 1782 |
| MODAL | Mode | | 0.148366 | 6.7401 | 42.349 | 1793.5 |
| MODAL | Mode | | 0.144679 | 6.9119 | 43.428 | 1886 |
| MODAL | Mode | | 0.144628 | 6.9143 | 43.444 | 1887.4 |
| MODAL | Mode | | 0.127896 | 7.8189 | 49.127 | 2413.5 |
| MODAL | Mode | | 0.127893 | 7.8191 | 49.129 | 2413.6 |

Figura 2-5: periodi e frequenze.

| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | UZ | SumUX | SumUY | SumUZ |
|------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODAL | Mode | | 1.781551 | 0 | 0.43804 | 3.675E-19 | 0.00 | 0.44 | 0.00 |
| MODAL | Mode | | 1.780792 | 0 | 0.32198 | 0 | 0.00 | 0.76 | 0.00 |
| MODAL | Mode | | 1.75848 | 0.67437 | 0 | 6.716E-18 | 0.67 | 0.76 | 0.00 |
| MODAL | Mode | | 1.754951 | 0.09609 | 0 | 1.997E-19 | 0.77 | 0.76 | 0.00 |
| MODAL | Mode | | 1.560099 | 0 | 0.000004059 | 2.782E-18 | 0.77 | 0.76 | 0.00 |
| MODAL | Mode | | 1.55921 | 0 | 0.000004522 | 1.94E-17 | 0.77 | 0.76 | 0.00 |
| MODAL | Mode | | 0.941337 | 0 | 0.00606 | 4.342E-20 | 0.77 | 0.77 | 0.00 |
| MODAL | Mode | | 0.940971 | 0 | 0.00308 | 4.27E-20 | 0.77 | 0.77 | 0.00 |
| MODAL | Mode | | 0.434672 | 1.421E-17 | 5.282E-11 | 5.614E-19 | 0.77 | 0.77 | 0.00 |
| MODAL | Mode | | 0.434599 | 3.959E-18 | 1.817E-09 | 1.587E-19 | 0.77 | 0.77 | 0.00 |
| MODAL | Mode | | 0.315355 | 2.403E-08 | 1.223E-18 | 0.00632 | 0.77 | 0.77 | 0.01 |
| MODAL | Mode | | 0.314831 | 2.55E-08 | 4.555E-17 | 0.00647 | 0.77 | 0.77 | 0.01 |
| MODAL | Mode | | 0.29896 | 6.776E-08 | 5.294E-17 | 0.000003595 | 0.77 | 0.77 | 0.01 |
| MODAL | Mode | | 0.298297 | 6.283E-08 | 9.387E-19 | 1.174E-07 | 0.77 | 0.77 | 0.01 |
| MODAL | Mode | | 0.261294 | 1.103E-07 | 8.869E-17 | 0.01458 | 0.77 | 0.77 | 0.03 |
| MODAL | Mode | | 0.260863 | 1.037E-07 | 4.718E-18 | 0.01564 | 0.77 | 0.77 | 0.04 |
| MODAL | Mode | | 0.232922 | 3.128E-16 | 0.00001352 | 1.883E-16 | 0.77 | 0.77 | 0.04 |
| MODAL | Mode | | 0.232875 | 1.813E-16 | 0.00001182 | 3.192E-18 | 0.77 | 0.77 | 0.04 |
| MODAL | Mode | | 0.221891 | 0.000000179 | 3.143E-16 | 2.113E-08 | 0.77 | 0.77 | 0.04 |
| MODAL | Mode | | 0.221349 | 1.725E-07 | 7.602E-16 | 2.799E-07 | 0.77 | 0.77 | 0.04 |
| MODAL | Mode | | 0.188897 | 2.587E-07 | 5.899E-18 | 0.0292 | 0.77 | 0.77 | 0.07 |
| MODAL | Mode | | 0.188481 | 2.477E-07 | 9.641E-19 | 0.03078 | 0.77 | 0.77 | 0.10 |
| MODAL | Mode | | 0.16448 | 2.738E-07 | 3.971E-16 | 0.00003525 | 0.77 | 0.77 | 0.10 |
| MODAL | Mode | | 0.164086 | 2.671E-07 | 1.565E-15 | 2.834E-08 | 0.77 | 0.77 | 0.10 |
| MODAL | Mode | | 0.148844 | 1.458E-07 | 1.47E-18 | 0.22664 | 0.77 | 0.77 | 0.33 |
| MODAL | Mode | | 0.148366 | 1.396E-07 | 1.239E-18 | 0.22787 | 0.77 | 0.77 | 0.56 |
| MODAL | Mode | | 0.144679 | 9.934E-15 | 6.748E-10 | 4.208E-15 | 0.77 | 0.77 | 0.56 |
| MODAL | Mode | | 0.144628 | 1.414E-15 | 1.323E-08 | 3.105E-16 | 0.77 | 0.77 | 0.56 |
| MODAL | Mode | | 0.127896 | 5.911E-08 | 1.796E-15 | 8.877E-13 | 0.77 | 0.77 | 0.56 |
| MODAL | Mode | | 0.127893 | 3.006E-08 | 1.261E-16 | 1.212E-14 | 0.77 | 0.77 | 0.56 |

Figura 2-6: masse partecipanti.

2.6.2 Reazioni

Si riportano le reazioni ed i momenti di incastro indotti dal sisma SLV in entrambi i “sottoviadotti” (indicati con A e B, aventi in comune una pila, rispettivamente l’ultima del modello A e la prima del modello B) e che servono per il calcolo delle sottostrutture. Con 1 si indica l’asse longitudinale, con 2 il trasversale e con 3 l’asse verticale.

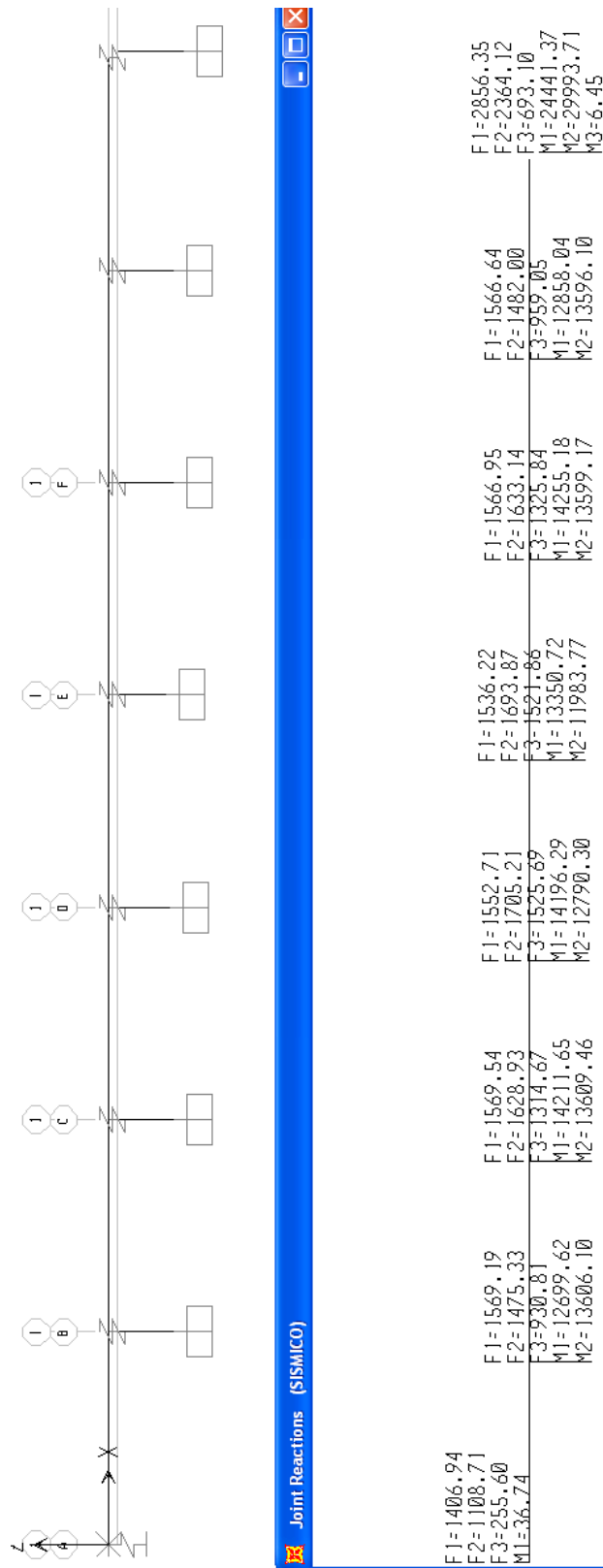


Figura 2-7: reazioni modello A [kN e m].



Joint Reactions (SISMICO)

| | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| F1=2856,35 | F1=1595,83 | F1=1587,56 | F1=1587,72 | F1=1607,78 | F1=1588,13 | F1=1587,79 | F1=1587,30 |
| F2=2364,12 | F2=1503,92 | F2=1645,69 | F2=1729,06 | F2=1747,90 | F2=1639,65 | F2=1491,85 | F2=1321,55 |
| F3=693,40 | F3=981,37 | F3=1345,44 | F3=1563,06 | F3=1541,80 | F3=1305,02 | F3=961,23 | F3=303,53 |
| M1=2441,37 | M1=13649,29 | M1=15110,78 | M1=15982,62 | M1=16887,10 | M1=15069,13 | M1=13531,08 | M1=11755,05 |
| M2=29993,71 | M2=14484,24 | M2=14460,06 | M2=14461,69 | M2=15319,95 | M2=14462,35 | M2=14458,88 | M2=14453,75 |
| M3=6,45 | | | | | | | |

Figura 2-8: reazioni modello B [kN e m].

2.6.3 Spostamenti

Nella tabella seguente si riportano gli spostamenti assoluti dell'impalcato nei punti in corrispondenza delle sottostrutture. Tali valori, anche considerando il moto contro fase delle pile sono sempre inferiori al limite del dispositivo (250 mm).

| Joint | OutputCase | CaseType | StepType | U1 | U2 |
|-------|------------|-------------|----------|-------|-------|
| Text | Text | Text | Text | m | m |
| 1 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.170 |
| 2 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.201 |
| 3 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.227 |
| 4 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.242 |
| 5 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.242 |
| 6 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.228 |
| 107 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.202 |
| 144 | SLC | Combination | Max | 0.002 | 0.001 |
| 199 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.228 |
| 201 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.242 |
| 202 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.227 |
| 551 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.202 |
| 572 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.172 |
| 604 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.201 |
| 625 | SLC | Combination | Max | 0.216 | 0.171 |

Figura 2-9: spostamento orizzontale (max ABS) SLC [m].

Nella tabella seguente sono invece riportati i valori degli spostamenti dell'impalcato allo SLD per i medesimi punti.

| Joint | OutputCase | CaseType | StepType | U1 | U2 |
|-------|------------|-------------|----------|--------|--------|
| Text | Text | Text | Text | m | m |
| 1 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0075 |
| 2 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0088 |
| 3 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0100 |
| 4 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0107 |
| 5 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0107 |
| 6 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0100 |
| 107 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0089 |
| 110 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0076 |
| 199 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0100 |
| 200 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0107 |
| 201 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0107 |
| 202 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0100 |
| 551 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0089 |
| 604 | SLD | Combination | Max | 0.0095 | 0.0089 |

625 SLD Combination Max 0.0095 0.0075

Figura 2-10: spostamento orizzontale (max ABS) SLD [m].

3 ISOLATORI E GIUNTI

3.1 ISOLATORI

Gli isolatori elastomerici assolvono alla duplice funzione di apparecchio di appoggio e dispositivo per la protezione sismica. Di seguito è mostrato lo schema di vincolo dell'impalcato che mostra come sia presente un isolatore sotto ogni trave, con la conseguenza di avere sulle pile in corrispondenza del giunto 8 isolatori mentre altrove ce ne sono 4.

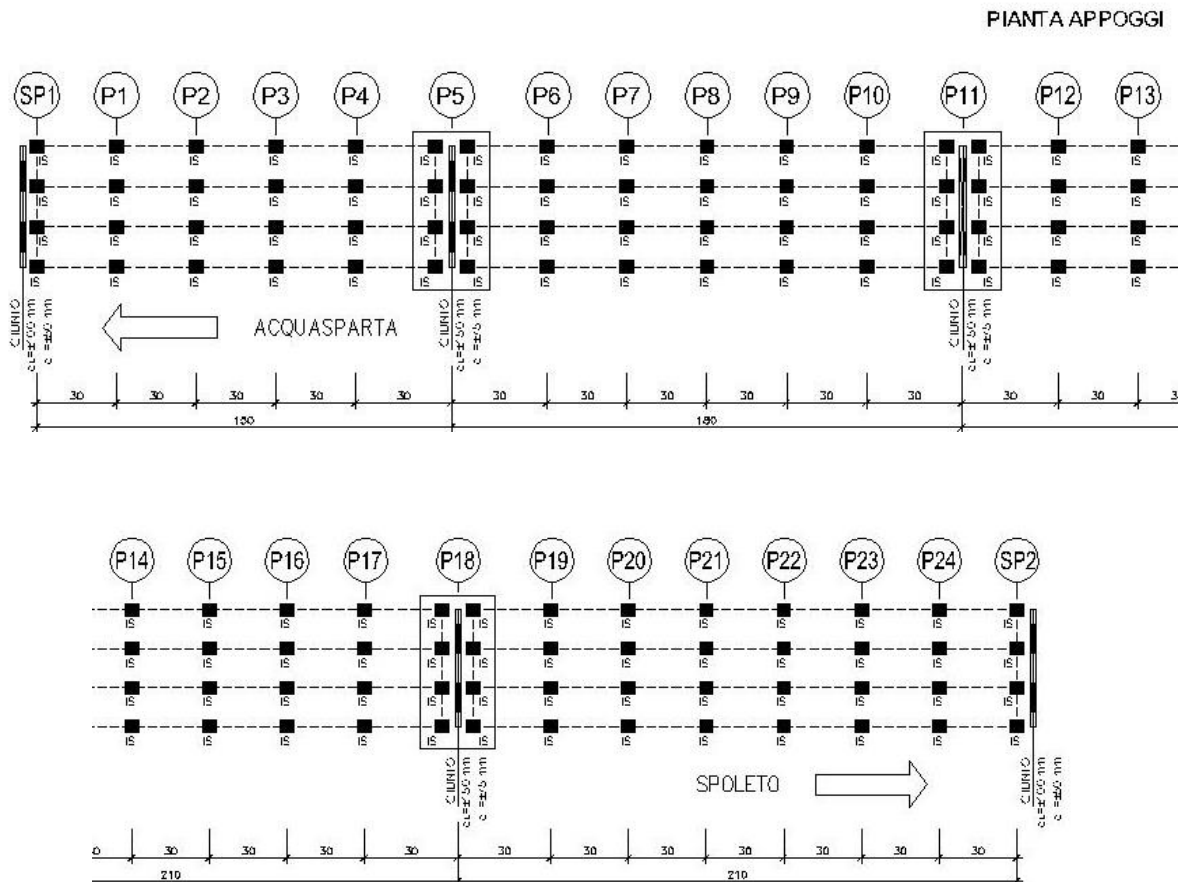


Figura 3-1: schema vincolo (pianta).

Tali dispositivi producono spostamenti anche con le forze orizzontali di esercizio. Il dimensionamento passa appunto per la valutazione della rigidità minima dei dispositivi

al fine di avere spostamenti in esercizio compatibili con l'uso. Noto il valore della forza di riferimento in esercizio (la frenatura) e fissando uno spostamento accettabile in esercizio (20 mm) si individua la rigidezza minima complessiva che gli isolatori tutti insieme devono garantire. Tale valore è 40 kN/mm per ogni sottoviadotto.

Le caratteristiche di tali apparecchi sono di seguito mostrate, con il seguente significato delle sigle:

- SLE= stato limite di esercizio combinazione quasi permanente (carico agente sull'isolatore in situazione sismica);
- SLU= stato limite ultimo;
- SLC= stato limite di collasso

Dagli spostamenti allo SLC, stante l'ipotesi di linearità, si ricavano le forze orizzontali cui gli isolatori devono resistere.

| SCARICHI PER APPOGGIO E SPOSTAMENTI | | | | | | |
|--|----------------------------|----------|-------|--------|-----------------|--------|
| ELEMENTO | SCARICHI PER APPOGGIO (kN) | | | | ESCURSIONI [mm] | |
| | Vert.SLU | Vert.SLE | Long. | Trasv. | Long. | Trasv. |
| SP1 - SP2 | 1900 | 650 | 375 | 300 | ±215 | ±170 |
| P5 - P11- P18 | 2450 | 650 | 375 | 300 | ±220 | ±175 |
| P1-P2-P3-P4-P6-P7-P8-P9-P10-P12-P13-P14-P15-P16-P17 P19-P20-P21-P22-P23-P24 | 4000 | 1780 | 375 | 400 | ±216 | ±240 |

Figura 3-2: sintesi reazioni SLV (per le verifiche delle sottostrutture) e spostamenti allo SLC (per le verifiche degli isolatori).


| ISOLATORE ELASTOMERICO |  | SIGLA | APPOGGI TIPO | RIGIDEZZA ORIZ. [kN/mm] | SMORZ. EQUIV. [%] | BASE [mm] | ALTEZZA [mm] | ESCURS. [mm] | | ROTAZIONE [deg] | N.ro PEZZI |
|------------------------|---|-------|--------------|----------------------------|----------------------|--------------|-----------------|--------------|--------|----------------------|---------------|
| | | | | | | | | LONG. | TRASV. | | |
| | | IS | SI H 450/26 | 1,77 | 15 | 500 | 280 | ±250 | ±250 | 5° | 116 |

Figura 3-3: caratteristiche isolatore.

3.2 GIUNTI

I giunti sono dimensionati per garantire i movimenti lenti (termica, ritiro) ma, soprattutto, per rimanere integri per un sisma allo stato limite di danno. In accordo a UNI ENV 1998-2:2005 l'escursione si valuta come:

$$d_{Ed} = d_E + d_G + \psi_2 d_T$$

ESCURSIONE LONGITUDINALE

| | | | |
|------------|---|--------|---------|
| d_{Es} | spostamento massimo da azione sismica (SLD) | [mm] | 11 |
| α | accelerazione sismica normalizzata | | 0.25 |
| γ_x | | | 1.60 |
| d_E | spostamento di progetto all'interfaccia di isolamento | [mm] | 17.6 |
| ΔT | variazione termica uniforme | [°C] | 25 |
| α | coefficiente di dilatazione termica | [1/°C] | 0.00001 |
| L | lunghezza di riferimento | [m] | 90 |
| d_T | elongazione da effetto termico | [mm] | 22.5 |
| ψ_2 | coefficiente di combinazione | | 0.4 |
| d_G | spostamenti per effetti a lungo termine (ritiro) | [mm] | 45 |
| $d_{EX,d}$ | spostamento di progetto totale | [mm] | 71.6 |

ESCURSIONE TRASVERSALE

| | | | |
|------------|---|--------|---------|
| d_{Es} | spostamento massimo da azione sismica (SLD) | [mm] | 11 |
| α | accelerazione sismica normalizzata | | 0.25 |
| γ_x | | | 1.60 |
| d_E | spostamento di progetto all'interfaccia di isolamento | [mm] | 17.6 |
| ΔT | variazione termica uniforme | [°C] | 25 |
| α | coefficiente di dilatazione termica | [1/°C] | 0.00001 |
| L | lunghezza di riferimento | [m] | 5 |
| d_T | elongazione da effetto termico | [mm] | 1.25 |
| ψ_2 | coefficiente di combinazione | | 0.4 |

| | | | |
|------------|--|------|------|
| d_G | spostamenti per effetti a lungo termine (ritiro) | [mm] | 2.5 |
| $d_{EX,d}$ | spostamento di progetto totale | [mm] | 20.6 |

Si necessita (sulle spalle) di un giunto con escursione longitudinale di ± 100 mm e trasversale di ± 50 mm. Sulle pile in comune a più sottoviadotti, occorrono giunti aventi escursione ± 150 mm longitudinale e ± 75 mm

| GIUNTI DI DILATAZIONE | | |
|-----------------------|-----------------|----------|
| POSIZIONE | ESCURSIONI [mm] | |
| | Long. | Trasv. |
| SP1-SP2 | ± 100 | ± 50 |
| P5 - P11- P18 | ± 150 | ± 75 |

Figura 3-4: caratteristiche dei giunti di dilatazione.

4 PROGETTO E VERIFICA PILA SU GIUNTO (impalcato B= 11.25 m) e FONDAZIONE

4.1 ANALISI DEI CARICHI

4.1.1 Azioni statiche trasmesse dall'impalcato

Travi

| | | |
|---------------|--------|-------|
| p (per trave) | [kN/m] | 19.09 |
| n | | 4 |
| p tot al m | [kN/m] | 80.2 |

Soletta

| | | |
|------------|----------------------|------|
| p (al mq) | [kN/m ²] | 6.3 |
| Larghezza | [m] | 11.3 |
| p tot al m | [kN/m] | 70.3 |

Marcia piede

| | | |
|------------|----------------------|------|
| p (al mq) | [kN/m ²] | 8.9 |
| Luce | [m] | 0.75 |
| n | | 2.00 |
| p tot al m | [kN/m] | 13.3 |

Barriere

| | | |
|------------|---------|-----|
| p | [kN/m] | 2.5 |
| n | | 2.0 |
| p tot al m | [kNm/m] | 5.0 |

Pavimentazione e massetto

| | | |
|------------|--------|------|
| p tot al m | [kN/m] | 37.1 |
|------------|--------|------|

| | | |
|---------------------------|-----|------|
| Lc1 = luce prima campata | [m] | 30.0 |
| Lc2= luce seconda campata | [m] | 0.0 |

| | | |
|--------------|--|-------|
| gamma TC (V) | | 0.800 |
| gamma TC (T) | | 1.000 |

| | | |
|---------------------------------|------|-------|
| Reazione verticale per appoggio | [kN] | 617.6 |
|---------------------------------|------|-------|

Mobili

| | | | | |
|--|----------------------------------|----------------------|--------|--------|
| W = | larghezza carreggiata | [m] | 9.75 | |
| n _L = | numero corsie convenzionali | | 3 | |
| W _c = | larghezza di una corsia convenz. | [m] | 3 | |
| W _R = | larghezza zona rimanente | [m] | 0.75 | |
| Q _{1K} = | carico asse corsia 1 | [kN] | 300 | 300 |
| Q _{2K} = | carico asse corsia 2 | [kN] | 200 | 200 |
| Q _{3K} = | carico asse corsia 3 | [kN] | 100 | 0 |
| Q _{iK} = | carico asse altre corsie | [kN] | 0 | 0 |
| q _{1K} = | UDL corsia 1 | [kN/m ²] | 9 | 9 |
| q _{2K} = | UDL corsia 2 | [kN/m ²] | 2.5 | 2.5 |
| q _{3K} = | UDL corsia 3 | [kN/m ²] | 2.5 | 0 |
| q _{iK} = | UDL altre corsie | [kN/m ²] | 2.5 | 0 |
| | | | MAX N | MAX T |
| ecc UDL 1 | [m] | | 3.38 | 3.38 |
| ecc UDL 2 | [m] | | 0.38 | 0.38 |
| ecc UDL 3 | [m] | | -2.62 | |
| ecc UDL 4 | [m] | | -4.50 | |
| ecc TS1 | [m] | | 4.38 | 4.38 |
| ecc TS1 | [m] | | 2.38 | 2.38 |
| ecc TS2 | [m] | | 1.38 | 1.38 |
| ecc TS2 | [m] | | -0.62 | -0.62 |
| ecc TS3 | [m] | | -1.62 | |
| ecc TS3 | [m] | | -3.62 | |
| M UDL 1 | [kNm/m] | | 91.3 | 91.3 |
| M UDL 2 | [kNm/m] | | 2.9 | 2.9 |
| M UDL 3 | [kNm/m] | | -19.7 | 0.0 |
| M UDL 4 | [kNm/m] | | -8.4 | 0.0 |
| M UDL | [kNm] | | 990.3 | 1411.7 |
| M TS1 | [kNm] | | 2028.0 | 2028.0 |
| M TS2 | [kNm] | | 152.0 | 152.0 |
| M TS3 | [kNm] | | -524.0 | 0.0 |
| Momento torcente mobili totale | [kNm] | | 3636.7 | 5003.3 |
| Reazione verticale mobili totale | [kN] | | 1702.5 | 1394.0 |
| Eccentricità forza equivalente | [m] | | 2.14 | 3.59 |
| Eccentricità trave 1 (rispetto baricentro) | [m] | | 3.8 | 3.8 |

| | | | |
|--|-----|------|------|
| Eccentricità trave 2 (rispetto baricentro) | [m] | 1.3 | 1.3 |
| Eccentricità trave 3 (rispetto baricentro) | [m] | -3.8 | -3.8 |
| Eccentricità trave 4 (rispetto baricentro) | [m] | -1.3 | -1.3 |
| Eccentricità trave 5 (rispetto baricentro) | [m] | | 0.0 |
| Eccentricità trave 6 (rispetto baricentro) | [m] | | 0.0 |

| | | | |
|--|------|-------|-------|
| Reazione verticale per carico verticale per appoggio | [kN] | 425.6 | 348.5 |
| Reazione verticale massima per eccentricità (+ o -) | [kN] | 432.9 | 595.6 |

| | | | |
|--------------------------------------|------|--------|--------|
| Reazione totale per appoggio massima | [kN] | 1476.2 | 1561.8 |
| Reazione totale per appoggio minima | [kN] | 610.3 | 370.5 |

| | | | |
|----------------------|--|------|------|
| gamma SLU permanenti | | 1.35 | 1.35 |
| gamma SLU mobili | | 1.35 | 1.35 |

| | | | |
|--|------|--------|--------|
| Reazione totale per appoggio massima SLU | [kN] | 1992.9 | 2108.4 |
| Reazione totale per appoggio minima SLU | [kN] | 824.0 | 500.2 |

| | | | |
|---------------------------|--|------|------|
| gamma SLE permanenti rara | | 1.00 | 1.00 |
| gamma SLE mobili rara | | 1.00 | 1.00 |

| | | | |
|--|------|--------|--------|
| Reazione totale per appoggio massima SLE | [kN] | 1476.2 | 1561.8 |
| Reazione totale per appoggio minima SLE | [kN] | 610.3 | 370.5 |

| | | | |
|----------------------------|--|------|------|
| gamma SLE permanenti sisma | | 1.00 | 1.00 |
| gamma SLE mobili sisma | | 0.00 | 0.00 |

| | | | |
|--|------|-------|-------|
| Reazione totale per appoggio massima SLE | [kN] | 617.6 | 617.6 |
| Reazione totale per appoggio minima SLE | [kN] | 617.6 | 617.6 |

Le risultanti sul piano appoggi dei carichi trasmessi dall'impalcato sono dunque le seguenti::

| | N [kN] | H _l [kN] | H _t [kN] | M _t [kNm] |
|--------------------------------|-----------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Peso impalcato | 4980 | 0 | 0 | 0 |
| Ritiro | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gradiente termico | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Accidentali max N | 3400 | 0 | 0 | 3640 |
| Accidentali max M _t | 2800 | 0 | 0 | 5000 |
| Vento | 0 | 0 | 410 | 910 |

4.1.2 Azioni dinamiche

Le azioni sismiche allo spiccato della pila sono invece le seguenti:

Sisma longitudinale

| | | |
|-----------------------------|-------|-------|
| Taglio longitudinale H_l | 2856 | [kN] |
| Momento longitudinale M_l | 29993 | [kNm] |

Sisma trasversale

| | | |
|---------------------------|-------|-------|
| Taglio trasversale H_t | 2364 | [kN] |
| Momento trasversale M_t | 24450 | [kNm] |

Sisma verticale

| | | |
|----------------------------|-----|-----|
| Forza verticale ΔN | 700 | kN] |
|----------------------------|-----|-----|

4.2 PROGETTO E VERIFICA PILA

4.2.1 Geometria

Si riportano di seguito prospetti, piante e sezioni afferenti alla pila oggetto di studio.

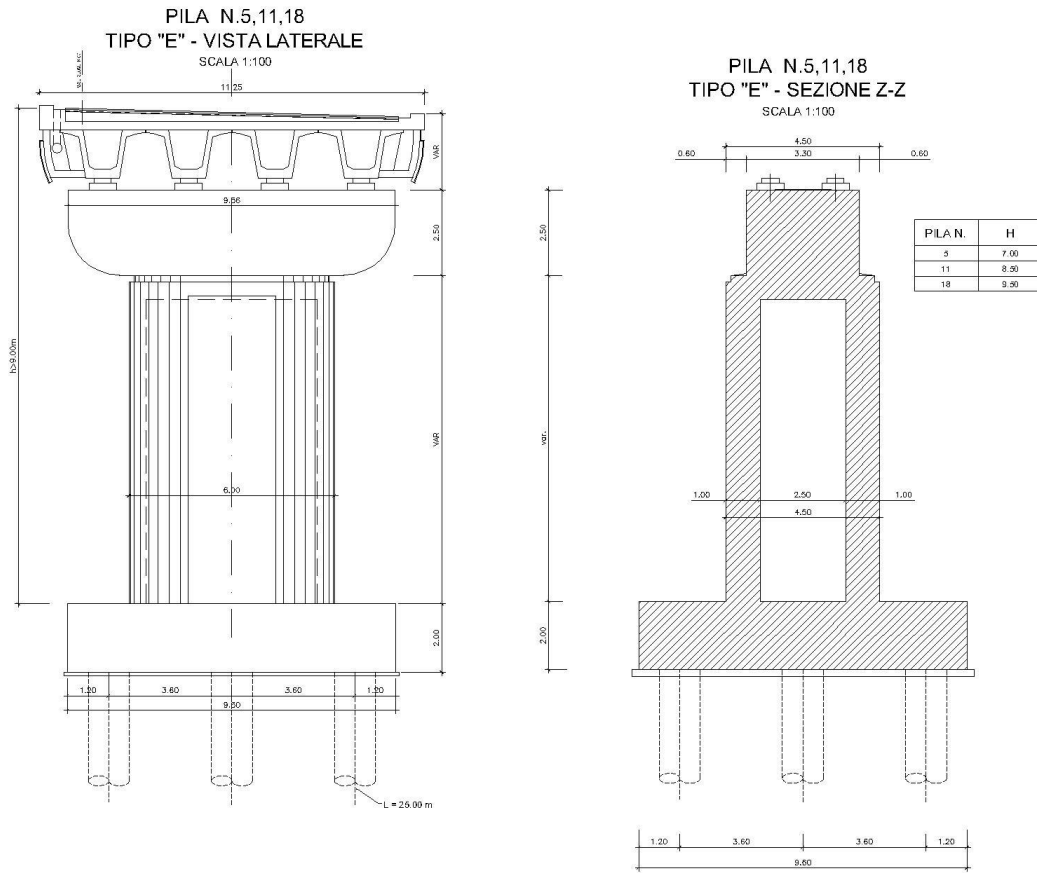


Figura 4-1: prospetto e sezione pila.

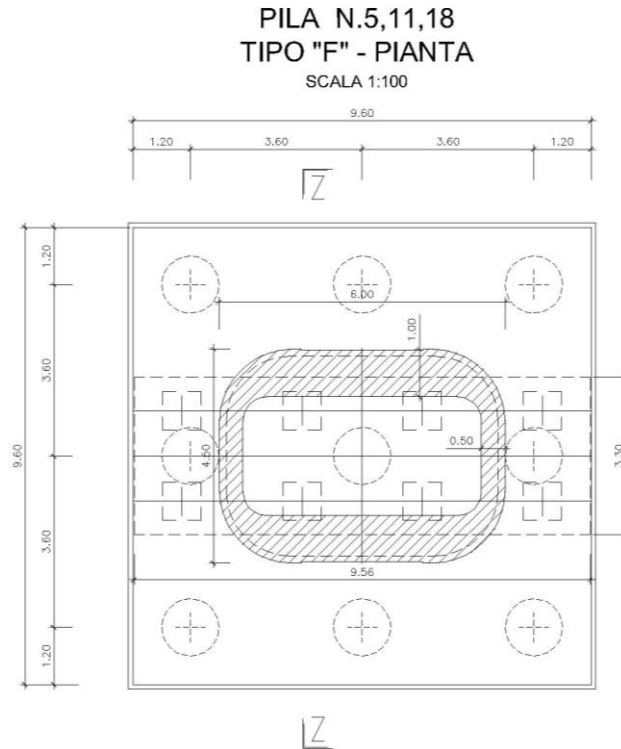


Figura 4-2: pianta fondazione.

ZATTERA

| | | |
|--|-------|---|
| Altezza $h_{zattera}$ | 2.00 | m |
| Dimensione longitudinale L_{long} | 10.00 | m |
| Dimensione trasversale L_{trasv} | 10.00 | m |
| Profondità intradosso zattera dal p.c. | 2.00 | m |

PILA

Si assume che il fusto pila e il pulvino siano simmetrici sia longitudinalmente che trasversalmente e che la sezione trasversale del fusto pila sia costante con l'altezza.

Altezze

| | | |
|-----------------------|------|---|
| Baggioli h_{bagg} | 0.20 | m |
| Pulvino $h_{pulvino}$ | 2.50 | m |
| Fusto pila h_{pila} | 4.50 | m |

Sezioni in pianta

| | | |
|------------------------------------|-------|----------------|
| Baggiolo A_{bagg} | 0.64 | m ² |
| n° totale baggioli | 4 | |
| Valore medio pulvino $A_{m,pl}$ | 31.68 | m ² |
| Area fusto pila allo spiccato pila | 12.65 | m ² |

Prospetti longitudinali

Inserto a relazione geotecnica

| | | |
|--|------|---|
| Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$ | 3.30 | m |
| Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino | 1.20 | m |
| Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$ | 4.50 | m |
| Altezza fusto pila dal p.c. | 4.50 | m |
| Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c. | 2.25 | m |

GEOMETRIA PALIFICATA

Numero totale di pali della zattera 9

Coordinate pali rispetto al baricentro della zattera

| Pali | X (m) | Y (m) |
|------|----------|----------|
| 1 | 3.60 | 4.30 |
| 2 | 3.60 | 0.00 |
| 3 | 3.60 | -4.30 |
| 4 | 0.00 | 4.30 |
| 5 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 0.00 | -4.30 |
| 7 | -3.60 | 4.30 |
| 8 | -3.60 | 0.00 |
| 9 | -3.60 | -4.30 |

4.2.2 Combinazioni di carico

- Stato limite ultimo

- Coefficienti moltiplicativi che tengono conto della non contemporaneità delle varie azioni variabili trasmesse dall'impalcato alla spalla

TABELLA 5.1.VI- Coefficienti Ψ per azioni variabili (SLU) - impalcato (Testo unico)

| | Coeff. Ψ | | |
|--------------------------|---------------|----------|----------|
| | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
| Accidentali - frenamento | 0.75 | 0.75 | 0 |
| Vento ponte scarico | 0.6 | 0.2 | 0 |
| Vento ponte carico | 0.6 | -- | -- |
| Temperatura | 0.6 | 0.6 | 0.5 |

TABELLA 5.2.V - Coefficienti parziali relativi alle azioni (SLU) - Impalcato (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali γ_f | |
|--------------------------|-------------|-------------------------------|------|
| | | A1 | A2 |
| Permanente sfavorevole | G- | 1.35 | 1.00 |
| Permanente favorevole | G+ | 1.00 | 1.00 |
| Variabile sfavorevole Q- | accidentali | 1.35 | 1.15 |

| | | | |
|-------------------------|-------------|------|------|
| Variabile favorevole Q+ | vento | 1.50 | 1.30 |
| | ritiro, ... | 1.20 | 1.00 |
| | accidentali | 0.00 | 0.00 |
| | vento | 0.00 | 0.00 |
| | ritiro, ... | 0.00 | 0.00 |

TABELLA 6.2.I - Coefficienti parziali relativi alle azioni (SLU) - Terreno (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali | |
|------------------------|----|-----------------|------|
| | | γ_f | |
| | | A1 | A2 |
| Permanente sfavorevole | G- | 1.40 | 1.00 |
| Permanente favorevole | G+ | 1.00 | 1.00 |
| Variabile sfavorevole | Q- | 1.50 | 1.30 |
| Variabile favorevole | Q+ | 0.00 | 0.00 |

TABELLA 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri del terreno (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali | |
|-----------------------------|----------------|-----------------|------|
| | | γ_m | |
| | | M1 | M2 |
| Tan. angolo attrito interno | $\tan \phi'_k$ | 1.00 | 1.25 |
| Coazione efficace | c'_k | 1.00 | 1.25 |
| Coazione non drenata | c_{uk} | 1.00 | 1.40 |
| Peso unità di volume | γ | 1.00 | 1.00 |

TABELLA 6.4.I - Coefficienti parziali per fondazioni superficiali (Testo unico)

| Parametro | Coeff. parziali γ_r | | |
|-------------------|----------------------------|------|------|
| | R1 | R2 | R3 |
| Capacità portante | 1.00 | 1.80 | 2.30 |
| Scorrimento | 1.00 | 1.10 | 1.10 |

AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO E DALLA PILA IN CONDIZIONI DI SISMA

Per tutte le azioni sismiche si fa riferimento ai risultati di un' analisi dinamica modale svolta sulla base dello spettro di risposta relativo allo stato limite SLV le azioni sono relative a quota spiccato pila, nella proiezione verticale del baricentro della pila.

Sisma longitudinale E_x

$$H_{s,l} = 285.60 \quad t$$

$$M_{s,l} = 2999.30 \quad t^*m$$

Sisma trasversale E_y

$$H_{s,t} = 236.40 \quad t$$

$$M_{s,t} = 2445.00 \quad t^*m$$

Sisma verticale E_z

Gli effetti della componente verticale dell'azione sismica sulle pile possono essere omessi nelle zone di sismicità bassa e moderata. In zone di alta sismicità questi effetti devono essere analizzati solo in casi eccezionali in cui le pile sono soggette ad elevate flessioni generate dalle azioni permanenti sull'impalcato.

$$\Delta N_s = 70.00 \quad t$$

Combinazioni delle componenti E_x , E_y , E_z dell'azione sismica

Riassumendo le azioni relative alle tre componenti dell'azione sismica, si ha:

| | N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|-------|----------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| E_x | 0.00 | 285.60 | 0.00 | 2999.30 | 0.00 |
| E_y | 0.00 | 0.00 | 236.40 | 0.00 | 2445.00 |
| E_z | 70.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Come da NTC2018, le componenti elementari E_x , E_y , E_z dell'azione sismica devono essere combinate tra loro secondo la relazione:

$$E = \pm E_x \pm 0.30 E_y \pm 0.30 E_z$$

con rotazione degli indici x, y, z.

Nel caso in esame si considera 1 azione sismica longitudinale (E_{x+}), 1 azione sismica trasversale

(E_y+) e 2 azioni sismiche verticali ($E_z\pm$). Si hanno dunque 6 diverse combinazioni:

Sisma longitudinale dominante con accelerazione verticale positiva

| N (t) | H _l (t) | H _t (t) | M _l (t*m) | M _t (t*m) |
|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| 21.00 | 285.60 | 70.92 | 2999.30 | 733.50 |

Sisma longitudinale dominante con accelerazione verticale negativa

| N (t) | H _l (t) | H _t (t) | M _l (t*m) | M _t (t*m) |
|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| -21.00 | 285.60 | 70.92 | 2999.30 | 733.50 |

Sisma trasversale dominante con accelerazione verticale positiva

| N (t) | H _l (t) | H _t (t) | M _l (t*m) | M _t (t*m) |
|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| 21.00 | 85.68 | 236.40 | 899.79 | 2445.00 |

Sisma trasversale dominante con accelerazione verticale negativa

| N (t) | H _l (t) | H _t (t) | M _l (t*m) | M _t (t*m) |
|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| -21.00 | 85.68 | 236.40 | 899.79 | 2445.00 |

Sisma verticale dominante con accelerazione positiva

| N (t) | H _l (t) | H _t (t) | M _l (t*m) | M _t (t*m) |
|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| 70.00 | 85.68 | 70.92 | 899.79 | 733.50 |

Sisma verticale dominante con accelerazione negativa

| N (t) | H _l (t) | H _t (t) | M _l (t*m) | M _t (t*m) |
|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| -70.00 | 85.68 | 70.92 | 899.79 | 733.50 |

4.2.3 Sintesi azioni

Azioni impalcato allo spiccato pila

Per il trasporto si osserva che nel piano x,y il baricentro del pulvino (quota estradosso pulvino), rispetto a cui sono calcolate le azioni trasmesse dall'impalcato, coincide con il baricentro della pila (quota estradosso zattera), rispetto a cui sono calcolate le azioni dovute al peso proprio: è dunque necessario introdurre la sola eccentricità verticale e_v dei carichi orizzontali trasmessi dall'impalcato, pari all'altezza pulvino+altezza fusto pila.

$$e_v = -7.00 \text{ m}$$

$$M_l = M_{l,imp} + H_l * e_v$$

$$M_t = M_{t,imp} - H_t * e_v$$

(momenti positivi se antiorari)

| Esercizio | Carico | | N | H _l | H _t | M _l | M _t |
|-----------|---|-------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | t | t | t | t*m | t*m |
| Esercizio | Permanenti | g1+g2 | 498.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Carichi mobili max N | q1+q2 | 340.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 364.0 |
| | Carichi mobili max M _t | q1+q2 | 280.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 500.0 |
| | Frenamento | q3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Vento impalcato scarico | q5 | 0.0 | 0.0 | 41.0 | 0.0 | 378.0 |
| | Vento imp. carico max N, M _t | q5 | 0.0 | 0.0 | 41.0 | 0.0 | 378.0 |
| | Resistenze parassite vincoli | q7 | 0.0 | 7.5 | 0.0 | -52.3 | 0.0 |

Combinazioni di carico impalcato allo spiccato pila

| Sisma | | N | H _l | H _t | M _l | M _t |
|-------|---|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | t | t | t | t*m | t*m |
| Sisma | E _x (+) dominante con E _z (+) | 21.0 | 285.6 | 70.9 | 2,999.3 | 733.5 |
| | E _x (+) dominante con E _z (-) | -21.0 | 285.6 | 70.9 | 2,999.3 | 733.5 |
| | E _y (+) dominante con E _z (+) | 21.0 | 85.7 | 236.4 | 899.8 | 2,445.0 |
| | E _y (+) dominante con E _z (-) | -21.0 | 85.7 | 236.4 | 899.8 | 2,445.0 |
| | E _z (+) dominante | 70.0 | 85.7 | 70.9 | 899.8 | 733.5 |
| | E _z (-) dominante | -70.0 | 85.7 | 70.9 | 899.8 | 733.5 |

| | Comb | N | H _l | H _t | M _l | M _t |
|-----------|------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | t | t | t | t*m | t*m |
| Esercizio | 1 | 1,590.7 | 5.4 | 39.0 | -37.6 | 838.5 |
| | 2 | 1,509.7 | 5.4 | 39.0 | -37.6 | 1,022.1 |
| | 3 | 1,297.3 | 5.4 | 38.6 | -37.6 | 837.1 |
| | 4 | 1,216.3 | 5.4 | 38.6 | -37.6 | 1,020.7 |
| | 5 | 1,229.3 | 4.5 | 33.4 | -31.4 | 718.0 |
| | 6 | 1,160.3 | 4.5 | 33.4 | -31.4 | 874.4 |
| | 7 | 1,229.3 | 4.5 | 33.4 | -31.4 | 718.0 |
| | 8 | 1,160.3 | 4.5 | 33.4 | -31.4 | 874.4 |
| | 9 | 1,476.0 | 5.4 | 38.6 | -37.6 | 714.3 |
| | 10 | 1,415.2 | 5.4 | 38.6 | -37.6 | 852.0 |
| | 11 | 1,182.6 | 5.4 | 38.6 | -37.6 | 714.3 |
| | 12 | 1,121.8 | 5.4 | 38.6 | -37.6 | 852.0 |
| | 13 | 1,131.6 | 4.5 | 33.4 | -31.4 | 613.4 |
| | 14 | 1,079.8 | 4.5 | 33.4 | -31.4 | 730.7 |
| | 15 | 1,131.6 | 4.5 | 33.4 | -31.4 | 613.4 |
| | 16 | 1,079.8 | 4.5 | 33.4 | -31.4 | 730.7 |
| | 17 | 1,131.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 18 | 838.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 19 | 838.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 20 | 838.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

- sfavorevole + favorevole

A1 G- Q₁-
A1 G- Q₂-
A1 G+ Q₁-
A1 G+ Q₂-
A2 G- Q₁-
A2 G- Q₂-
A2 G+ Q₁-
A2 G+ Q₂-
A1 G- Q₃-
A1 G- Q₄-
A1 G+ Q₃-
A1 G+ Q₄-
A2 G- Q₃-
A2 G- Q₄-
A2 G+ Q₃-
A2 G+ Q₄-
A1 G- Q+
A1 G+ Q+
A2 G- Q+
A2 G+ Q+

| | | | | | | |
|-------|----|-------|-------|-------|---------|---------|
| Sisma | 21 | 693.3 | 285.6 | 70.9 | 2,999.3 | 733.5 |
| | 22 | 519.0 | 285.6 | 70.9 | 2,999.3 | 733.5 |
| | 23 | 651.3 | 285.6 | 70.9 | 2,999.3 | 733.5 |
| | 24 | 477.0 | 285.6 | 70.9 | 2,999.3 | 733.5 |
| | 25 | 693.3 | 85.7 | 236.4 | 899.8 | 2,445.0 |
| | 26 | 519.0 | 85.7 | 236.4 | 899.8 | 2,445.0 |
| | 27 | 651.3 | 85.7 | 236.4 | 899.8 | 2,445.0 |
| | 28 | 477.0 | 85.7 | 236.4 | 899.8 | 2,445.0 |
| | 29 | 742.3 | 85.7 | 70.9 | 899.8 | 733.5 |
| | 30 | 568.0 | 85.7 | 70.9 | 899.8 | 733.5 |
| | 31 | 602.3 | 85.7 | 70.9 | 899.8 | 733.5 |
| | 32 | 428.0 | 85.7 | 70.9 | 899.8 | 733.5 |
| | 33 | 519.0 | 285.6 | 70.9 | 2,999.3 | 733.5 |

A1 G- E_x(+) dominante con E_z(+)
A1 G+ E_x(+) dominante con E_z(+)
A1 G- E_x(+) dominante con E_z(-)
A1 G+ E_x(+) dominante con E_z(-)
A1 G- E_y(+) dominante con E_z(+)
A1 G+ E_y(+) dominante con E_z(+)
A1 G- E_y(+) dominante con E_z(-)
A1 G+ E_y(+) dominante con E_z(-)
A1 G- E_z(+) dominante
A1 G+ E_z(+) dominante
A1 G- E_z(-) dominante
A1 G+ E_z(-) dominante
A2 G- E_x(+) dominante con E_z(+)

| | | | | | |
|----|-------|-------|-------|---------|---------|
| 34 | 519.0 | 285.6 | 70.9 | 2,999.3 | 733.5 |
| 35 | 477.0 | 285.6 | 70.9 | 2,999.3 | 733.5 |
| 36 | 477.0 | 285.6 | 70.9 | 2,999.3 | 733.5 |
| 37 | 519.0 | 85.7 | 236.4 | 899.8 | 2,445.0 |
| 38 | 519.0 | 85.7 | 236.4 | 899.8 | 2,445.0 |
| 39 | 477.0 | 85.7 | 236.4 | 899.8 | 2,445.0 |
| 40 | 477.0 | 85.7 | 236.4 | 899.8 | 2,445.0 |
| 41 | 568.0 | 85.7 | 70.9 | 899.8 | 733.5 |
| 42 | 428.0 | 85.7 | 70.9 | 899.8 | 733.5 |
| 43 | 428.0 | 85.7 | 70.9 | 899.8 | 733.5 |
| 44 | 428.0 | 85.7 | 70.9 | 899.8 | 733.5 |

A2 G+ E_x(+) dominante con E_z(+)
A2 G- E_x(+) dominante con E_z(-)
A2 G+ E_x(+) dominante con E_z(-)
A2 G- E_y(+) dominante con E_z(+)
A2 G+ E_y(+) dominante con E_z(+)
A2 G- E_y(+) dominante con E_z(-)
A2 G+ E_y(+) dominante con E_z(-)
A2 G- E_z(+) dominante
A2 G+ E_z(+) dominante
A2 G- E_z(-) dominante
A2 G+ E_z(-) dominante

4.2.4 Verifica di resistenza della pila

Le azioni per la verifica della pila (sezione di spiccato) sono le più gravose in termini di pressoflessione e taglio; in particolare la verifica a pressoflessione risulta soddisfatta, per la condizione più gravosa, con Ø24/20.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: pila

(Percorso File: \\oceano\C37\LAVORO\Michela\pila.sez)

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C32/40
 Resis. compr. di calcolo fcd : 181.33 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta fcd': 90.67 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec : 333458 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0.20
 Resis. media a trazione fctm: 30.24 daN/cm²

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm²
 Resist. caratt. rottura ftk: 5400.0 daN/cm²
 Resist. snerv. di calcolo fyd: 3913.0 daN/cm²
 Resist. ultima di calcolo ftd: 4500.0 daN/cm²
 Deform. ultima di calcolo Epu: 0.068
 Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO

DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Poligonale
 Classe Conglomerato: C32/40

| N.vertice | Ascissa X, cm | Ordinata Y, cm |
|-----------|---------------|----------------|
| 1 | -300.00 | 225.00 |
| 2 | 300.00 | 225.00 |
| 3 | 300.00 | -225.00 |
| 4 | -300.00 | -225.00 |

DOMINIO N° 2

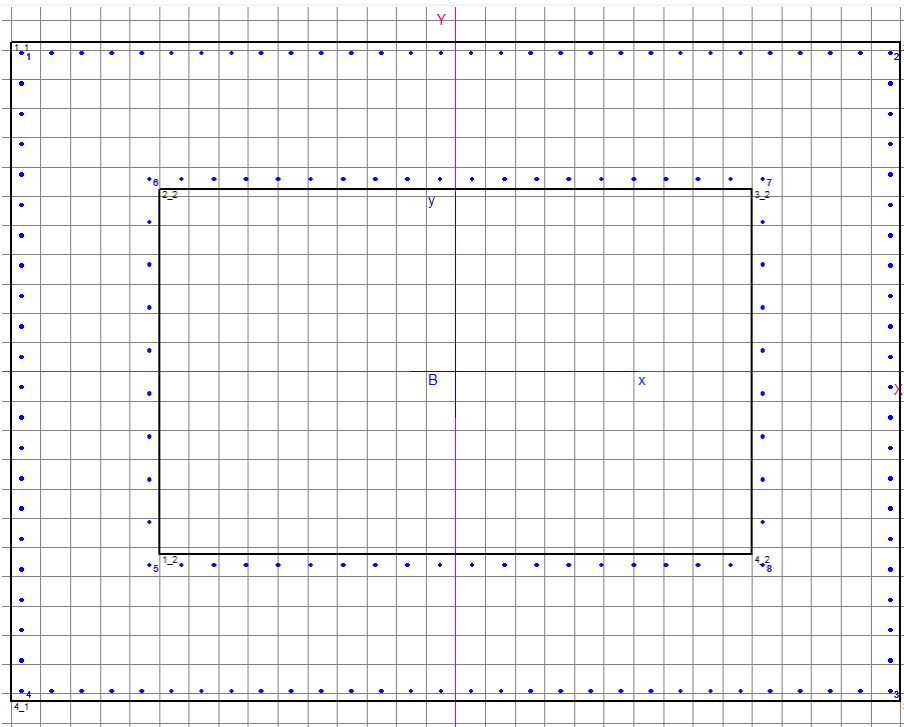
Forma del Dominio: Poligonale vuoto
 Classe Conglomerato: C20/25

| N.vertice | Ascissa X, cm | Ordinata Y, cm |
|-----------|---------------|----------------|
| 1 | -200.00 | -125.00 |
| 2 | -200.00 | 125.00 |
| 3 | 200.00 | 125.00 |
| 4 | 200.00 | -125.00 |

DATI BARRE ISOLATE

N.Barra Numero assegnato alle singole barre isolate e nei vertici dei domini
 Ascissa X Ascissa in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O
 Ordinata Y Ordinata in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O
 Diam. Diametro in mm della barra

| N.Barra | Ascissa X, cm | Ordinata Y, cm | Diam.Ø,mm |
|---------|---------------|----------------|-----------|
| 1 | -293.00 | 218.00 | 24 |
| 2 | 293.00 | 218.00 | 24 |
| 3 | 293.00 | -218.00 | 24 |
| 4 | -293.00 | -218.00 | 24 |
| 5 | -207.00 | -132.00 | 24 |
| 6 | -207.00 | 132.00 | 24 |
| 7 | 207.00 | 132.00 | 24 |
| 8 | 207.00 | -132.00 | 24 |



DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N.Barra In. Numero della barra iniziale cui si riferisce la gener.
 N.Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la gener.
 N.Barre Numero di barre generate equidist. inserite tra la barra iniz. e fin.
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

| N.Gen. | N.Barra In. | N.Barra Fin. | N.Barre | Diam.Ø,mm |
|--------|-------------|--------------|---------|-----------|
| 1 | 4 | 3 | 28 | 24 |
| 2 | 4 | 1 | 20 | 24 |
| 3 | 3 | 2 | 20 | 24 |
| 4 | 1 | 2 | 28 | 24 |
| 5 | 5 | 8 | 18 | 24 |
| 6 | 8 | 7 | 8 | 24 |
| 7 | 6 | 7 | 18 | 24 |
| 8 | 5 | 6 | 8 | 24 |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|--|
| N | Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione) |
| Mx | Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. |
| My | Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. |
| Vy | Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y |
| Vx | Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x |

| N.Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|--------|--------|---------|----|----|
| 1 | 477000 | 900000 | 2445000 | 10 | 0 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 17.8 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.4 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

| | |
|----------|---|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione) |
| Mx | Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia |
| My | Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| N ult | Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.) |
| Mx ult | Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia |
| My ult | Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000 |

| N.Comb. | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. |
|---------|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|----------|
| 1 | S | 477000 | 900000 | 2445000 | 476974 | 3321981 | 9046812 | 3.699 |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

| | |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione |
| ec 3/7 | Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| ef min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione) |
| Xf min | Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Yf min | Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| ef max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.) |
| Xf max | Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Yf max | Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N.Comb. | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | ef min | Xf min | Yf min | ef max | Xf max | Yf max |
|---------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00710 | 300.0 | 225.0 | 0.00320 | 293.0 | 218.0 | -0.02094 | -293.0 | -218.0 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

| | |
|--------|--|
| a | Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. |
| b | Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. |
| c | Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. |
| x/d | Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi) |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue |

| N.Comb. | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|---------|-------------|-------------|--------------|-----|--------|
| 1 | 0.000034735 | 0.000008674 | -0.008872065 | | |

La verifica a taglio, essendo il taglio di calcolo pari a 2364 kN, è soddisfatta disponendo il quantitativo di staffe mostrato in tabella.

| | | | |
|--|---------------|--------------------|--------|
| Base equivalente al rettangolo | b_w | [mm] | 4500 |
| Altezza utile equivalente al rettangolo | d | [mm] | 6000 |
| Area | | [mm ²] | 17 |
| Classe del calcestruzzo | R_{ck} | [MPa] | 40 |
| Resistenza a compressione ridotta | f'_{cd} | [MPa] | 18.1 |
| Resistenza a trazione di progetto | f_{yd} | [MPa] | 391 |
| Inclinazione puntone | ϑ | [deg] | 45 |
| Inclinazione staffe | α | [deg] | 90 |
| Forza assiale di progetto | N_{ed} | [kN] | 1000 |
| Tensione media di compressione | σ_{cp} | [MPa] | 0.6 |
| Coefficiente maggiorativo per membrature compresse | α_c | | 1.03 |
| Resistenza di calcolo a "compressione" | V_{Rcd} | [kN] | 113737 |
| Diametro barre staffe | \emptyset | [mm] | 14 |
| Numero bracci | n | | 2 |
| Area staffa | A_{sw} | [mm ²] | 307.9 |
| Passo | s | [mm] | 200 |
| Resistenza di calcolo a "taglio trazione" | V_{Rsd} | [kN] | 3253 |
| Resistenza a taglio | V_{RD} | [kN] | 3253 |

4.2.5 Verifica a fessurazione della pila

Nelle condizioni di SLE combinazione frequente e quasi permanente, individuate come di seguito:

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

| Azioni | Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV) | Coefficiente ψ_0 di combinazione | Coefficiente ψ_1 (valori frequenti) | Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV) | Schema 1 (Carichi tandem) | 0,75 | 0,75 | 0,0 |
| | Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schemi 3 e 4 (carichi concentrati) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schema 2 | 0,0 | 0,75 | 0,0 |
| | 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Vento q_3 | 4 (folla) | ---- | 0,75 | 0,0 |
| | 5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Vento a ponte scarico SLU e SLE | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| Neve q_3 | Esecuzione | 0,8 | ---- | 0,0 |
| | Vento a ponte carico | 0,6 | | |
| Temperatura | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | esecuzione | 0,8 | 0,6 | 0,5 |
| | T_k | 0,6 | 0,6 | 0,5 |

si ha che la tensione massima nelle barre di armatura per ogni condizione è inferiore a 160 MPa; con ciò la verifica a fessurazione è implicitamente soddisfatta.

4.3 PROGETTO E VERIFICA FONDAZIONE

4.3.1 Ripartizione forze nei pali

Numero totale dei pali $N_p = 9$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

| X | Y | Z |
|-------|-------|------|
| 10.00 | 10.00 | 2.00 |

Area fondazione 100.00 m²

Baric. zattera di fondazione - origine sistema di riferimento (m)

| X | Y |
|------|------|
| 0.00 | 0.00 |

Baricentro palificata

| X _G | Y _G |
|----------------|----------------|
| 0.00 | 0.00 |

Si assimila la fondazione a un corpo rigido sollecitato da sforzi puntuali, ovvero i pali. In tal caso gli sforzi sui pali sono unicamente funzione della distanza dal baricentro della palificata.

Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata (m²)

| J _l | J _t |
|----------------|----------------|
| 138.24 | 138.24 |

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X_g,Y_g):

| Pali | X (m) | Y (m) | X _{Gi} (m) | Y _{Gi} (m) | W _l (m) | W _t (m) |
|------|-------|-------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 4.80 | 4.80 | 4.80 | 4.80 | 28.80 | 28.80 |
| 2 | 4.80 | 0.00 | 4.80 | 0.00 | 28.80 | |
| 3 | 4.80 | -4.80 | 4.80 | -4.80 | 28.80 | -28.80 |
| 4 | 0.00 | 4.80 | 0.00 | 4.80 | | 28.80 |
| 5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| 6 | 0.00 | -4.80 | 0.00 | -4.80 | | -28.80 |
| 7 | -4.80 | 4.80 | -4.80 | 4.80 | -28.80 | 28.80 |
| 8 | -4.80 | 0.00 | -4.80 | 0.00 | -28.80 | |
| 9 | -4.80 | -4.80 | -4.80 | -4.80 | -28.80 | -28.80 |

dove W_l e W_t sono rispettivamente i moduli resistenti in direzione longitudinale e trasversale della palificata

Riferendo le azioni esterne al baricentro della palificata, quota intradosso zattera, si ha:

$$M_i = M_{i, \text{filo_platea}} - (N * e_{i, \text{pali}})$$

$$e_{i, \text{pali}} = 0.00 \quad \text{m}$$

| | | Azioni totali rispetto baricentro palificata | | | | | |
|-----------|-------|--|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----|
| | | N (t) | H _i (t) | H _t (t) | M _i (t*m) | M _t (t*m) | |
| | COMB. | | | | | | |
| Esercizio | 1 | 2,265.72 | 5.38 | 39.02 | -48.41 | 916.53 | A1 |
| | 2 | 2,184.72 | 5.38 | 39.02 | -48.41 | 1,100.13 | A1 |
| | 3 | 1,797.31 | 5.38 | 38.60 | -48.41 | 914.30 | A1 |
| | 4 | 1,716.31 | 5.38 | 38.60 | -48.41 | 1,097.90 | A1 |
| | 5 | 1,729.31 | 4.48 | 33.39 | -40.34 | 784.82 | A2 |
| | 6 | 1,660.31 | 4.48 | 33.39 | -40.34 | 941.22 | A2 |
| | 7 | 1,729.31 | 4.48 | 33.39 | -40.34 | 784.82 | A2 |
| | 8 | 1,660.31 | 4.48 | 33.39 | -40.34 | 941.22 | A2 |
| | 9 | 2,150.97 | 5.38 | 38.60 | -48.41 | 791.45 | A1 |
| | 10 | 2,090.22 | 5.38 | 38.60 | -48.41 | 929.15 | A1 |
| | 11 | 1,682.56 | 5.38 | 38.60 | -48.41 | 791.45 | A1 |
| | 12 | 1,621.81 | 5.38 | 38.60 | -48.41 | 929.15 | A1 |
| | 13 | 1,631.56 | 4.48 | 33.39 | -40.34 | 680.17 | A2 |
| | 14 | 1,579.81 | 4.48 | 33.39 | -40.34 | 797.47 | A2 |
| | 15 | 1,631.56 | 4.48 | 33.39 | -40.34 | 680.17 | A2 |
| | 16 | 1,579.81 | 4.48 | 33.39 | -40.34 | 797.47 | A2 |
| | 17 | 1,806.72 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A1 |
| | 18 | 1,338.31 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A1 |
| | 19 | 1,338.31 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A2 |
| | 20 | 1,338.31 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A2 |
| Sisma | 21 | 1,368.30 | 285.60 | 70.92 | 0.00 | 733.50 | A1 |
| | 22 | 1,194.00 | 285.60 | 70.92 | 2,999.30 | 733.50 | A1 |
| | 23 | 1,326.30 | 285.60 | 70.92 | 2,999.30 | 733.50 | A1 |
| | 24 | 1,152.00 | 285.60 | 70.92 | 2,999.30 | 733.50 | A1 |
| | 25 | 1,368.30 | 85.68 | 236.40 | 2,999.30 | 2,445.00 | A1 |
| | 26 | 1,194.00 | 85.68 | 236.40 | 899.79 | 2,445.00 | A1 |
| | 27 | 1,326.30 | 85.68 | 236.40 | 899.79 | 2,445.00 | A1 |
| | 28 | 1,152.00 | 85.68 | 236.40 | 899.79 | 2,445.00 | A1 |
| | 29 | 1,417.30 | 85.68 | 70.92 | 899.79 | 733.50 | A1 |
| | 30 | 1,243.00 | 85.68 | 70.92 | 899.79 | 733.50 | A1 |
| | 31 | 1,277.30 | 85.68 | 70.92 | 899.79 | 733.50 | A1 |
| | 32 | 1,103.00 | 85.68 | 70.92 | 899.79 | 733.50 | A1 |
| | 33 | 1,194.00 | 285.60 | 70.92 | 899.79 | 733.50 | A2 |
| | 34 | 1,194.00 | 285.60 | 70.92 | 2,999.30 | 733.50 | A2 |
| | 35 | 1,152.00 | 285.60 | 70.92 | 2,999.30 | 733.50 | A2 |
| | 36 | 1,152.00 | 285.60 | 70.92 | 2,999.30 | 733.50 | A2 |
| | 37 | 1,194.00 | 85.68 | 236.40 | 2,999.30 | 2,445.00 | A2 |

| | | | | | | |
|----|----------|-------|--------|--------|----------|----|
| 38 | 1,194.00 | 85.68 | 236.40 | 899.79 | 2,445.00 | A2 |
| 39 | 1,152.00 | 85.68 | 236.40 | 899.79 | 2,445.00 | A2 |
| 40 | 1,152.00 | 85.68 | 236.40 | 899.79 | 2,445.00 | A2 |
| 41 | 1,243.00 | 85.68 | 70.92 | 899.79 | 733.50 | A2 |
| 42 | 1,103.00 | 85.68 | 70.92 | 899.79 | 733.50 | A2 |
| 43 | 1,103.00 | 85.68 | 70.92 | 899.79 | 733.50 | A2 |
| 44 | 1,103.00 | 85.68 | 70.92 | 899.79 | 733.50 | A2 |

Al fine di ottenere gli sforzi assiali in testa ai pali si adatterà per le combinazioni di carico di esercizio la relazione:

$$N_{\text{palo}} = N/n^{\circ} \text{ pali} + M_l/W_l + M_t/W_t$$

Sollecitazioni sui pali di fondazione (t)

| | | | |
|---|-------|-------|---|
| | A1+M1 | A2+M2 | |
| Sollecitazione max sui pali di fondazione | | | |
| N_{max} | 341.1 | 321.7 | t |
| Sollecitazione min sui pali di fondazione | | | |
| N_{min} | -37.0 | -56.4 | t |

Per determinare il taglio massimo agente sui pali si dividono gli sforzi taglianti per il numero di pali della fondazione:

Il taglio massimo è dunque pari a

| | | | |
|------------------|-------|-------|---|
| | A1+M1 | A2+M2 | |
| T_{max} | 32.7 | 32.7 | t |

Le azioni massima agenti nei pali per le combinazioni di carico di interesse sono sintetizzate nelle tabelle seguenti.

| | A1+M1 | ESER |
|-------------|------------------|-------|
| SISM | | |
| 341.1 | N_{max} | 285.3 |
| -37.0 | N_{min} | 146.3 |
| 32.7 | T_{max} | 4.4 |

| | A2+M2 | ESER |
|-------------|------------------|-------|
| SISM | | |
| 321.7 | N_{max} | 220.8 |
| -56.4 | N_{min} | 146.4 |
| 32.7 | T_{max} | 3.7 |

4.3.2 Verifica di resistenza della zattera

La verifica del plinto è condotta considerando la mensola tozza che si produce tra la sezione di incastro della pila ed il palo. Con tale schematizzazione la forza di trazione nel corrente teso è, per la situazione più gravosa, determinata come di seguito:

- $\text{tg } \alpha = T/N = h/L = 0.97$ (tangente dell'angolo di inclinazione della biella di calcestruzzo);
- $h = 1.75$ m (altezza mensola tozza);
- $L = 1.8$ m (distanza sezione incastro da baricentro palo);
- $N = 3411$ kN (forza normale massima nel palo);
- $T = N \text{ tg } \alpha = 3320$ kN

A tale forza corrisponde un'armatura minima (da diffondere lungo il lato lungo) pari a 30 cm²/m.

4.3.3 Verifica a fessurazione della zattera

La verifica a fessurazione è implicitamente soddisfatta poiché in SLE le tensioni massime di trazione nelle armature sono inferiori a 160 MPa.

5 PROGETTO E VERIFICA PILA INTERMEDIA (impalcato B= 11.25 m) e FONDAZIONE

5.1 ANALISI DEI CARICHI

Si verifica la pila più sollecitata tra quelle che non sono poste in corrispondenza del giunto.

5.1.1 Azioni statiche trasmesse dall'impalcato

Travi

| | | |
|---------------|--------|-------|
| p (per trave) | [kN/m] | 19.09 |
| n | | 4 |
| p tot al m | [kN/m] | 80.2 |

Soletta

| | | |
|------------|----------------------|------|
| p (al mq) | [kN/m ²] | 6.3 |
| Larghezza | [m] | 11.3 |
| p tot al m | [kN/m] | 70.3 |

Marcia piede

| | | |
|------------|----------------------|------|
| p (al mq) | [kN/m ²] | 8.9 |
| Luce | [m] | 0.75 |
| n | | 2.00 |
| p tot al m | [kN/m] | 13.3 |

Barriere

| | | |
|------------|---------|-----|
| p | [kN/m] | 2.5 |
| n | | 2.0 |
| p tot al m | [kNm/m] | 5.0 |

Pavimentazione et massetto

| | | |
|------------|--------|------|
| p tot al m | [kN/m] | 37.1 |
|------------|--------|------|

| | | |
|---------------------------|-----|------|
| Lc1 = luce prima campata | [m] | 30.0 |
| Lc2= luce seconda campata | [m] | 30.0 |

| | | |
|--------------|--|-------|
| gamma TC (V) | | 1.150 |
| gamma TC (T) | | 1.000 |

| | | |
|---------------------------------|------|--------|
| Reazione verticale per appoggio | [kN] | 1775.7 |
|---------------------------------|------|--------|

Mobili

| | | | |
|------------------|-------------------------------------|-----|------|
| w = | larghezza carreggiata | [m] | 9.75 |
| n _L = | numero corsie convenzionali | | 3 |
| w _c = | larghezza di una corsia convenz. | [m] | 3 |

Inserto a relazione geotecnica

| | | | | |
|--|--------------------------|----------------------|--------|--------|
| $W_R =$ | larghezza zona rimanente | [m] | 0.75 | |
| $Q_{1K} =$ | carico asse corsia 1 | [kN] | 300 | |
| $Q_{2K} =$ | carico asse corsia 2 | [kN] | 200 | |
| $Q_{3K} =$ | carico asse corsia 3 | [kN] | 100 | |
| $Q_{iK} =$ | carico asse altre corsie | [kN] | 0 | |
| $q_{1K} =$ | UDL corsia 1 | [kN/m ²] | 9 | |
| $q_{2K} =$ | UDL corsia 2 | [kN/m ²] | 2.5 | |
| $q_{3K} =$ | UDL corsia 3 | [kN/m ²] | 2.5 | |
| $q_{iK} =$ | UDL altre corsie | [kN/m ²] | 2.5 | |
| | | | MAX N | MAX T |
| ecc UDL 1 | [m] | | 3.38 | 3.38 |
| ecc UDL 2 | [m] | | 0.38 | 0.38 |
| ecc UDL 3 | [m] | | -2.62 | |
| ecc UDL 4 | [m] | | -4.50 | |
| ecc TS1 | [m] | | 4.38 | 4.38 |
| ecc TS1 | [m] | | 2.38 | 2.38 |
| ecc TS2 | [m] | | 1.38 | 1.38 |
| ecc TS2 | [m] | | -0.62 | -0.62 |
| ecc TS3 | [m] | | -1.62 | |
| ecc TS3 | [m] | | -3.62 | |
| M UDL 1 | [kNm/m] | | 91.3 | 91.3 |
| M UDL 2 | [kNm/m] | | 2.9 | 2.9 |
| M UDL 3 | [kNm/m] | | -19.7 | 0.0 |
| M UDL 4 | [kNm/m] | | -8.4 | 0.0 |
| M UDL | [kNm] | | 1980.7 | 2823.3 |
| M TS1 | [kNm] | | 2028.0 | 2028.0 |
| M TS2 | [kNm] | | 152.0 | 152.0 |
| M TS3 | [kNm] | | -524.0 | 0.0 |
| Momento torcente mobili totale | [kNm] | | 3636.7 | 5003.3 |
| Reazione verticale mobili totale | [kN] | | 2689.7 | 2170.3 |
| Eccentricità forza equivalente | [m] | | 1.35 | 2.31 |
| Eccentricità trave 1 (rispetto baricentro) | [m] | | 3.8 | 3.8 |
| Eccentricità trave 2 (rispetto baricentro) | [m] | | 1.3 | 1.3 |
| Eccentricità trave 3 (rispetto baricentro) | [m] | | -3.8 | -3.8 |
| Eccentricità trave 4 (rispetto baricentro) | [m] | | -1.3 | -1.3 |
| Eccentricità trave 5 (rispetto baricentro) | [m] | | | 0.0 |
| Eccentricità trave 6 (rispetto baricentro) | [m] | | | 0.0 |

| | | | |
|--|------|-------|-------|
| Reazione verticale per carico verticale per appoggio | [kN] | 672.4 | 542.6 |
| Reazione verticale massima per eccentricità (+ o -) | [kN] | 432.9 | 595.6 |

| | | | |
|--------------------------------------|------|--------|--------|
| Reazione totale per appoggio massima | [kN] | 2881.1 | 2913.9 |
| Reazione totale per appoggio minima | [kN] | 2015.2 | 1722.7 |

| | | | |
|--|------|--------|--------|
| gamma SLU permanenti | | 1.35 | 1.35 |
| gamma SLU mobili | | 1.35 | 1.35 |
| Reazione totale per appoggio massima SLU | [kN] | 3889.5 | 3933.8 |
| Reazione totale per appoggio minima SLU | [kN] | 2720.5 | 2325.6 |

| | | | |
|--|------|--------|--------|
| gamma SLE permanenti rara | | 1.00 | 1.00 |
| gamma SLE mobili rara | | 1.00 | 1.00 |
| Reazione totale per appoggio massima SLE | [kN] | 2881.1 | 2913.9 |
| Reazione totale per appoggio minima SLE | [kN] | 2015.2 | 1722.7 |

| | | | |
|--|------|--------|--------|
| gamma SLE permanenti sisma | | 1.00 | 1.00 |
| gamma SLE mobili sisma | | 0.00 | 0.00 |
| Reazione totale per appoggio massima SLE | [kN] | 1775.7 | 1775.7 |
| Reazione totale per appoggio minima SLE | [kN] | 1775.7 | 1775.7 |

Le risultanti sul piano appoggi dei carichi trasmessi dall'impalcato sono dunque le seguenti:

| | N [kN] | H _l [kN] | H _t [kN] | M _t [kNm] |
|--------------------------------|-----------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Peso impalcato | 704.0 | 0 | 0 | 0 |
| Ritiro | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gradiente termico | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Accidentali max N | 269.0 | 0 | 0 | 364.0 |
| Accidentali max M _t | 217.0 | 0 | 0 | 500.0 |
| Vento | 0 | 0 | 40.5 | 91.1 |

5.1.2 Azioni dinamiche

Le azioni sismiche allo spiccato della pila sono invece le seguenti:

Sisma longitudinale

Taglio longitudinale H_l 160.80 [kN]
Momento longitudinale M_l 1532.00 [kNm]

Sisma trasversale

Taglio trasversale H_t 174.80 [kN]
Momento trasversale M_t 1688.70 [kNm]

Sisma verticale

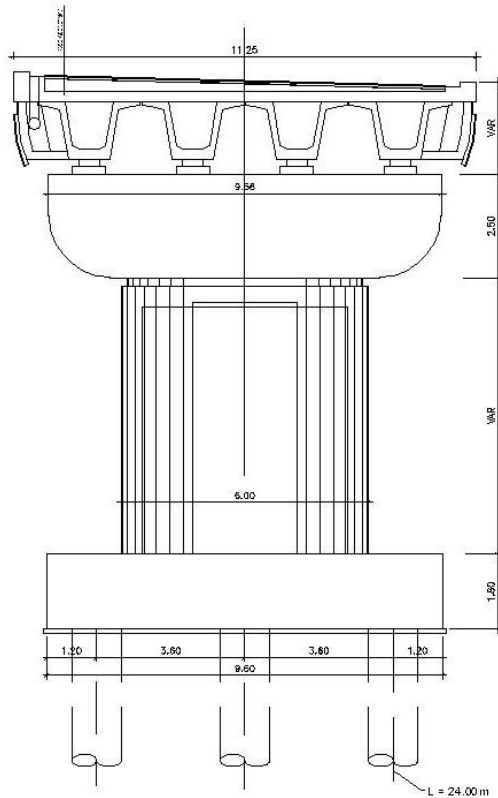
Forza verticale ΔN 154.10 [kN]

5.2 PROGETTO E VERIFICA PILA

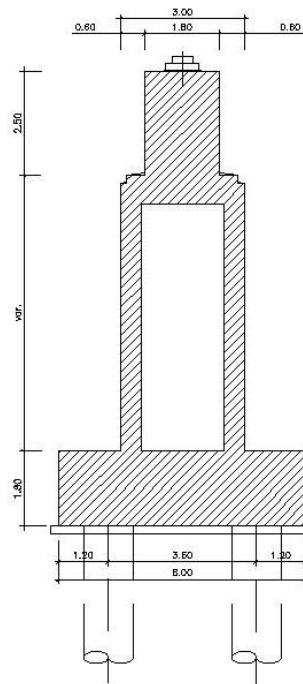
5.2.1 Geometria

Si riportano di seguito prospetti, piante e sezioni afferenti alla pila oggetto di studio.

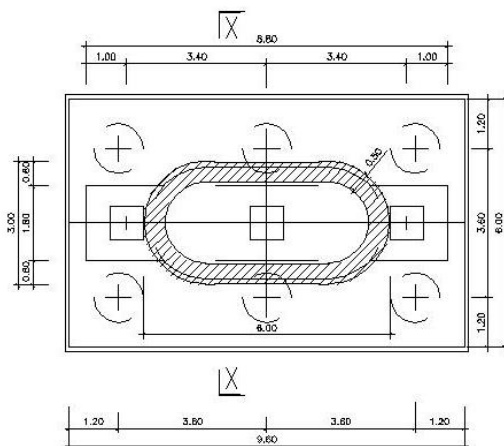
PILA TIPO A – VISTA LATERALE
1÷4, 6÷10, 12÷17, 19÷24
SCALA 1:100



PILA TIPO "A"
SEZIONE X-X
SCALA 1:100



PILA TIPO "A" - PIANTA
SCALA 1:100



| PILA N. | H | PILA N. | H |
|---------|------|---------|------|
| 1 | 5.00 | 17 | 3.50 |
| 2 | 5.00 | 18 | 3.00 |
| 3 | 5.00 | 20 | 3.00 |
| 4 | 7.00 | 21 | 7.00 |
| 5 | 3.50 | 22 | 7.50 |
| 6 | 3.50 | 23 | 3.00 |
| 7 | 3.50 | 24 | 3.00 |
| 8 | 3.50 | | |
| 9 | 3.50 | | |
| 10 | 3.50 | | |
| 11 | 3.50 | | |
| 12 | 3.50 | | |
| 13 | 3.50 | | |
| 14 | 9.00 | | |
| 15 | 3.50 | | |
| 16 | 3.50 | | |

Figura 5-1: prospetto e sezione pila e pianta fondazione.

ZATTERA

Altezza h_{zattera} 1.80 m

| | | |
|--|------|---|
| Dimensione longitudinale L_{long} | 6.00 | m |
| Dimensione trasversale L_{trav} | 9.60 | m |
| Profondità intradosso zattera dal p.c. | 1.80 | m |

PILA

Si assume che il fusto pila e il pulvino siano simmetrici sia longitudinalmente che trasversalmente e che la sezione trasversale del fusto pila sia costante con l'altezza.

Altezze

| | | |
|-----------------------|------|---|
| Baggioli h_{bagg} | 0.20 | m |
| Pulvino $h_{pulvino}$ | 2.50 | m |
| Fusto pila h_{pila} | 4.50 | m |

Sezioni in pianta

| | | |
|------------------------------------|-------|----------------|
| Baggiolo A_{bagg} | 0.64 | m ² |
| n° totale baggioli | 4 | |
| Valore medio pulvino $A_{m,pl}$ | 17.28 | m ² |
| Area fusto pila allo spiccato pila | 6.79 | m ² |

Prospetti longitudinali

| | | |
|--|------|---|
| Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$ | 1.80 | m |
| Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino | 1.20 | m |
| Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$ | 3.00 | m |
| Altezza fusto pila dal p.c. | 4.50 | m |
| Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c. | 2.25 | m |

GEOMETRIA PALIFICATA

Numero totale di pali della zattera 6

Coordinate pali rispetto al baricentro della zattera

| Pali | X (m) | Y (m) |
|------|----------|----------|
| 1 | 1.80 | 3.40 |
| 2 | 1.80 | 0.00 |
| 3 | 1.80 | -3.40 |
| 4 | -1.80 | 3.40 |
| 5 | -1.80 | 0.00 |
| 6 | -1.80 | -3.40 |

5.2.2 Combinazioni di carico

Stato limite ultimo

Coefficienti moltiplicativi che tengono conto della non contemporaneità delle varie azioni variabili trasmesse dall'impalcato alla spalla

TABELLA 5.1.VI- Coefficienti ψ per azioni variabili (SLU) - impalcato (Testo unico)

| | Coeff. ψ | | |
|--------------------------|---------------|----------|----------|
| | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
| Accidentali - frenamento | 0.75 | 0.75 | 0 |
| Vento ponte scarico | 0.6 | 0.2 | 0 |
| Vento ponte carico | 0.6 | -- | -- |
| Temperatura | 0.6 | 0.6 | 0.5 |

TABELLA 5.2.V - Coefficienti parziali relativi alle azioni (SLU) - Impalcato (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali | |
|--------------------------|-----------------------|-----------------|------|
| | | γ_f | |
| | | A1 | A2 |
| Permanente sfavorevole | G- | 1.35 | 1.00 |
| | Permanente favorevole | G+ | 1.00 |
| Variabile sfavorevole Q- | accidentali | 1.35 | 1.15 |
| | vento | 1.50 | 1.30 |
| | ritiro, ... | 1.20 | 1.00 |
| Variabile favorevole Q+ | accidentali | 0.00 | 0.00 |
| | vento | 0.00 | 0.00 |

| | | |
|-------------|------|------|
| ritiro, ... | 0.00 | 0.00 |
|-------------|------|------|

TABELLA 6.2.I - Coefficienti parziali relativi alle azioni (SLU) - Terreno (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali | |
|------------------------|----|-----------------|------|
| | | γ_f | |
| | | A1 | A2 |
| Permanente sfavorevole | G- | 1.40 | 1.00 |
| Permanente favorevole | G+ | 1.00 | 1.00 |
| Variabile sfavorevole | Q- | 1.50 | 1.30 |
| Variabile favorevole | Q+ | 0.00 | 0.00 |

TABELLA 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri del terreno (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali | |
|-----------------------------|----------------|-----------------|------|
| | | γ_m | |
| | | M1 | M2 |
| Tan. angolo attrito interno | $\tan \phi'_k$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | c'_k | 1.00 | 1.25 |
| Coesione non drenata | c_{uk} | 1.00 | 1.40 |
| Peso unità di volume | γ | 1.00 | 1.00 |

TABELLA 6.4.I - Coefficienti parziali per fondazioni superficiali (Testo unico)

| Parametro | Coeff. parziali γ_r | | |
|-------------------|----------------------------|------|------|
| | R1 | R2 | R3 |
| Capacità portante | 1.00 | 1.80 | 2.30 |
| Scorrimento | 1.00 | 1.10 | 1.10 |

AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO E DALLA PILA IN CONDIZIONI DI SISMA

Per tutte le azioni sismiche si fa riferimento ai risultati di un' analisi dinamica modale svolta sulla base dello spettro di risposta relativo allo stato limite di danno; le azioni sono relative a quota spiccato pila, nella proiezione verticale del baricentro della pila.

Sisma longitudinale E_x

$$H_{s,l} = 160.80 \quad t$$

$$M_{s,l} = 1532.00 \quad t^*m$$

Sisma trasversale E_y

$$H_{s,t} = 174.80 \quad t$$

$$M_{s,t} = 1688.70 \quad t^*m$$

Sisma verticale E_z

Gli effetti della componente verticale dell'azione sismica sulle pile possono essere omessi nelle zone di sismicità bassa e moderata. In zone di alta sismicità questi effetti devono essere analizzati solo in casi eccezionali in cui le pile sono soggette ad elevate flessioni generate dalle azioni permanenti sull'impalcato.

$$\Delta N_s = 154.10 \quad t$$

Combinazioni delle componenti E_x , E_y , E_z dell'azione sismica

Riassumendo le azioni relative alle tre componenti dell'azione sismica, si ha:

| | N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|-------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| E_x | 0.00 | 160.80 | 0.00 | 1532.00 | 0.00 |
| E_y | 0.00 | 0.00 | 174.80 | 0.00 | 1688.70 |
| E_z | 154.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Come da NTC 17/01/2018, le componenti elementari E_x , E_y , E_z dell'azione sismica devono essere combinate tra loro secondo la relazione:

$$E = \pm E_x \pm 0.30 E_y \pm 0.30 E_z$$

con rotazione degli indici x, y, z.

Nel caso in esame si considera 1 azione sismica longitudinale (E_{x+}), 1 azione sismica trasversale

(E_y) e 2 azioni sismiche verticali (E_z). Si hanno dunque 6 diverse combinazioni:

Sisma longitudinale dominante con accelerazione verticale positiva

| N (t) | H_i (t) | H_t (t) | M_i (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 46.23 | 160.80 | 52.44 | 1532.00 | 506.61 |

Sisma longitudinale dominante con accelerazione verticale negativa

| N (t) | H_i (t) | H_t (t) | M_i (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| -46.23 | 160.80 | 52.44 | 1532.00 | 506.61 |

Sisma trasversale dominante con accelerazione verticale positiva

| N (t) | H_i (t) | H_t (t) | M_i (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 46.23 | 48.24 | 174.80 | 459.60 | 1688.70 |

Sisma trasversale dominante con accelerazione verticale negativa

| N (t) | H_i (t) | H_t (t) | M_i (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| -46.23 | 48.24 | 174.80 | 459.60 | 1688.70 |

Sisma verticale dominante con accelerazione positiva

| N (t) | H_i (t) | H_t (t) | M_i (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 154.10 | 48.24 | 52.44 | 459.60 | 506.61 |

Sisma verticale dominante con accelerazione negativa

| N (t) | H_i (t) | H_t (t) | M_i (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| -154.10 | 48.24 | 52.44 | 459.60 | 506.61 |

5.2.3 Sintesi azioni

Azioni impalcato allo spiccato pila

Per il trasporto si osserva che nel piano x,y il baricentro del pulvino (quota estradosso pulvino), rispetto a cui sono calcolate le azioni trasmesse dall'impalcato, coincide con il baricentro della pila (quota estradosso zattera), rispetto a cui sono calcolate le azioni dovute al peso proprio: è dunque necessario introdurre la sola eccentricità verticale e_v dei carichi orizzontali trasmessi dall'impalcato, pari all'altezza pulvino+altezza fusto pila.

$$M_l = M_{l,imp} + H_l * e_v \qquad e_v = -7.00 \text{ m} \qquad M_t = M_{t,imp} - H_t * e_v$$

(momenti positivi se
antiorari)

| Esercizio | Carico | | N | H _l | H _t | M _l | M _t |
|-----------|--|-------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | t | t | t | t*m | t*m |
| | Permanenti | g1+g2 | 704.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Carichi mobili max N | q1+q2 | 269.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 364.0 |
| | Carichi mobili max M _t | q1+q2 | 217.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 500.0 |
| | Frenamento | q3 | 0.0 | 45.0 | 0.0 | -314.7 | 0.0 |
| | Vento impalcato scarico | q5 | 0.0 | 0.0 | 40.5 | 0.0 | 374.6 |
| | Vento imp. carico max N, M _t | q5 | 0.0 | 0.0 | 40.5 | 0.0 | 374.6 |
| | Resistenze parassite vincoli | q7 | 0.0 | 33.9 | 0.0 | -237.6 | 0.0 |

Combinazioni di carico impalcato allo spiccato pila

| Sisma | N | H _l | H _t | M _l | M _t |
|--|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | t | t | t | t*m | t*m |
| E _x (+) dominante con E _z (+) | 46.2 | 160.8 | 52.4 | 1 532.0 | 506.6 |
| E _x (+) dominante con E _z (-) | -46.2 | 160.8 | 52.4 | 1 532.0 | 506.6 |
| E _y (+) dominante con E _z (+) | 46.2 | 48.2 | 174.8 | 459.6 | 1 688.7 |
| E _y (+) dominante con E _z (-) | -46.2 | 48.2 | 174.8 | 459.6 | 1 688.7 |
| E _z (+) dominante | 154.1 | 48.2 | 52.4 | 459.6 | 506.6 |



| | | | | | |
|------------------------------|--------|------|------|-------|-------|
| E _z (-) dominante | -154.1 | 48.2 | 52.4 | 459.6 | 506.6 |
|------------------------------|--------|------|------|-------|-------|

| | Comb | N | H _l | H _t | M _l | M _t |
|-----------|------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | t | t | t | t*m | t*m |
| Esercizio | 1 | 1 562.5 | 24.4 | 37.8 | -171.0 | 832.7 |
| | 2 | 1 492.3 | 24.4 | 37.8 | -171.0 | 1 016.3 |
| | 3 | 1 251.5 | 24.4 | 37.5 | -171.0 | 831.9 |
| | 4 | 1 181.3 | 24.4 | 37.5 | -171.0 | 1 015.5 |
| | 5 | 1 197.7 | 20.4 | 32.5 | -142.5 | 713.6 |
| | 6 | 1 137.9 | 20.4 | 32.5 | -142.5 | 870.0 |
| | 7 | 1 197.7 | 20.4 | 32.5 | -142.5 | 713.6 |
| | 8 | 1 137.9 | 20.4 | 32.5 | -142.5 | 870.0 |
| | 9 | 1 471.7 | 85.1 | 37.5 | -595.9 | 709.0 |
| | 10 | 1 419.0 | 85.1 | 37.5 | -595.9 | 846.7 |
| | 11 | 1 160.8 | 85.1 | 37.5 | -595.9 | 709.0 |
| | 12 | 1 108.1 | 85.1 | 37.5 | -595.9 | 846.7 |
| | 13 | 1 120.4 | 59.1 | 32.5 | -413.9 | 608.9 |
| | 14 | 1 075.6 | 20.4 | 32.5 | -142.5 | 726.2 |
| | 15 | 1 120.4 | 72.1 | 32.5 | -504.4 | 608.9 |
| | 16 | 1 075.6 | 72.1 | 32.5 | -504.4 | 726.2 |
| | 17 | 1 199.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 18 | 888.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 19 | 888.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 20 | 888.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Sisma | 21 | 996.6 | 160.8 | 52.4 | 1 532.0 | 506.6 |
| | 22 | 750.2 | 160.8 | 52.4 | 1 532.0 | 506.6 |
| | 23 | 904.2 | 160.8 | 52.4 | 1 532.0 | 506.6 |
| | 24 | 657.8 | 160.8 | 52.4 | 1 532.0 | 506.6 |
| | 25 | 996.6 | 48.2 | 174.8 | 459.6 | 1 688.7 |
| | 26 | 750.2 | 48.2 | 174.8 | 459.6 | 1 688.7 |
| | 27 | 904.2 | 48.2 | 174.8 | 459.6 | 1 688.7 |
| | 28 | 657.8 | 48.2 | 174.8 | 459.6 | 1 688.7 |
| | 29 | 1 104.5 | 48.2 | 52.4 | 459.6 | 506.6 |
| | 30 | 858.1 | 48.2 | 52.4 | 459.6 | 506.6 |
| | 31 | 796.3 | 48.2 | 52.4 | 459.6 | 506.6 |
| | 32 | 549.9 | 48.2 | 52.4 | 459.6 | 506.6 |
| | 33 | 750.2 | 160.8 | 52.4 | 1 532.0 | 506.6 |

| | | | | | | |
|--|----|-------|-------|-------|---------|---------|
| | 34 | 750.2 | 160.8 | 52.4 | 1 532.0 | 506.6 |
| | 35 | 657.8 | 160.8 | 52.4 | 1 532.0 | 506.6 |
| | 36 | 657.8 | 160.8 | 52.4 | 1 532.0 | 506.6 |
| | 37 | 750.2 | 48.2 | 174.8 | 459.6 | 1 688.7 |
| | 38 | 750.2 | 48.2 | 174.8 | 459.6 | 1 688.7 |
| | 39 | 657.8 | 48.2 | 174.8 | 459.6 | 1 688.7 |
| | 40 | 657.8 | 48.2 | 174.8 | 459.6 | 1 688.7 |
| | 41 | 858.1 | 48.2 | 52.4 | 459.6 | 506.6 |
| | 42 | 549.9 | 48.2 | 52.4 | 459.6 | 506.6 |
| | 43 | 549.9 | 48.2 | 52.4 | 459.6 | 506.6 |
| | 44 | 549.9 | 48.2 | 52.4 | 459.6 | 506.6 |

5.2.4 Verifica di resistenza della pila

Le azioni per la verifica della pila (sezione di spiccato) sono le più gravose in termini di pressoflessione e taglio; in particolare la verifica a pressoflessione risulta soddisfatta, per la condizione più gravosa, con Ø20/20. La verifica è consegnata alle figure seguenti.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: pila2

(Percorso File: \\oceano\C37\LAVORO\Michela\pila2.sez)

Descrizione Sezione:
Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione: Sezione generica
Normativa di riferimento: N.T.C.
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C32/40
Resis. compr. di calcolo fcd : 181.33 daN/cm²
Resis. compr. ridotta fcd': 90.67 daN/cm²
Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
Def.unit. ultima ecu : 0.0035
Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec : 333458 daN/cm²
Coeff. di Poisson : 0.20
Resis. media a trazione fctm: 30.24 daN/cm²

ACCIAIO - Tipo: B450C
Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm²
Resist. caratt. rottura ftk: 5400.0 daN/cm²
Resist. snerv. di calcolo fyd: 3913.0 daN/cm²
Resist. ultima di calcolo ftd: 4500.0 daN/cm²
Deform. ultima di calcolo Epu: 0.068
Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO

DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C32/40

| N.vertice | Ascissa X, cm | Ordinata Y, cm |
|-----------|---------------|----------------|
| 1 | -300.00 | 150.00 |
| 2 | 300.00 | 150.00 |
| 3 | 300.00 | -150.00 |
| 4 | -300.00 | -150.00 |

DOMINIO N° 2

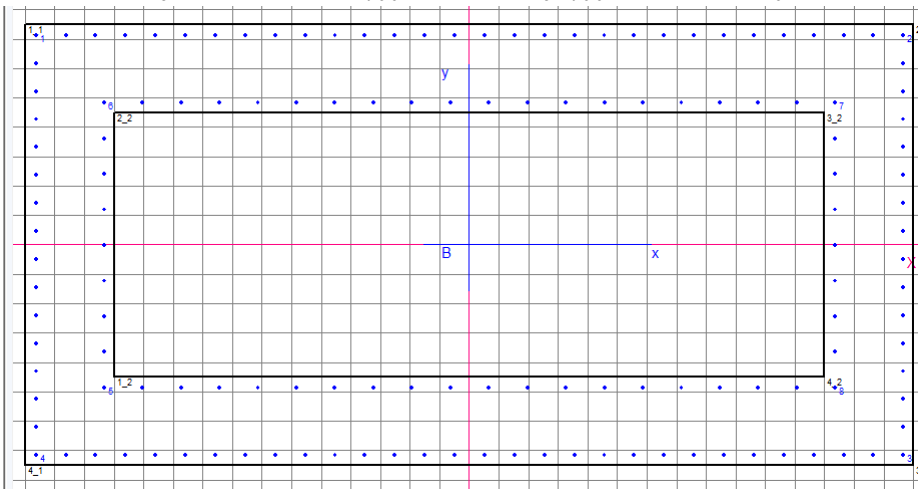
Forma del Dominio: Poligonale vuoto
Classe Conglomerato: C20/25

| N.vertice | Ascissa X, cm | Ordinata Y, cm |
|-----------|---------------|----------------|
| 1 | -240.00 | -90.00 |
| 2 | -240.00 | 90.00 |
| 3 | 240.00 | 90.00 |
| 4 | 240.00 | -90.00 |

DATI BARRE ISOLATE

N.Barra Numero assegnato alle singole barre isolate e nei vertici dei domini
Ascissa X Ascissa in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O
Ordinata Y Ordinata in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O
Diam. Diametro in mm della barra

| N.Barra | Ascissa X, cm | Ordinata Y, cm | Diam.Ø, mm |
|---------|---------------|----------------|------------|
| 1 | -293.00 | 143.00 | 20 |
| 2 | 293.00 | 143.00 | 20 |
| 3 | 293.00 | -143.00 | 20 |
| 4 | -293.00 | -143.00 | 20 |
| 5 | -247.00 | -97.00 | 20 |
| 6 | -247.00 | 97.00 | 20 |
| 7 | 247.00 | 97.00 | 20 |
| 8 | 247.00 | -97.00 | 20 |



DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N.Barra In. Numero della barra iniziale cui si riferisce la gener.
N.Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la gener.
N.Barre Numero di barre generate equidist. inserite tra la barra iniz. e fin.
Diam. Diametro in mm della singola barra generata

| N.Gen. | N.Barra In. | N.Barra Fin. | N.Barre | Diam.Ø, mm |
|--------|-------------|--------------|---------|------------|
| 1 | 4 | 3 | 28 | 20 |
| 2 | 4 | 1 | 14 | 20 |
| 3 | 3 | 2 | 14 | 20 |
| 4 | 1 | 2 | 28 | 20 |
| 5 | 5 | 8 | 18 | 20 |
| 6 | 8 | 7 | 7 | 20 |
| 7 | 6 | 7 | 18 | 20 |
| 8 | 5 | 6 | 7 | 20 |

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

| N.Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|--------|---------|--------|----|----|
| 1 | 750200 | 1687000 | 459600 | 10 | 0 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 17.1 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.6 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

| N.Comb. | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. |
|---------|-----|--------|---------|--------|--------|---------|--------|----------|
| 1 | S | 750200 | 1687000 | 459600 | 750196 | 3648393 | 975558 | 2.160 |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N.Comb. | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | ef min | Xf min | Yf min | ef max | Xf max | Yf max |
|---------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.01206 | 300.0 | 150.0 | 0.00267 | 293.0 | 143.0 | -0.03197 | -293.0 | -143.0 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
b Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
c Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N.Comb. | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|---------|-------------|-------------|--------------|-----|--------|
| 1 | 0.000002931 | 0.000115123 | -0.014647689 | | |

La verifica a taglio, essendo il taglio di calcolo pari a 1750 kN, è soddisfatta disponendo il quantitativo di staffe mostrato in tabella.

| | | | |
|---|----------|--------------------|---------|
| Base equivalente al rettangolo | b_w | [mm] | 6000 |
| Altezza utile equivalente al rettangolo | d | [mm] | 2900 |
| Area | | [mm ²] | 3360000 |
| Classe del calcestruzzo | R_{ck} | [MPa] | 40 |

| | | | |
|--|---------------|--------------------|-------|
| Resistenza a compressione ridotta | f'_{cd} | [MPa] | 18.1 |
| Resistenza a trazione di progetto | f_{yd} | [MPa] | 391 |
| Inclinazione puntone | ϑ | [deg] | 45 |
| Inclinazione staffe | α | [deg] | 90 |
| Forza assiale di progetto | N_{ed} | [kN] | 5490 |
| Tensione media di compressione | σ_{cp} | [MPa] | 3.1 |
| Coefficiente maggiorativo per membrature compresse | α_c | | 1.17 |
| Resistenza di calcolo a "compressione" | V_{Rcd} | [kN] | 83244 |
| Diametro barre staffe | \emptyset | [mm] | 14 |
| Numero bracci | n | | 2 |
| Area staffa | A_{sw} | [mm ²] | 307.9 |
| Passo | s | [mm] | 150 |
| Resistenza di calcolo a "taglio trazione" | V_{Rsd} | [kN] | 2096 |
| Resistenza a taglio | V_{RD} | [kN] | 2096 |

5.2.5 Verifica a fessurazione della pila

Nelle condizioni di SLE combinazione frequente e quasi permanente, individuate come di seguito:

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

| Azioni | Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV) | Coefficiente ψ_0 di combinazione | Coefficiente ψ_1 (valori frequenti) | Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti) |
|-------------------------------------|--|---------------------------------------|--|---|
| Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV) | Schema 1 (Carichi tandem) | 0,75 | 0,75 | 0,0 |
| | Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schemi 3 e 4 (carichi concentrati) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schema 2 | 0,0 | 0,75 | 0,0 |
| | 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Vento q_3 | 4 (folla) | ---- | 0,75 | 0,0 |
| | 5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Vento a ponte scarico SLU e SLE Esecuzione | 0,6 0,8 | 0,2 ---- | 0,0 0,0 |
| Neve q_3 | Vento a ponte carico | 0,6 | | |
| | SLU e SLE esecuzione | 0,0 0,8 | 0,0 0,6 | 0,0 0,5 |
| Temperatura | T_k | 0,6 | 0,6 | 0,5 |

si ha che la tensione massima nelle barre di armatura per ogni condizione è inferiore a 160 MPa; con ciò la verifica a fessurazione è implicitamente soddisfatta.

5.3 PROGETTO E VERIFICA FONDAZIONE

5.3.1 Ripartizione forze nei pali

Numero totale dei pali $N_p = 6$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

| X | Y | Z |
|------|------|------|
| 6.00 | 9.60 | 1.80 |

Area fondazione 57.60 m²

Baric. zattera di fondazione - origine sistema di riferimento (m)

| X | Y |
|------|------|
| 0.00 | 0.00 |

Baricentro palificata

| X _G | Y _G |
|----------------|----------------|
| 0.00 | 0.00 |

Si assimila la fondazione a un corpo rigido sollecitato da sforzi puntuali, ovvero i pali. In tal caso gli sforzi sui pali sono unicamente funzione della distanza dal baricentro della palificata.

Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata (m²)

| J _I | J _t |
|----------------|----------------|
| 19.44 | 46.24 |

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X_g,Y_g):

| Pali | X (m) | Y (m) | X _{Gi} (m) | Y _{Gi} (m) | W _I (m) | W _t (m) |
|------|-------|-------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 1.80 | 3.40 | 1.80 | 3.40 | 10.80 | 13.60 |
| 2 | 1.80 | 0.00 | 1.80 | 0.00 | 10.80 | -- |
| 3 | 1.80 | -3.40 | 1.80 | -3.40 | 10.80 | -13.60 |
| 4 | -1.80 | 3.40 | -1.80 | 3.40 | -10.80 | 13.60 |
| 5 | -1.80 | 0.00 | -1.80 | 0.00 | -10.80 | -- |
| 6 | -1.80 | -3.40 | -1.80 | -3.40 | -10.80 | -13.60 |

Riferendo le azioni esterne al baricentro della palificata, quota intradosso zattera, si ha:

$$M_i = M_{i,filo_platea} - (N * e_{i,pali})$$

$$e_{i,pali} = 0.00 \text{ m}$$

| | | Azioni totali rispetto baricentro palificata | | | | | |
|-----------|-------|--|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----|
| | COMB. | N (t) | H _i (t) | H _t (t) | M _i (t*m) | M _t (t*m) | |
| Esercizio | 1 | 1 912.39 | 24.43 | 37.79 | -215.02 | 900.75 | A1 |
| | 2 | 1 842.19 | 24.43 | 37.79 | -215.02 | 1 084.35 | A1 |
| | 3 | 1 510.74 | 24.43 | 37.52 | -215.02 | 899.43 | A1 |
| | 4 | 1 440.54 | 24.43 | 37.52 | -215.02 | 1 083.03 | A1 |
| | 5 | 1 456.94 | 20.36 | 32.48 | -179.18 | 772.05 | A2 |
| | 6 | 1 397.14 | 20.36 | 32.48 | -179.18 | 928.45 | A2 |
| | 7 | 1 456.94 | 20.36 | 32.48 | -179.18 | 772.05 | A2 |
| | 8 | 1 397.14 | 20.36 | 32.48 | -179.18 | 928.45 | A2 |
| | 9 | 1 821.61 | 85.12 | 37.52 | -749.07 | 776.58 | A1 |
| | 10 | 1 768.96 | 85.12 | 37.52 | -749.07 | 914.28 | A1 |
| | 11 | 1 419.95 | 85.12 | 37.52 | -749.07 | 776.58 | A1 |
| | 12 | 1 367.30 | 85.12 | 37.52 | -749.07 | 914.28 | A1 |
| | 13 | 1 379.60 | 59.13 | 32.48 | -520.38 | 667.40 | A2 |
| | 14 | 1 334.75 | 20.36 | 32.48 | -179.18 | 784.70 | A2 |
| | 15 | 1 379.60 | 72.06 | 32.48 | -634.12 | 667.40 | A2 |
| | 16 | 1 334.75 | 72.06 | 32.48 | -634.12 | 784.70 | A2 |
| | 17 | 1 549.24 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A1 |
| | 18 | 1 147.59 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A1 |
| | 19 | 1 147.59 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A2 |
| | 20 | 1 147.59 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A2 |
| Sisma | 21 | 1 346.55 | 160.80 | 52.44 | 0.00 | 506.61 | A1 |
| | 22 | 1 100.15 | 160.80 | 52.44 | 1 532.00 | 506.61 | A1 |
| | 23 | 1 254.09 | 160.80 | 52.44 | 1 532.00 | 506.61 | A1 |
| | 24 | 1 007.69 | 160.80 | 52.44 | 1 532.00 | 506.61 | A1 |
| | 25 | 1 346.55 | 48.24 | 174.80 | 1 532.00 | 1 688.70 | A1 |
| | 26 | 1 100.15 | 48.24 | 174.80 | 459.60 | 1 688.70 | A1 |
| | 27 | 1 254.09 | 48.24 | 174.80 | 459.60 | 1 688.70 | A1 |
| | 28 | 1 007.69 | 48.24 | 174.80 | 459.60 | 1 688.70 | A1 |
| | 29 | 1 454.42 | 48.24 | 52.44 | 459.60 | 506.61 | A1 |
| | 30 | 1 208.02 | 48.24 | 52.44 | 459.60 | 506.61 | A1 |
| | 31 | 1 146.22 | 48.24 | 52.44 | 459.60 | 506.61 | A1 |
| | 32 | 899.82 | 48.24 | 52.44 | 459.60 | 506.61 | A1 |
| | 33 | 1 100.15 | 160.80 | 52.44 | 459.60 | 506.61 | A2 |
| | 34 | 1 100.15 | 160.80 | 52.44 | 1 532.00 | 506.61 | A2 |
| | 35 | 1 007.69 | 160.80 | 52.44 | 1 532.00 | 506.61 | A2 |
| | 36 | 1 007.69 | 160.80 | 52.44 | 1 532.00 | 506.61 | A2 |
| | 37 | 1 100.15 | 48.24 | 174.80 | 1 532.00 | 1 688.70 | A2 |
| | 38 | 1 100.15 | 48.24 | 174.80 | 459.60 | 1 688.70 | A2 |
| | 39 | 1 007.69 | 48.24 | 174.80 | 459.60 | 1 688.70 | A2 |
| | 40 | 1 007.69 | 48.24 | 174.80 | 459.60 | 1 688.70 | A2 |

| | | | | | | |
|----|----------|-------|-------|--------|--------|----|
| 41 | 1 208.02 | 48.24 | 52.44 | 459.60 | 506.61 | A2 |
| 42 | 899.82 | 48.24 | 52.44 | 459.60 | 506.61 | A2 |
| 43 | 899.82 | 48.24 | 52.44 | 459.60 | 506.61 | A2 |
| 44 | 899.82 | 48.24 | 52.44 | 459.60 | 506.61 | A2 |

Al fine di ottenere gli sforzi assiali in testa ai pali si adatterà per le combinazioni di carico di esercizio la relazione:

$$N_{\text{palo}} = N/n^{\circ} \text{ pali} + M_l/W_l + M_t/W_t$$

| | | | |
|---|-------|-------|---|
| | A1+M1 | A2+M2 | |
| Sollecitazione max sui pali di fondazione | | | |
| N_{max} | 490.4 | 449.4 | t |

| | | | |
|---|-------|-------|---|
| | A1+M1 | A2+M2 | |
| Sollecitazione min sui pali di fondazione | | | |
| N_{min} | -41.6 | -82.7 | t |

Il taglio massimo è dunque pari a

| | | | |
|------------------|-------|-------|---|
| | A1+M1 | A2+M2 | |
| T_{max} | 30.2 | 30.2 | t |

Le azioni massima agenti nei pali per le combinazioni di carico di interesse sono sintetizzate nelle tabelle seguenti.

| | A1+M1 | ESER |
|-------------|------------------|-------|
| SISM | | |
| 490.4 | N_{max} | 431.4 |
| -41.6 | N_{min} | 91.3 |
| 30.2 | T_{max} | 15.5 |

| | A2+M2 | ESER |
|-------------|------------------|-------|
| SISM | | |
| 449.4 | N_{max} | 338.9 |
| -82.7 | N_{min} | 106.0 |
| 30.2 | T_{max} | 13.2 |

5.3.2 Verifica di resistenza della zattera

La verifica del plinto è condotta considerando la mensola tozza che si produce tra la sezione di incastro della pila ed il palo. Con tale schematizzazione la forza di trazione nel corrente teso è, per la situazione più gravosa, determinata come di seguito:

- $\text{tg } \alpha = T/N = h/L = 1.23$ (tangente dell'angolo di inclinazione della biella di calcestruzzo);
- $h = 1.75$ m (altezza mensola tozza);
- $L = 1.4$ m (distanza sezione incastro da baricentro palo);
- $N = 4500$ kN (forza normale massima nel palo);
- $T = N \text{ tg } \alpha = 5535$ kN

A tale forza corrisponde un'armatura minima (da diffondere lungo il lato corto) pari a 35 cm²/m.

5.3.3 Verifica a fessurazione della zattera

La verifica a fessurazione è implicitamente soddisfatta poiché in SLE le tensioni massime di trazione nelle armature sono inferiori a 160 MPa.

6 PROGETTO E VERIFICA PILA SU GIUNTO (impalcato B= 15.25 m) e FONDAZIONE

6.1 ANALISI DEI CARICHI

Si verifica la pila più sollecitata tra quelle che non sono poste in corrispondenza del giunto.

6.1.1 Azioni statiche trasmesse dall'impalcato

Le risultanti sul piano appoggi dei carichi trasmessi dall'impalcato sono dunque le seguenti:

| | N (t) | H_i (t) | H_t (t) | M_t (t*m) |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Peso impalcato | 622.5 | 0 | 0 | 0 |
| Ritiro | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gradiente termico | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Accidentali max N | 380.5 | 0 | 0 | 364.0 |
| Accidentali max M _t | 280.0 | 0 | 0 | 500.0 |
| Vento impalcato scarico | 0 | 0 | 41.0 | 91.0 |
| Vento impalcato carico | 0 | 0 | 41.0 | 91.0 |

6.1.2 Azioni dinamiche

Le azioni sismiche allo spiccato della pila sono invece le seguenti:

Sisma longitudinale

| | | |
|--------------------------------------|---------|---|
| Taglio longitudinale H _i | 268.00 | t |
| Momento longitudinale M _i | 2840.00 | t |

Sisma trasversale

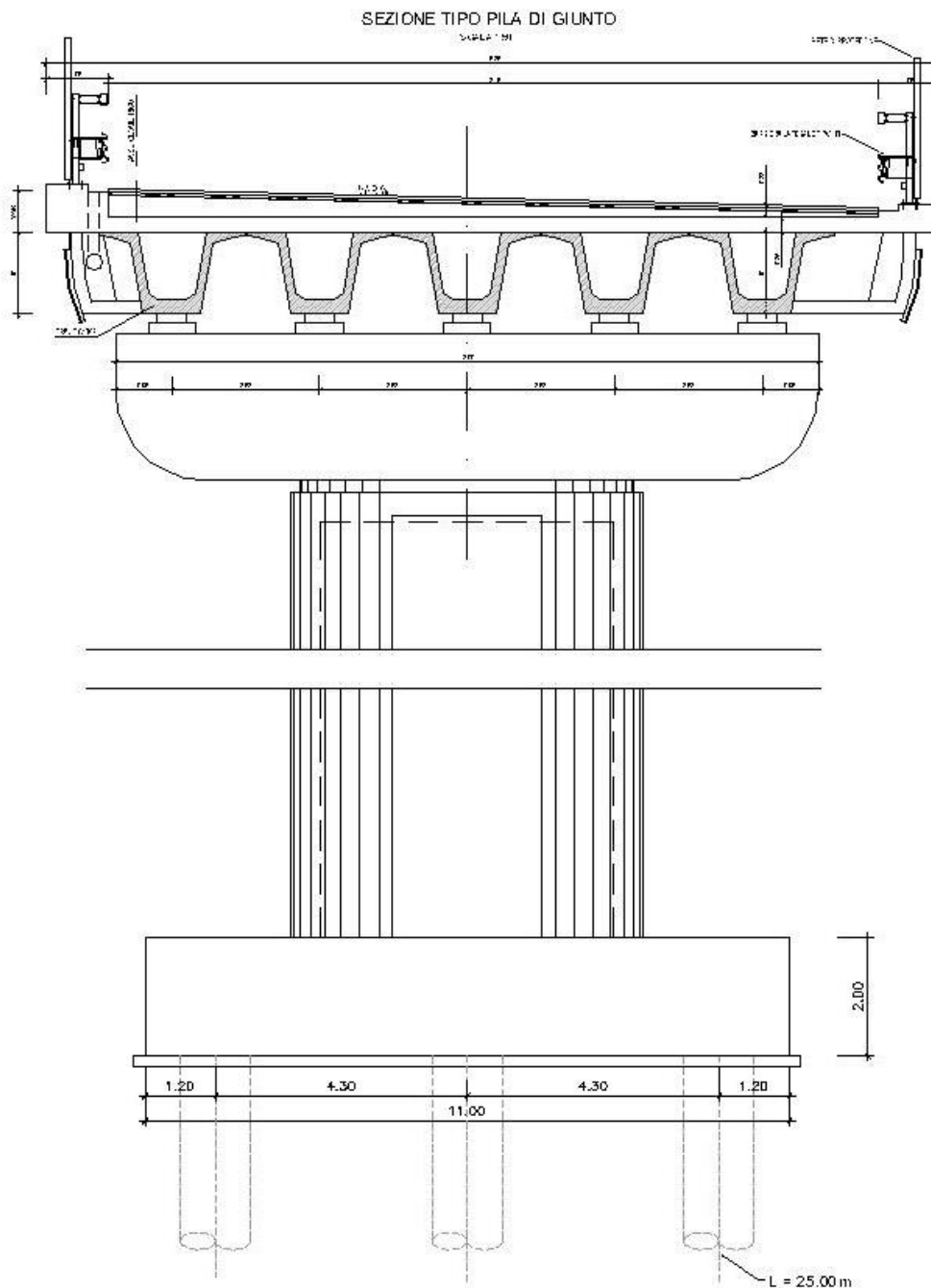
| | | |
|------------------------------------|---------|---|
| Taglio trasversale H _t | 224.00 | t |
| Momento trasversale M _t | 2804.00 | t |

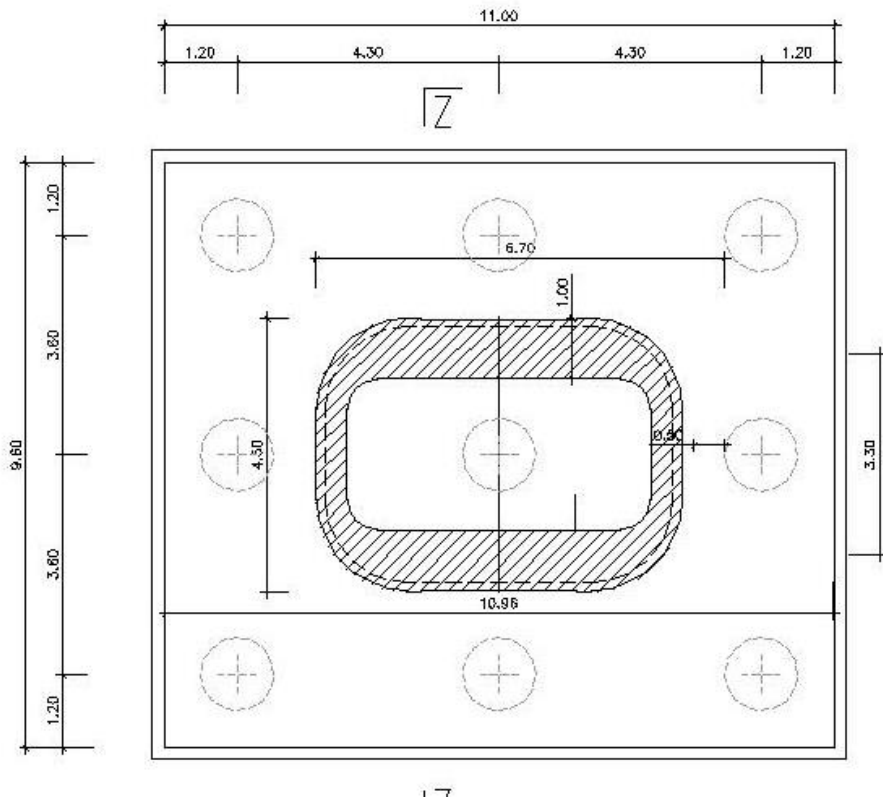
Sisma verticale

| | | |
|--------------------|-------|---|
| Forza verticale ΔN | 70.00 | t |
|--------------------|-------|---|

6.2 PROGETTO E VERIFICA PILA

6.2.1 Geometria





ZATTERA

| | | |
|--|------|---|
| Altezza $h_{zattera}$ | 1.80 | m |
| Dimensione longitudinale L_{long} | 9.6 | m |
| Dimensione trasversale L_{trasv} | 11.0 | m |
| Profondità intradosso zattera dal p.c. | 1.80 | m |

PILA

Si assume che il fusto pila e il pulvino siano simmetrici sia longitudinalmente che trasversalmente e che la sezione trasversale del fusto pila sia costante con l'altezza.

Altezze

| | | |
|-----------------------|------|---|
| Baggioli h_{bagg} | 0.20 | m |
| Pulvino $h_{pulvino}$ | 2.50 | m |
| Fusto pila h_{pila} | 4.50 | m |

Sezioni in pianta

| | | |
|------------------------------------|-------|----------------|
| Baggiolo A_{bagg} | 0.64 | m ² |
| n° totale baggioli | 4 | |
| Valore medio pulvino $A_{m,pl}$ | 17.28 | m ² |
| Area fusto pila allo spiccato pila | 6.79 | m ² |

Prospetti longitudinali

| | | |
|--|------|---|
| Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$ | 1.80 | m |
| Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino | 1.20 | m |
| Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$ | 3.00 | m |
| Altezza fusto pila dal p.c. | 4.50 | m |
| Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c. | 2.25 | m |

GEOMETRIA PALIFICATA

Numero totale di pali della zattera 9

Coordinate pali rispetto al baricentro della zattera

| Pali | X (m) | Y (m) |
|------|-------|-------|
| 1 | 3.60 | 4.30 |
| 2 | 3.60 | 0.00 |
| 3 | 3.60 | -4.30 |
| 4 | 0.00 | 4.30 |
| 5 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 0.00 | -4.30 |
| 7 | -3.60 | 4.30 |
| 8 | -3.60 | 0.00 |
| 9 | -3.60 | -4.30 |

6.2.2 Combinazioni di carico

Stato limite ultimo

Coefficienti moltiplicativi che tengono conto della non contemporaneità delle varie azioni variabili trasmesse dall'impalcato alla spalla

TABELLA 5.1.VI- Coefficienti ψ per azioni variabili (SLU) - impalcato (Testo unico)

| | Coeff. ψ | | |
|--------------------------|---------------|----------|----------|
| | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
| Accidentali - frenamento | 0.75 | 0.75 | 0 |
| Vento ponte scarico | 0.6 | 0.2 | 0 |
| Vento ponte carico | 0.6 | -- | -- |
| Temperatura | 0.6 | 0.6 | 0.5 |

TABELLA 5.2.V - Coefficienti parziali relativi alle azioni (SLU) - Impalcato (Testo unico)

Parametro

Coeff. parziali

| | | γ_f | |
|--------------------------|-------------|------------|------|
| | | A1 | A2 |
| Permanente sfavorevole | G- | 1.35 | 1.00 |
| Permanente favorevole | G+ | 1.00 | 1.00 |
| Variabile sfavorevole Q- | accidentali | 1.35 | 1.15 |
| | vento | 1.50 | 1.30 |
| | ritiro, ... | 1.20 | 1.00 |
| Variabile favorevole Q+ | accidentali | 0.00 | 0.00 |
| | vento | 0.00 | 0.00 |
| | ritiro, ... | 0.00 | 0.00 |

TABELLA 6.2.I - Coefficienti parziali relativi alle azioni (SLU) - Terreno (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali | |
|------------------------|----|-----------------|------|
| | | γ_f | |
| | | A1 | A2 |
| Permanente sfavorevole | G- | 1.40 | 1.00 |
| Permanente favorevole | G+ | 1.00 | 1.00 |
| Variabile sfavorevole | Q- | 1.50 | 1.30 |
| Variabile favorevole | Q+ | 0.00 | 0.00 |

TABELLA 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri del terreno (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali | |
|-----------------------------|----------------|-----------------|------|
| | | γ_m | |
| | | M1 | M2 |
| Tan. angolo attrito interno | $\tan \phi'_k$ | 1.00 | 1.25 |
| Coazione efficace | c'_k | 1.00 | 1.25 |
| Coazione non drenata | c_{uk} | 1.00 | 1.40 |
| Peso unità di volume | γ | 1.00 | 1.00 |

TABELLA 6.4.I - Coefficienti parziali per fondazioni superficiali (Testo unico)

| Parametro | Coeff. parziali γ_r | | |
|-------------------|----------------------------|------|------|
| | R1 | R2 | R3 |
| Capacità portante | 1.00 | 1.80 | 2.30 |
| Scorrimento | 1.00 | 1.10 | 1.10 |

AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO E DALLA PILA IN CONDIZIONI DI SISMA

Per tutte le azioni sismiche si fa riferimento ai risultati di un' analisi dinamica modale svolta sulla base dello spettro di risposta relativo allo stato limite di danno; le azioni sono relative a quota spiccato pila, nella proiezione verticale del baricentro della pila.

Sisma longitudinale E_x

$$H_{s,l} = 268.00 \quad t$$

$$M_{s,l} = 2840.00 \quad t^*m$$

Sisma trasversale E_y

$$H_{s,t} = 224.00 \quad t$$

$$M_{s,t} = 2804.00 \quad t^*m$$

Sisma verticale E_z

Gli effetti della componente verticale dell'azione sismica sulle pile possono essere omessi nelle zone di sismicità bassa e moderata. In zone di alta sismicità questi effetti devono essere analizzati solo in casi eccezionali in cui le pile sono soggette ad elevate flessioni generate dalle azioni permanenti sull'impalcato.

$$\Delta N_s = 70.00 \quad t$$

Combinazioni delle componenti E_x , E_y , E_z dell'azione sismica

Riassumendo le azioni relative alle tre componenti dell'azione sismica, si ha:

| | N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|-------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| E_x | 0.00 | 268.00 | 0.00 | 2840.00 | 0.00 |
| E_y | 0.00 | 0.00 | 224.00 | 0.00 | 2804.00 |
| E_z | 70.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Come da NTC 17/01/2018, le componenti elementari E_x , E_y , E_z dell'azione sismica devono essere combinate tra loro secondo la relazione:

$$E = \pm E_x \pm 0.30 E_y \pm 0.30 E_z$$

con rotazione degli indici x, y, z.

Nel caso in esame si considera 1 azione sismica longitudinale (E_{x+}), 1 azione sismica trasversale

(E_y) e 2 azioni sismiche verticali (E_z). Si hanno dunque 6 diverse combinazioni:

Sisma longitudinale dominante con accelerazione verticale positiva

| N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 21.00 | 268.00 | 67.20 | 2840.00 | 841.20 |

Sisma longitudinale dominante con accelerazione verticale negativa

| N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| -21.00 | 268.00 | 67.20 | 2840.00 | 841.20 |

Sisma trasversale dominante con accelerazione verticale positiva

| N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 21.00 | 80.40 | 224.00 | 852.00 | 2804.00 |

Sisma trasversale dominante con accelerazione verticale negativa

| N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| -21.00 | 80.40 | 224.00 | 852.00 | 2804.00 |

Sisma verticale dominante con accelerazione positiva

| N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 70.00 | 80.40 | 67.20 | 852.00 | 841.20 |

Sisma verticale dominante con accelerazione negativa

| N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| -70.00 | 80.40 | 67.20 | 852.00 | 841.20 |

6.2.3 Sintesi azioni

Azioni impalcato allo spiccato pila

Per il trasporto si osserva che nel piano x,y il baricentro del pulvino (quota estradosso pulvino), rispetto a cui sono calcolate le azioni trasmesse dall'impalcato, coincide con il baricentro della pila (quota estradosso zattera), rispetto a cui sono calcolate le azioni dovute al peso proprio: è dunque necessario introdurre la sola eccentricità verticale e_v dei carichi orizzontali trasmessi dall'impalcato, pari all'altezza pulvino+altezza fusto pila.

$$e_v = -7.00 \text{ m}$$

$$M_l = M_{l,imp} + H_l * e_v \qquad M_t = M_{t,imp} - H_t * e_v$$

(momenti positivi se antiorari)

| Esercizio | Carico | | N | H _l | H _t | M _l | M _t |
|-----------|---|-------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | t | t | t | t*m | t*m |
| Esercizio | Permanenti | g1+g2 | 622.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Carichi mobili max N | q1+q2 | 380.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 364.0 |
| | Carichi mobili max M _t | q1+q2 | 280.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 500.0 |
| | Frenamento | q3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Vento impalcato scarico | q5 | 0.0 | 0.0 | 41.0 | 0.0 | 378.0 |
| | Vento imp. carico max N, M _t | q5 | 0.0 | 0.0 | 41.0 | 0.0 | 378.0 |
| | Resistenze parassite vincoli | q7 | 0.0 | 9.3 | 0.0 | -65.4 | 0.0 |

Combinazioni di carico impalcato allo spiccato pila

| Sisma | | N | H _l | H _t | M _l | M _t |
|-------|---|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | t | t | t | t*m | t*m |
| Sisma | E _x (+) dominante con E _z (+) | 21.0 | 268.0 | 67.2 | 2 840.0 | 841.2 |
| | E _x (+) dominante con E _z (-) | -21.0 | 268.0 | 67.2 | 2 840.0 | 841.2 |
| | E _y (+) dominante con E _z (+) | 21.0 | 80.4 | 224.0 | 852.0 | 2 804.0 |
| | E _y (+) dominante con E _z (-) | -21.0 | 80.4 | 224.0 | 852.0 | 2 804.0 |
| | E _z (+) dominante | 70.0 | 80.4 | 67.2 | 852.0 | 841.2 |
| | E _z (-) dominante | -70.0 | 80.4 | 67.2 | 852.0 | 841.2 |

TABELLA 7.2.2 - Coefficienti parziali relativi alle azioni (SLU)

| | | Coeff. parziali γ_f | |
|--------------------------|-------------|----------------------------|------|
| | | A1 | A2 |
| Permanente sfavorevole | G- | 1.35 | 1.00 |
| | G+ | 1.00 | 1.00 |
| Variabile sfavorevole Q- | accidentali | 1.35 | 1.15 |
| | vento | 1.50 | 1.30 |
| | ritiro, ... | 1.20 | 1.00 |
| Variabile favorevole Q+ | accidentali | 0.00 | 0.00 |
| | vento | 0.00 | 0.00 |
| | ritiro, ... | 0.00 | 0.00 |

| | Coeff. Ψ | | |
|--------------------------|---------------|----------|----------|
| | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
| Accidentali - frenamento | 0.75 | 0.75 | 0 |
| Vento ponte scarico | 0.6 | 0.2 | 0 |
| Vento ponte carico | 0.6 | -- | -- |
| Temperatura | 0.6 | 0.6 | 0.5 |

| | Comb | N | H _i | H _t | M _i | M _t |
|-----------|------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | t | t | t | t*m | t*m |
| Esercizio | 1 | 1 813.5 | 6.7 | 39.0 | -47.1 | 838.5 |
| | 2 | 1 677.8 | 6.7 | 39.0 | -47.1 | 1 022.1 |
| | 3 | 1 476.5 | 6.7 | 38.6 | -47.1 | 837.1 |
| | 4 | 1 340.8 | 6.7 | 38.6 | -47.1 | 1 020.7 |
| | 5 | 1 400.4 | 5.6 | 33.4 | -39.2 | 718.0 |
| | 6 | 1 284.8 | 5.6 | 33.4 | -39.2 | 874.4 |
| | 7 | 1 400.4 | 5.6 | 33.4 | -39.2 | 718.0 |
| | 8 | 1 284.8 | 5.6 | 33.4 | -39.2 | 874.4 |
| | 9 | 1 685.1 | 6.7 | 38.6 | -47.1 | 714.3 |
| | 10 | 1 583.3 | 6.7 | 38.6 | -47.1 | 852.0 |
| | 11 | 1 348.1 | 6.7 | 38.6 | -47.1 | 714.3 |
| | 12 | 1 246.3 | 6.7 | 38.6 | -47.1 | 852.0 |
| | 13 | 1 291.0 | 5.6 | 33.4 | -39.2 | 613.4 |
| | 14 | 1 204.3 | 5.6 | 33.4 | -39.2 | 730.7 |
| | 15 | 1 291.0 | 5.6 | 33.4 | -39.2 | 613.4 |
| | 16 | 1 204.3 | 5.6 | 33.4 | -39.2 | 730.7 |
| | 17 | 1 299.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 18 | 962.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 19 | 962.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| | 20 | 962.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Sisma | 21 | 861.4 | 268.0 | 67.2 | 2 840.0 | 841.2 |
| | 22 | 643.5 | 268.0 | 67.2 | 2 840.0 | 841.2 |
| | 23 | 819.4 | 268.0 | 67.2 | 2 840.0 | 841.2 |
| | 24 | 601.5 | 268.0 | 67.2 | 2 840.0 | 841.2 |
| | 25 | 861.4 | 80.4 | 224.0 | 852.0 | 2 804.0 |
| | 26 | 643.5 | 80.4 | 224.0 | 852.0 | 2 804.0 |
| | 27 | 819.4 | 80.4 | 224.0 | 852.0 | 2 804.0 |
| | 28 | 601.5 | 80.4 | 224.0 | 852.0 | 2 804.0 |
| | 29 | 910.4 | 80.4 | 67.2 | 852.0 | 841.2 |
| | 30 | 692.5 | 80.4 | 67.2 | 852.0 | 841.2 |
| | 31 | 770.4 | 80.4 | 67.2 | 852.0 | 841.2 |
| | 32 | 552.5 | 80.4 | 67.2 | 852.0 | 841.2 |
| | 33 | 643.5 | 268.0 | 67.2 | 2 840.0 | 841.2 |
| | 34 | 643.5 | 268.0 | 67.2 | 2 840.0 | 841.2 |
| | 35 | 601.5 | 268.0 | 67.2 | 2 840.0 | 841.2 |
| | 36 | 601.5 | 268.0 | 67.2 | 2 840.0 | 841.2 |
| | 37 | 643.5 | 80.4 | 224.0 | 852.0 | 2 804.0 |
| | 38 | 643.5 | 80.4 | 224.0 | 852.0 | 2 804.0 |
| | 39 | 601.5 | 80.4 | 224.0 | 852.0 | 2 804.0 |
| | 40 | 601.5 | 80.4 | 224.0 | 852.0 | 2 804.0 |
| | 41 | 692.5 | 80.4 | 67.2 | 852.0 | 841.2 |
| | 42 | 552.5 | 80.4 | 67.2 | 852.0 | 841.2 |
| | 43 | 552.5 | 80.4 | 67.2 | 852.0 | 841.2 |
| 44 | 552.5 | 80.4 | 67.2 | 852.0 | 841.2 | |

6.2.4 Verifica di resistenza della pila

Le azioni per la verifica della pila (sezione di spiccato) sono le più gravose in termini di pressoflessione e taglio; in particolare la verifica a pressoflessione risulta soddisfatta, per la condizione più gravosa, con Ø24/20. La verifica è consegnata alle figure seguenti.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: pila3

(Percorso File: \\oceano\C37\LAVORO\Michela\pila3.sez)

Descrizione Sezione:
Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione: Sezione generica
Normativa di riferimento: N.T.C.
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inertzia
Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C32/40
Resis. compr. di calcolo fcd : 181.33 daN/cm²
Resis. compr. ridotta fcd' : 90.67 daN/cm²
Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
Def.unit. ultima ecu : 0.0035
Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec : 333458 daN/cm²
Coeff. di Poisson : 0.20
Resis. media a trazione fctm: 30.24 daN/cm²

ACCIAIO - Tipo: B450C
Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm²
Resist. caratt. rottura ftk: 5400.0 daN/cm²
Resist. snerv. di calcolo fyd: 3913.0 daN/cm²
Resist. ultima di calcolo ftd: 4500.0 daN/cm²
Deform. ultima di calcolo Epu: 0.068
Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO

DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C32/40

| N.vertice | Ascissa X, cm | Ordinata Y, cm |
|-----------|---------------|----------------|
| 1 | -300.00 | 225.00 |
| 2 | 300.00 | 225.00 |
| 3 | 300.00 | -225.00 |
| 4 | -300.00 | -225.00 |

DOMINIO N° 2

Forma del Dominio: Poligonale vuoto
Classe Conglomerato: C32/40

| N.vertice | Ascissa X, cm | Ordinata Y, cm |
|-----------|---------------|----------------|
| 1 | -200.00 | -125.00 |
| 2 | -200.00 | 125.00 |
| 3 | 200.00 | 125.00 |

4 200.00 -125.00

DATI BARRE ISOLATE

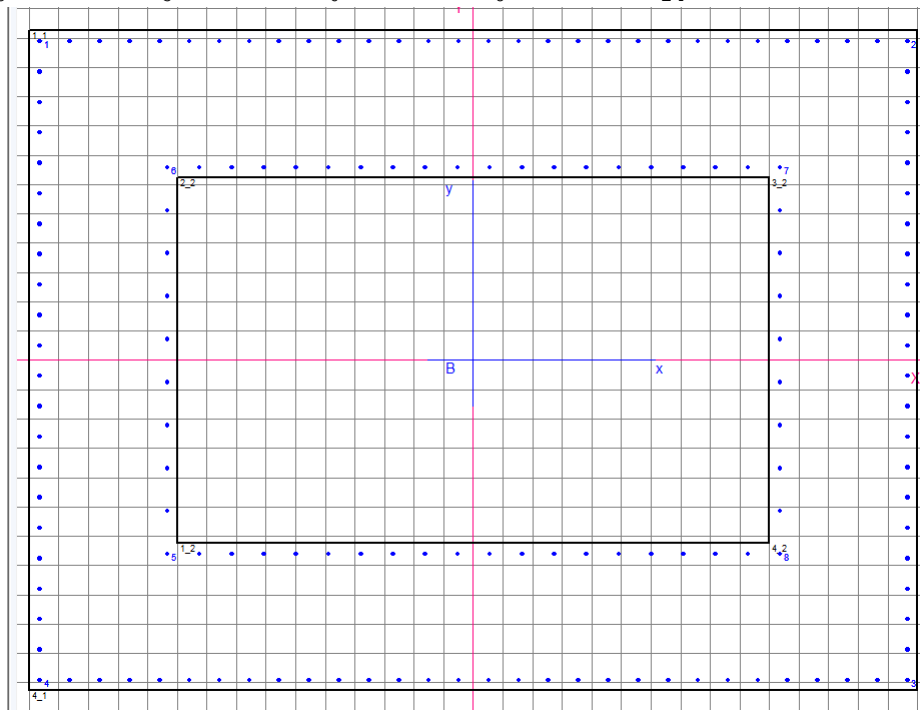
N.Barra Numero assegnato alle singole barre isolate e nei vertici dei domini
Ascissa X Ascissa in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O
Ordinata Y Ordinata in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O
Diam. Diametro in mm della barra

| N.Barra | Ascissa X, cm | Ordinata Y, cm | Diam.Ø,mm |
|---------|---------------|----------------|-----------|
| 1 | -293.00 | 218.00 | 24 |
| 2 | 293.00 | 218.00 | 24 |
| 3 | 293.00 | -218.00 | 24 |
| 4 | -293.00 | -218.00 | 24 |
| 5 | -207.00 | -132.00 | 24 |
| 6 | -207.00 | 132.00 | 24 |
| 7 | 207.00 | 132.00 | 24 |
| 8 | 207.00 | -132.00 | 24 |

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N.Barra In. Numero della barra iniziale cui si riferisce la gener.
N.Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la gener.
N.Barre Numero di barre generate equidist. inserite tra la barra iniz. e fin.
Diam. Diametro in mm della singola barra generata

| N.Gen. | N.Barra In. | N.Barra Fin. | N.Barre | Diam.Ø,mm |
|--------|-------------|--------------|---------|-----------|
| 1 | 4 | 3 | 28 | 24 |
| 2 | 4 | 1 | 20 | 24 |
| 3 | 3 | 2 | 20 | 24 |
| 4 | 1 | 2 | 28 | 24 |
| 5 | 5 | 8 | 18 | 24 |
| 6 | 8 | 7 | 8 | 24 |
| 7 | 6 | 7 | 18 | 24 |
| 8 | 5 | 6 | 8 | 24 |



ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|--|
| N | Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione) |
| Mx | Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. |
| My | Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. |
| Vy | Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y |
| Vx | Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x |

| N.Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|--------|--------|---------|----|----|
| 1 | 477000 | 900000 | 2445000 | 10 | 0 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 17.8 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.4 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

| | |
|----------|---|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione) |
| Mx | Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia |
| My | Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| N ult | Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.) |
| Mx ult | Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia |
| My ult | Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000 |

| N.Comb. | Ver | N | Mx | My | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. |
|---------|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|----------|
| 1 | S | 477000 | 900000 | 2445000 | 476974 | 3321981 | 9046812 | 3.699 |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

| | |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione |
| ec 3/7 | Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| ef min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione) |
| Xf min | Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Yf min | Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| ef max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.) |
| Xf max | Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Yf max | Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N.Comb. | ec max | ec 3/7 | Xc max | Yc max | ef min | Xf min | Yf min | ef max | Xf max | Yf max |
|---------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00710 | 300.0 | 225.0 | 0.00320 | 293.0 | 218.0 | -0.02094 | -293.0 | -218.0 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

| | |
|--------|--|
| a | Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. |
| b | Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. |
| c | Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. |
| x/d | Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi) |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue |

| N.Comb. | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|---------|-------------|-------------|--------------|-----|--------|
| 1 | 0.000034735 | 0.000008674 | -0.008872065 | | |

La verifica a taglio, essendo il taglio di calcolo pari a 2680 kN, è soddisfatta disponendo il quantitativo di staffe mostrato in tabella.

| | | | |
|--|---------------|--------------------|--------|
| Base equivalente al rettangolo | b_w | [mm] | 4500 |
| Altezza utile equivalente al rettangolo | d | [mm] | 6000 |
| Area | | [mm ²] | 17 |
| Classe del calcestruzzo | R_{ck} | [MPa] | 40 |
| Resistenza a compressione ridotta | f'_{cd} | [MPa] | 18.1 |
| Resistenza a trazione di progetto | f_{yd} | [MPa] | 391 |
| Inclinazione puntone | ϑ | [deg] | 45 |
| Inclinazione staffe | α | [deg] | 90 |
| Forza assiale di progetto | N_{ed} | [kN] | 1000 |
| Tensione media di compressione | σ_{cp} | [MPa] | 0.6 |
| Coefficiente maggiorativo per membrature compresse | α_c | | 1.03 |
| Resistenza di calcolo a "compressione" | V_{Rcd} | [kN] | 113737 |
| Diametro barre staffe | \emptyset | [mm] | 14 |
| Numero bracci | n | | 2 |
| Area staffa | A_{sw} | [mm ²] | 307.9 |
| Passo | s | [mm] | 200 |
| Resistenza di calcolo a "taglio trazione" | V_{Rsd} | [kN] | 3253 |
| Resistenza a taglio | V_{RD} | [kN] | 3253 |

6.2.5 Verifica a fessurazione della pila

Nelle condizioni di SLE combinazione frequente e quasi permanente, individuate come di seguito:

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

| Azioni | Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV) | Coefficiente Ψ_0 di combinazione | Coefficiente Ψ_1 (valori frequenti) | Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV) | Schema 1 (Carichi tandem) | 0,75 | 0,75 | 0,0 |
| | Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schemi 3 e 4 (carichi concentrati) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schema 2 | 0,0 | 0,75 | 0,0 |
| | 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 4 (folla) | ---- | 0,75 | 0,0 |
| Vento q_s | Vento a ponte scarico SLU e SLE | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| | Esecuzione | 0,8 | ---- | 0,0 |
| | Vento a ponte carico | 0,6 | | |
| Neve q_s | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | esecuzione | 0,8 | 0,6 | 0,5 |
| Temperatura | T_k | 0,6 | 0,6 | 0,5 |

si ha che la tensione massima nelle barre di armatura per ogni condizione è inferiore a 160 MPa; con ciò la verifica a fessurazione è implicitamente soddisfatta.

6.3 PROGETTO E VERIFICA FONDAZIONE

6.3.1 Ripartizione forze nei pali

VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali $N_p = 9$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

| X | Y | Z |
|------|-------|------|
| 9.60 | 11.00 | 2.00 |

Area fondazione 105.60 m²

Baric. zattera di fondazione - origine sistema di riferimento (m)

| X | Y |
|------|------|
| 0.00 | 0.00 |

Baricentro palificata

| X _G | Y _G |
|----------------|----------------|
| 0.00 | 0.00 |

Si assimila la fondazione a un corpo rigido sollecitato da sforzi puntuali, ovvero i pali. In tal caso gli sforzi sui pali sono unicamente funzione della distanza dal baricentro della palificata.

Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata (m²)

| J _I | J _t |
|----------------|----------------|
| 77.76 | 110.94 |

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X_G,Y_G):

| Pali | X (m) | Y (m) | X _{Gi} (m) | Y _{Gi} (m) | W _I (m) | W _t (m) |
|------|-------|-------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 3.60 | 4.30 | 3.60 | 4.30 | 21.60 | 25.80 |
| 2 | 3.60 | 0.00 | 3.60 | 0.00 | 21.60 | Infinito |
| 3 | 3.60 | -4.30 | 3.60 | -4.30 | 21.60 | -25.80 |
| 4 | 0.00 | 4.30 | 0.00 | 4.30 | Infinito | 25.80 |
| 5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Infinito | Infinito |
| 6 | 0.00 | -4.30 | 0.00 | -4.30 | Infinito | -25.80 |
| 7 | -3.60 | 4.30 | -3.60 | 4.30 | -21.60 | 25.80 |
| 8 | -3.60 | 0.00 | -3.60 | 0.00 | -21.60 | Infinito |
| 9 | -3.60 | -4.30 | -3.60 | -4.30 | -21.60 | -25.80 |

dove W_l e W_t sono rispettivamente i moduli resistenti in direzione longitudinale e trasversale dei pali

Riferendo le azioni esterne al baricentro della palificata, quota intradosso zattera, si ha:

$$M_l = M_{l, \text{filo_platea}} - (N * e_{l, \text{pali}})$$

$$e_{l, \text{pali}} = 0.00 \text{ m}$$

| | | Azioni totali rispetto baricentro palificata | | | | | |
|-----------|-------|--|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----|
| | | N (t) | H _l (t) | H _t (t) | M _l (t*m) | M _t (t*m) | |
| | COMB. | | | | | | |
| Esercizio | 1 | 2 526.27 | 6.72 | 39.02 | -60.51 | 916.53 | A1 |
| | 2 | 2 390.60 | 6.72 | 39.02 | -60.51 | 1 100.13 | A1 |
| | 3 | 2 004.49 | 6.72 | 38.60 | -60.51 | 914.30 | A1 |
| | 4 | 1 868.81 | 6.72 | 38.60 | -60.51 | 1 097.90 | A1 |
| | 5 | 1 928.39 | 5.60 | 33.39 | -50.42 | 784.82 | A2 |
| | 6 | 1 812.81 | 5.60 | 33.39 | -50.42 | 941.22 | A2 |
| | 7 | 1 928.39 | 5.60 | 33.39 | -50.42 | 784.82 | A2 |
| | 8 | 1 812.81 | 5.60 | 33.39 | -50.42 | 941.22 | A2 |
| | 9 | 2 397.85 | 6.72 | 38.60 | -60.51 | 791.45 | A1 |
| | 10 | 2 296.10 | 6.72 | 38.60 | -60.51 | 929.15 | A1 |
| | 11 | 1 876.07 | 6.72 | 38.60 | -60.51 | 791.45 | A1 |
| | 12 | 1 774.31 | 6.72 | 38.60 | -60.51 | 929.15 | A1 |
| | 13 | 1 818.99 | 5.60 | 33.39 | -50.42 | 680.17 | A2 |
| | 14 | 1 732.31 | 5.60 | 33.39 | -50.42 | 797.47 | A2 |
| | 15 | 1 818.99 | 5.60 | 33.39 | -50.42 | 680.17 | A2 |
| | 16 | 1 732.31 | 5.60 | 33.39 | -50.42 | 797.47 | A2 |
| | 17 | 2 012.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A1 |
| | 18 | 1 490.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A1 |
| | 19 | 1 490.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A2 |
| | 20 | 1 490.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A2 |
| Sisma | 21 | 1 574.18 | 268.00 | 67.20 | 0.00 | 841.20 | A1 |
| | 22 | 1 356.30 | 268.00 | 67.20 | 2 840.00 | 841.20 | A1 |
| | 23 | 1 532.18 | 268.00 | 67.20 | 2 840.00 | 841.20 | A1 |
| | 24 | 1 314.30 | 268.00 | 67.20 | 2 840.00 | 841.20 | A1 |
| | 25 | 1 574.18 | 80.40 | 224.00 | 2 840.00 | 2 804.00 | A1 |
| | 26 | 1 356.30 | 80.40 | 224.00 | 852.00 | 2 804.00 | A1 |
| | 27 | 1 532.18 | 80.40 | 224.00 | 852.00 | 2 804.00 | A1 |
| | 28 | 1 314.30 | 80.40 | 224.00 | 852.00 | 2 804.00 | A1 |
| | 29 | 1 623.18 | 80.40 | 67.20 | 852.00 | 841.20 | A1 |
| | 30 | 1 405.30 | 80.40 | 67.20 | 852.00 | 841.20 | A1 |
| | 31 | 1 483.18 | 80.40 | 67.20 | 852.00 | 841.20 | A1 |
| | 32 | 1 265.30 | 80.40 | 67.20 | 852.00 | 841.20 | A1 |
| | 33 | 1 356.30 | 268.00 | 67.20 | 852.00 | 841.20 | A2 |
| | 34 | 1 356.30 | 268.00 | 67.20 | 2 840.00 | 841.20 | A2 |

| | | | | | | |
|----|----------|--------|--------|----------|----------|----|
| 35 | 1 314.30 | 268.00 | 67.20 | 2 840.00 | 841.20 | A2 |
| 36 | 1 314.30 | 268.00 | 67.20 | 2 840.00 | 841.20 | A2 |
| 37 | 1 356.30 | 80.40 | 224.00 | 2 840.00 | 2 804.00 | A2 |
| 38 | 1 356.30 | 80.40 | 224.00 | 852.00 | 2 804.00 | A2 |
| 39 | 1 314.30 | 80.40 | 224.00 | 852.00 | 2 804.00 | A2 |
| 40 | 1 314.30 | 80.40 | 224.00 | 852.00 | 2 804.00 | A2 |
| 41 | 1 405.30 | 80.40 | 67.20 | 852.00 | 841.20 | A2 |
| 42 | 1 265.30 | 80.40 | 67.20 | 852.00 | 841.20 | A2 |
| 43 | 1 265.30 | 80.40 | 67.20 | 852.00 | 841.20 | A2 |
| 44 | 1 265.30 | 80.40 | 67.20 | 852.00 | 841.20 | A2 |

Al fine di ottenere gli sforzi assiali in testa ai pali si adotterà per le combinazioni di carico di esercizio la relazione:

$$N_{\text{palo}} = N/n^{\circ} \text{ pali} + M_r/W_l + M_t/W_t$$

| | | | |
|---|-------|-------|---|
| Sollecitazione max sui pali di fondazione N_{max} | A1+M1 | A2+M2 | t |
| | 415.1 | 390.9 | |
| Sollecitazione min sui pali di fondazione N_{min} | -65.3 | -89.5 | t |

Per determinare il taglio massimo agente sui pali si dividono gli sforzi taglianti per il numero di pali della fondazione:

| Sollecitazioni a quota intradosso zattera | | | T_1 | T_t | T_{max} | |
|---|--------------|--------------|-------|-------|-----------|----|
| COMB. | H_1 (t) | H_t (t) | (t) | (t) | (t) | |
| 1 | 6.7 | 39.0 | 0.75 | 4.34 | 4.40 | A1 |
| 2 | 6.7 | 39.0 | 0.75 | 4.34 | 4.40 | A1 |
| 3 | 6.7 | 38.6 | 0.75 | 4.29 | 4.35 | A1 |
| 4 | 6.7 | 38.6 | 0.75 | 4.29 | 4.35 | A1 |
| 5 | 5.6 | 33.4 | 0.62 | 3.71 | 3.76 | A2 |
| 6 | 5.6 | 33.4 | 0.62 | 3.71 | 3.76 | A2 |
| 7 | 5.6 | 33.4 | 0.62 | 3.71 | 3.76 | A2 |
| 8 | 5.6 | 33.4 | 0.62 | 3.71 | 3.76 | A2 |
| 9 | 6.7 | 38.6 | 0.75 | 4.29 | 4.35 | A1 |
| 10 | 6.7 | 38.6 | 0.75 | 4.29 | 4.35 | A1 |
| 11 | 6.7 | 38.6 | 0.75 | 4.29 | 4.35 | A1 |
| 12 | 6.7 | 38.6 | 0.75 | 4.29 | 4.35 | A1 |
| 13 | 5.6 | 33.4 | 0.62 | 3.71 | 3.76 | A2 |
| 14 | 5.6 | 33.4 | 0.62 | 3.71 | 3.76 | A2 |
| 15 | 5.6 | 33.4 | 0.62 | 3.71 | 3.76 | A2 |
| 16 | 5.6 | 33.4 | 0.62 | 3.71 | 3.76 | A2 |
| 17 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A1 |
| 18 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A1 |
| 19 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A2 |
| 20 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | A2 |
| 21 | 268.0 | 67.2 | 29.78 | 7.47 | 30.70 | A1 |
| 22 | 268.0 | 67.2 | 29.78 | 7.47 | 30.70 | A1 |
| 23 | 268.0 | 67.2 | 29.78 | 7.47 | 30.70 | A1 |
| 24 | 268.0 | 67.2 | 29.78 | 7.47 | 30.70 | A1 |
| 25 | 80.4 | 224.0 | 8.93 | 24.89 | 26.44 | A1 |
| 26 | 80.4 | 224.0 | 8.93 | 24.89 | 26.44 | A1 |
| 27 | 80.4 | 224.0 | 8.93 | 24.89 | 26.44 | A1 |
| 28 | 80.4 | 224.0 | 8.93 | 24.89 | 26.44 | A1 |
| 29 | 80.4 | 67.2 | 8.93 | 7.47 | 11.64 | A1 |
| 30 | 80.4 | 67.2 | 8.93 | 7.47 | 11.64 | A1 |
| 31 | 80.4 | 67.2 | 8.93 | 7.47 | 11.64 | A1 |
| 32 | 80.4 | 67.2 | 8.93 | 7.47 | 11.64 | A1 |
| 33 | 268.0 | 67.2 | 29.78 | 7.47 | 30.70 | A2 |
| 34 | 268.0 | 67.2 | 29.78 | 7.47 | 30.70 | A2 |
| 35 | 268.0 | 67.2 | 29.78 | 7.47 | 30.70 | A2 |
| 36 | 268.0 | 67.2 | 29.78 | 7.47 | 30.70 | A2 |
| 37 | 80.4 | 224.0 | 8.93 | 24.89 | 26.44 | A2 |
| 38 | 80.4 | 224.0 | 8.93 | 24.89 | 26.44 | A2 |
| 39 | 80.4 | 224.0 | 8.93 | 24.89 | 26.44 | A2 |
| 40 | 80.4 | 224.0 | 8.93 | 24.89 | 26.44 | A2 |
| 41 | 80.4 | 67.2 | 8.93 | 7.47 | 11.64 | A2 |
| 42 | 80.4 | 67.2 | 8.93 | 7.47 | 11.64 | A2 |
| 43 | 80.4 | 67.2 | 8.93 | 7.47 | 11.64 | A2 |
| 44 | 80.4 | 67.2 | 8.93 | 7.47 | 11.64 | A2 |

Il taglio massimo è dunque pari a

| | | | |
|-----------|-------|-------|---|
| T_{max} | A1+M1 | A2+M2 | t |
| | 30.7 | 30.7 | |

| | A1+M1 | ESER |
|------|-----------|-------|
| SISM | N_{max} | 319.0 |
| | N_{min} | 158.3 |
| | T_{max} | 4.4 |

| | A2+M2 | ESER |
|------|-----------|-------|
| SISM | N_{max} | 247.0 |
| | N_{min} | 159.2 |
| | T_{max} | 3.8 |



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

STRADA DELLE TRE VALLI UMBRE
Tratto Eggi-Acquasparta – 1° Stralcio Baiano-Firenzuola

PROGETTO DEFINITIVO

Inserto a relazione geotecnica

Per quanto riguarda le sollecitazioni flettenti sulla testa del palo, il valore del momento massimo d'incastro in sommità può essere determinato tramite l'espressione

$$M_{\max} = T_{\max} * L_0/2$$

con L_0 lunghezza elastica del palo

Ponendo

| | | |
|---|---------|--------------------|
| ϕ palo = diametro del palo | | |
| = | 120.0 | cm |
| K_w = modulo di Winkler del terreno = | 2 500 | t/m ³ |
| E_{cls} = modulo di elasticità del calcestruzzo | | |
| = | 314 472 | kg/cm ² |

risulta

$$L_0 = 4.107 \quad m$$

da cui

| | A1+M1 | A2+M2 | |
|------------|-------|-------|-----|
| T_{\max} | 30.7 | 30.7 | t |
| M_{\max} | 63.0 | 63.0 | t*m |
| N_{\max} | 334.3 | 314.8 | t |
| N_{\min} | -18.1 | -18.1 | t |

Seguono quindi le verifiche a pressoflessione del palo accoppiando il momento flettente appena trovato sia con lo sforzo normale minimo che con quello massimo.

6.3.2 Verifica di resistenza della zattera

La verifica del plinto è condotta considerando la mensola tozza che si produce tra la sezione di incastro della pila ed il palo. Con tale schematizzazione la forza di trazione nel corrente teso è, per la situazione più gravosa, determinata come di seguito:

- $\text{tg } \alpha = T/N = h/L = 0.97$ (tangente dell'angolo di inclinazione della biella di calcestruzzo);
- $h = 1.75$ m (altezza mensola tozza);
- $L = 1.8$ m (distanza sezione incastro da baricentro palo);
- $N = 4151$ kN (forza normale massima nel palo);
- $T = N \text{ tg } \alpha = 4026$ kN

A tale forza corrisponde un'armatura minima (da diffondere lungo il lato lungo) pari a 45 cm²/m.

6.3.3 Verifica a fessurazione della zattera

La verifica a fessurazione è implicitamente soddisfatta poiché in SLE le tensioni massime di trazione nelle armature sono inferiori a 160 MPa.

7 PROGETTO E VERIFICA SPALLA A e FONDAZIONE

Si riportano le calcolazioni relative alla spalla A.

7.1 ANALISI DEI CARICHI

7.1.1 Azioni statiche trasmesse dall'impalcato

Travi

| | | |
|---------------|--------|-------|
| p (per trave) | [kN/m] | 19.09 |
| n | | 4 |
| p tot al m | [kN/m] | 80.2 |

Soletta

| | | |
|------------|----------------------|------|
| p (al mq) | [kN/m ²] | 6.3 |
| Larghezza | [m] | 11.3 |
| p tot al m | [kN/m] | 70.3 |

Marciapiede

| | | |
|------------|----------------------|------|
| p (al mq) | [kN/m ²] | 8.9 |
| Luce | [m] | 0.75 |
| n | | 2.00 |
| p tot al m | [kN/m] | 13.3 |

Barriere

| | | |
|------------|---------|-----|
| p | [kN/m] | 2.5 |
| n | | 2.0 |
| p tot al m | [kNm/m] | 5.0 |

Pavimentazione et massetto

| | | |
|------------|--------|------|
| p tot al m | [kN/m] | 37.1 |
|------------|--------|------|

| | | |
|---------------------------|-----|------|
| Lc1 = luce prima campata | [m] | 30.0 |
| Lc2= luce seconda campata | [m] | 0.0 |

| | | |
|--------------|--|-------|
| gamma TC (V) | | 0.800 |
| gamma TC (T) | | 1.000 |

| | | |
|---------------------------------|------|-------|
| Reazione verticale per appoggio | [kN] | 617.6 |
|---------------------------------|------|-------|

Mobili

| | | | |
|------------------|----------------------------------|-----|------|
| w = | larghezza carreggiata | [m] | 9.75 |
| n _L = | numero corsie convenzionali | | 3 |
| w _c = | larghezza di una corsia convenz. | [m] | 3 |

| | | | | |
|--|--------------------------|----------------------|--------|--------|
| $W_R =$ | larghezza zona rimanente | [m] | 0.75 | |
| $Q_{1K} =$ | carico asse corsia 1 | [kN] | 300 | 300 |
| $Q_{2K} =$ | carico asse corsia 2 | [kN] | 200 | 200 |
| $Q_{3K} =$ | carico asse corsia 3 | [kN] | 100 | 0 |
| $Q_{iK} =$ | carico asse altre corsie | [kN] | 0 | 0 |
| $q_{1K} =$ | UDL corsia 1 | [kN/m ²] | 9 | 9 |
| $q_{2K} =$ | UDL corsia 2 | [kN/m ²] | 2.5 | 2.5 |
| $q_{3K} =$ | UDL corsia 3 | [kN/m ²] | 2.5 | 0 |
| $q_{iK} =$ | UDL altre corsie | [kN/m ²] | 2.5 | 0 |
| | | | MAX N | MAX T |
| ecc UDL 1 | [m] | | 3.38 | 3.38 |
| ecc UDL 2 | [m] | | 0.38 | 0.38 |
| ecc UDL 3 | [m] | | -2.62 | |
| ecc UDL 4 | [m] | | -4.50 | |
| ecc TS1 | [m] | | 4.38 | 4.38 |
| ecc TS1 | [m] | | 2.38 | 2.38 |
| ecc TS2 | [m] | | 1.38 | 1.38 |
| ecc TS2 | [m] | | -0.62 | -0.62 |
| ecc TS3 | [m] | | -1.62 | |
| ecc TS3 | [m] | | -3.62 | |
| M UDL 1 | [kNm/m] | | 91.3 | 91.3 |
| M UDL 2 | [kNm/m] | | 2.9 | 2.9 |
| M UDL 3 | [kNm/m] | | -19.7 | 0.0 |
| M UDL 4 | [kNm/m] | | -8.4 | 0.0 |
| M UDL | [kNm] | | 990.3 | 1411.7 |
| M TS1 | [kNm] | | 2028.0 | 2028.0 |
| M TS2 | [kNm] | | 152.0 | 152.0 |
| M TS3 | [kNm] | | -524.0 | 0.0 |
| Momento torcente mobili totale | [kNm] | | 2646.3 | 3591.7 |
| Reazione verticale mobili totale | [kN] | | 1702.5 | 1394.0 |
| Eccentricità forza equivalente | [m] | | 1.55 | 2.58 |
| Eccentricità trave 1 (rispetto baricentro) | [m] | | 3.8 | 3.8 |
| Eccentricità trave 2 (rispetto baricentro) | [m] | | 1.3 | 1.3 |
| Eccentricità trave 3 (rispetto baricentro) | [m] | | -3.8 | -3.8 |
| Eccentricità trave 4 (rispetto baricentro) | [m] | | -1.3 | -1.3 |
| Eccentricità trave 5 (rispetto baricentro) | [m] | | | 0.0 |
| Eccentricità trave 6 (rispetto baricentro) | [m] | | | 0.0 |

| | | |
|---|-------|-------|
| Reazione verticale per carico verticale per appoggio [kN] | 425.6 | 348.5 |
| Reazione verticale massima per eccentricità (+ o -) [kN] | 315.0 | 427.6 |

| | | |
|---|--------|--------|
| Reazione totale per appoggio massima [kN] | 1358.3 | 1393.7 |
| Reazione totale per appoggio minima [kN] | 728.2 | 538.6 |

| | | |
|----------------------|------|------|
| gamma SLU permanenti | 1.35 | 1.35 |
| gamma SLU mobili | 1.35 | 1.35 |

| | | |
|---|--------|--------|
| Reazione totale per appoggio massima SLU [kN] | 1833.7 | 1881.5 |
| Reazione totale per appoggio minima SLU [kN] | 983.1 | 727.1 |

| | | |
|---------------------------|------|------|
| gamma SLE permanenti rara | 1.00 | 1.00 |
| gamma SLE mobili rara | 1.00 | 1.00 |

| | | |
|---|--------|--------|
| Reazione totale per appoggio massima SLE [kN] | 1358.3 | 1393.7 |
| Reazione totale per appoggio minima SLE [kN] | 728.2 | 538.6 |

| | | |
|----------------------------|------|------|
| gamma SLE permanenti sisma | 1.00 | 1.00 |
| gamma SLE mobili sisma | 0.00 | 0.00 |

| | | |
|---|-------|-------|
| Reazione totale per appoggio massima SLE [kN] | 617.6 | 617.6 |
| Reazione totale per appoggio minima SLE [kN] | 617.6 | 617.6 |

Le risultanti sul piano appoggi dei carichi trasmessi dall'impalcato sono dunque le seguenti:

| | N [kN] | H _l [kN] | H _t [kN] | M _t [kNm] |
|--------------------------------|-----------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Peso impalcato | 244.0 | 0 | 0 | 0.0 |
| Ritiro | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gradiente termico | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Accidentali max N | 170.0 | 0 | 0 | 265.0 |
| Accidentali max M _t | 139.6 | 0 | 0 | 359.0 |
| Vento | 0 | 0 | 41.0 | 90.0 |

7.1.2 Azioni dinamiche

Le azioni sismiche allo quota appoggi sono:

Sisma longitudinale

Forza
longitudinale H_l 140.90 t

Sisma trasversale

Inserto a relazione geotecnica

Forza trasversale
 H_t 110.50 t

Sisma verticale

Forza verticale
 ΔN 25.50 t

7.2 PROGETTO E VERIFICA SPALLA

7.2.1 Geometria

Si riportano di seguito prospetti, piante e sezioni afferenti alla pila oggetto di studio.

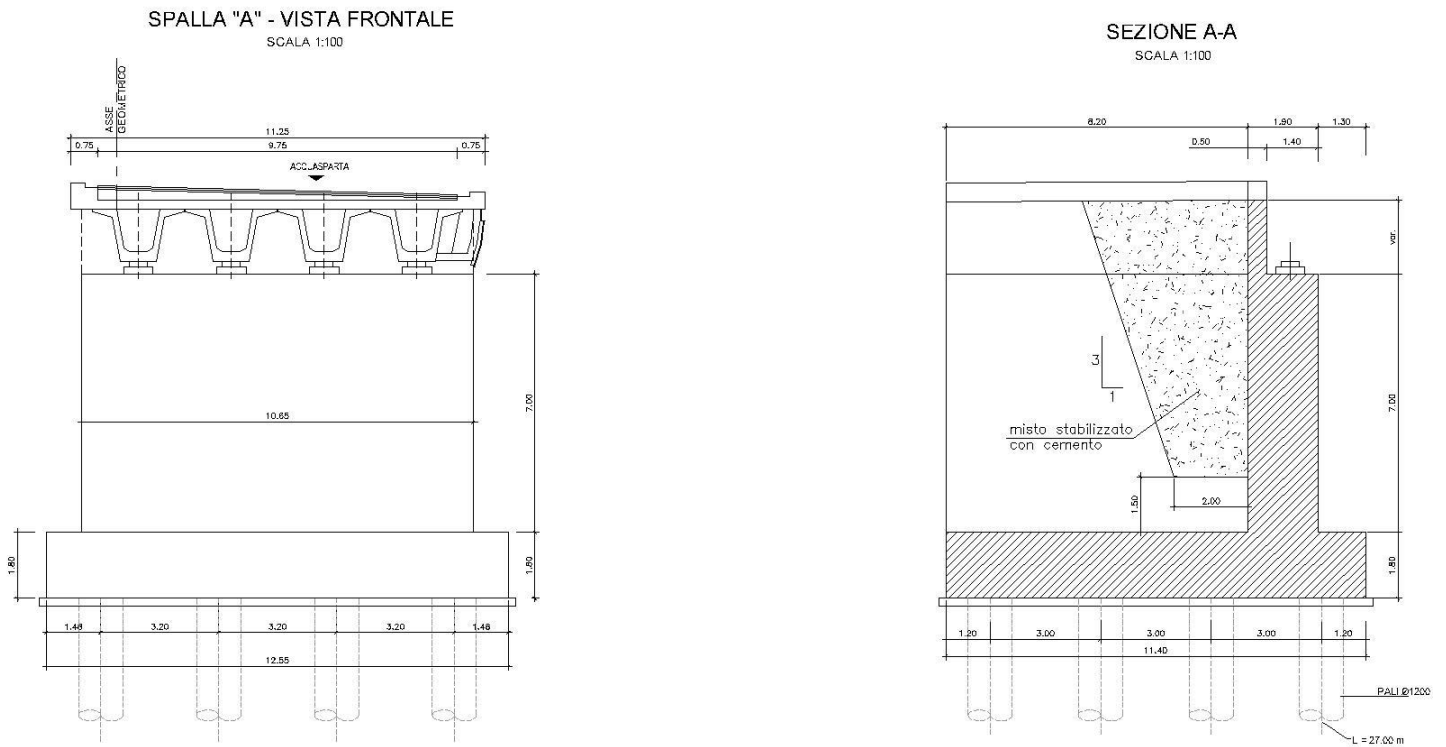


Figura 7-1: prospetto e sezione spalla.

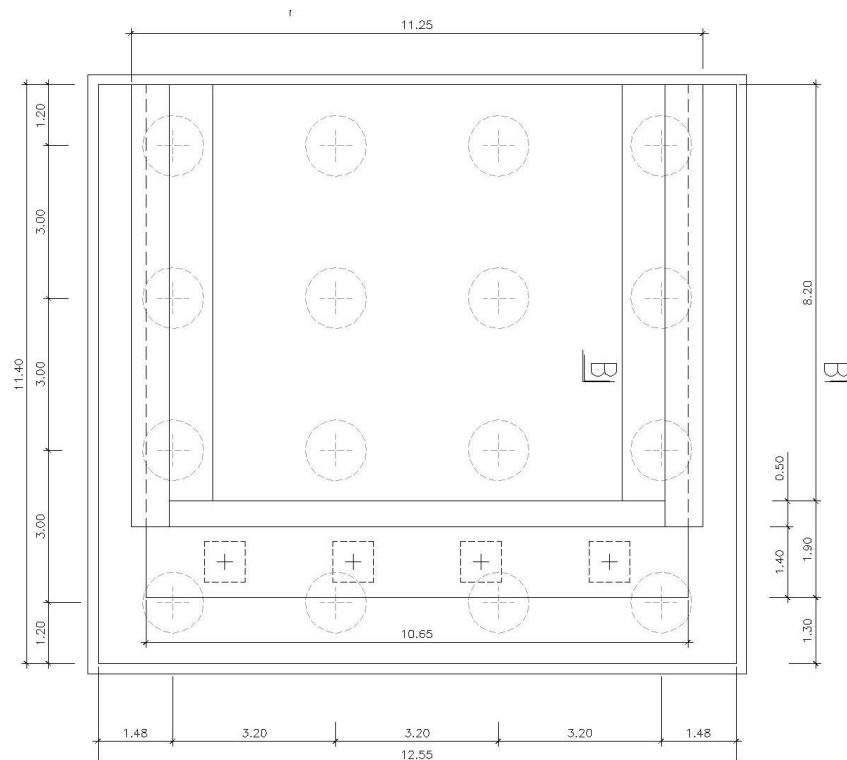


Figura 7-2: pianta fondazione.

Platea di fondazione

Si indica con B_{lp} la larghezza longitudinale (secondo l'asse viario) della platea e con B_{tp} la sua larghezza trasversale; H_p è lo spessore della platea; S_p è la sporgenza della platea oltre il muro frontale.

Infine si indica con e_t la distanza trasversale tra l'asse del viadotto e l'asse longitudinale della platea;

tale distanza è positiva se l'asse platea è spostato a dx rispetto all'asse viadotto.

| B_{lp} (m) | B_{tp} (m) | H_p (m) | S_p (m) |
|-----------------|-----------------|--------------|--------------|
| 11.40 | 12.55 | 1.80 | 1.20 |

| e_t (m) |
|--------------|
| 0.00 |

Muro frontale

Si indica con B_{lm} la larghezza longitudinale (secondo l'asse viario) e con B_{tm} la larghezza trasversale del muro; H_m è l'altezza del muro.

| B_{lm} (m) | B_{tm} (m) | H_m (m) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1.90 | 10.65 | 8.00 |

Paraghiaia

Si indica con B_{lpar} lo spessore del muro paraghiaia, con B_{tpar} la larghezza trasversale del muro e con H_{par} l'altezza del muro paraghiaia al di sopra del muro frontale.

| B_{lpar} (m) | B_{tpar} (m) | H_{par} (m) |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.50 | 10.65 | 2.00 |

Muri di risvolto

Si indica con L_r la lunghezza del muro, con H_r la sua altezza, con Spt_r lo spessore in testa muro e con $Pend.r$ la pendenza della parete posteriore del muro.

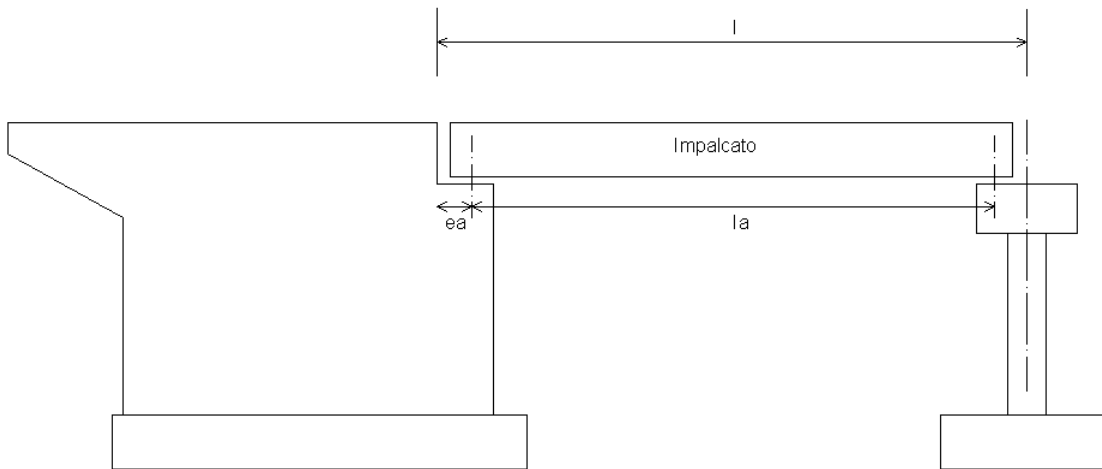
| Spt_r (m) | L_r (m) | H_r (m) |
|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0.80 | 8.20 | 10.00 |

Si assume come sistema di riferimento un sistema cartesiano con l'asse y secondo la direzione trasversale dell'impalcato da sx a dx, guardando l'impalcato avendo la spalla dietro le spalle, l'asse x secondo la direzione longitudinale dell'impalcato, con il verso che va dalla spalla all'impalcato e l'asse z orientato verso il basso.

Si adotta la convenzione di indicare i momenti positivi se antiorari.

I parametri maggiormente significativi della campata in esame sono i seguenti :

| | | | |
|---|------|-------|-----|
| Interasse pila - spalla (lunghezza campata) | I = | 30.00 | (m) |
| Interasse appoggi campata | la = | 29.50 | (m) |
| Eccentricità longitudinale asse appoggi | ea = | 0.65 | (m) |



GEOMETRIA PALIFICATA

Numero totale di pali della zattera 16

Coordinate pali rispetto al baricentro della zattera

| Pali | X (m) | Y (m) |
|------|----------|----------|
| 1 | 4.50 | 11.20 |
| 2 | 4.50 | 8.00 |
| 3 | 4.50 | 4.80 |
| 4 | 4.50 | 1.60 |
| 5 | 1.50 | -1.60 |
| 6 | 1.50 | -4.80 |
| 7 | 1.50 | -8.00 |
| 8 | 1.50 | -11.20 |
| 9 | -1.50 | 11.20 |
| 10 | -1.50 | 8.00 |
| 11 | -1.50 | 4.80 |

| | | |
|----|-------|--------|
| 12 | -1.50 | 1.60 |
| 13 | -4.50 | -1.60 |
| 14 | -4.50 | -4.80 |
| 15 | -4.50 | -8.00 |
| 16 | -4.50 | -11.20 |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |

7.2.2 Combinazioni di carico

Stato limite ultimo

Coefficienti moltiplicativi che tengono conto della non contemporaneità delle varie azioni variabili trasmesse dall'impalcato alla spalla

TABELLA 5.1.VI- Coefficienti Ψ per azioni variabili (SLU) - impalcato (Testo unico)

| | Coeff. Ψ | | |
|--------------------------|---------------|----------|----------|
| | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
| Accidentali - frenamento | 0.75 | 0.75 | 0 |
| Vento ponte scarico | 0.6 | 0.2 | 0 |
| Vento ponte carico | 0.6 | -- | -- |
| Temperatura | 0.6 | 0.6 | 0.5 |

TABELLA 5.2.V - Coefficienti parziali relativi alle azioni (SLU) - Impalcato (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali γ_f | |
|--------------------------|-----------------------|----------------------------|------|
| | | A1 | A2 |
| Permanente sfavorevole | G- | 1.35 | 1.00 |
| | Permanente favorevole | G+ | 1.00 |
| Variabile sfavorevole Q- | accidentali | 1.35 | 1.15 |
| | vento | 1.50 | 1.30 |
| | ritiro, ... | 1.20 | 1.00 |
| Variabile favorevole Q+ | accidentali | 0.00 | 0.00 |
| | vento | 0.00 | 0.00 |
| | ritiro, ... | 0.00 | 0.00 |

TABELLA 6.2.I - Coefficienti parziali relativi alle azioni (SLU) - Terreno (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali γ_f | |
|------------------------|-----------------------|----------------------------|------|
| | | A1 | A2 |
| Permanente sfavorevole | G- | 1.40 | 1.00 |
| | Permanente favorevole | G+ | 1.00 |
| Variabile sfavorevole | Q- | 1.50 | 1.30 |
| Variabile favorevole | Q+ | 0.00 | 0.00 |

TABELLA 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri del terreno (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali γ_m | |
|-----------------------------|----------------|----------------------------|------|
| | | M1 | M2 |
| Tan. angolo attrito interno | $\tan \phi'_k$ | 1.00 | 1.25 |
| Coazione efficace | c'_k | 1.00 | 1.25 |
| Coazione non drenata | c_{uk} | 1.00 | 1.40 |
| Peso unità di volume | γ | 1.00 | 1.00 |

TABELLA 6.4.I - Coefficienti parziali per fondazioni superficiali (Testo unico)

| Parametro | Coeff. parziali γ_r | | |
|-------------------|----------------------------|------|------|
| | R1 | R2 | R3 |
| Capacità portante | 1.00 | 1.80 | 2.30 |
| Scorrimento | 1.00 | 1.10 | 1.10 |
| Stabilità globale | -- | 1.10 | -- |

AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO IN CONDIZIONI DI SISMA

SISMA TRASVERSALE

Si indica con $h_{bar,p}$ l'altezza del baricentro dei carichi permanenti (punto dove risulta applicata la forza sismica orizzontale) rispetto alla quota degli appoggi

| Orizzont. | | | Vert. |
|------------------|-------------|--------------------|-------------------------|
| $H_{s,t}$ (t) | $h_{bar,p}$ | $M_{s,t}$ (t*m) | $\Delta N_{s,t}$ (t) |
| 110.50 | 1.15 | 127.08 | 25.50 |

SISMA LONGITUDINALE

Il punto di applicazione della forza sulla spalla è posto ad un'altezza rispetto agli appoggi pari a $h_{sism,l}$

| Orizzont. | | | Vert. |
|------------------|--------------|--------------------|-------------------------|
| $H_{s,l}$ (t) | $h_{sism,l}$ | $M_{s,l}$ (t*m) | $\Delta N_{s,t}$ (t) |
| 140.90 | 0.00 | 0.00 | 25.50 |

Si riassumono di seguito le sollecitazioni trasmesse dall'impalcato alla spalla (azioni a quota appoggi e in asse impalcato)

| | | | N t | H_l t | H_t t | M_l t*m | M_t t*m |
|-----------|------------------------------|-------|--------|------------|------------|--------------|--------------|
| Esercizio | Permanenti | g1+g2 | 244.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Carichi mobili max N | q1+q2 | 170.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 265.0 |
| | Carichi mobili max M_t | q1+q2 | 139.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 359.0 |
| | Frenamento | q3 | 0.0 | 45.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Vento impalcato scarico | q5 | 0.0 | 0.0 | 41.0 | 0.0 | 90.0 |
| | Vento impalcato carico | q5 | 0.0 | 0.0 | 41.0 | 0.0 | 90.0 |
| | Resistenze parassite vincoli | q7 | 0.0 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Sisma | Sisma longitudinale | q6 | 0.0 | 140.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Sisma trasversale | q6 | 0.0 | 0.0 | 110.5 | 0.0 | 127.1 |
| | Sisma verticale | q6 | 25.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Sisma verticale - | q6 | -25.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

7.2.3 Spinte del terrapieno

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI NORMALI

Per il calcolo delle azioni trasmesse dal terreno si assume un peso specifico del terreno γ_t , un angolo di attrito interno ϕ' e un angolo di attrito muro-terreno δ pari a:

$\gamma_t = 1.80 \text{ t/m}^3$ $\phi' = 35^\circ$ $\delta = 20^\circ$

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva K_a dalla relazione di Mononobe e Okabe (componente orizzontale)

$K_a = 0.230$

Si assume inoltre che il terreno al di sopra della platea di fondazione della spalla sia gravato da un sovraccarico q_s pari a:

$q_s = 2.00 \text{ t/m}^2$

AZIONI VERTICALI

Le azioni trasmesse dal terreno alla spalla sono date dal peso del terreno al di sopra della platea, Q_t , dal peso del sovraccarico agente su quest'ultimo, Q_s , e dalla componente verticale della spinta attiva, che qui si trascura a favore di sicurezza (ha un effetto stabilizzante nei confronti del ribaltamento).

Ricordando che si indica con B_{lp} la larghezza longitudinale (secondo l'asse viario) della platea, con B_{tp} la sua larghezza trasversale, con S_p la sporgenza della platea oltre il muro frontale, con $B_{lm,sup}$ lo spessore del muro frontale e con H_{m+par} l'altezza del muro frontale+paraghiaia, con $S_{pt,r}$, $Pend.r$ e H_r lo spessore, l'inclinazione posteriore e l'altezza dei muri di risvolto, si ha, con e_{Qt} ed e_{Qs} le eccentricità dei carichi Q_t e Q_s rispetto al filo anteriore della platea di fondazione:

| B_{lp} (m) | B_{tp} (m) | S_p (m) | $B_{lm,sup}$ (m) | H_{m+par} (m) | $S_{pt,r}$ (m) |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| 11.40 | 12.55 | 1.20 | 1.90 | 10.00 | 0.80 |

| Q_t (t) | Q_s (t) | e_{Qt} (m) | e_{Qs} (m) |
|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 1 635.93 | 181.77 | 7.25 | 7.25 |

AZIONI ORIZZONTALI

Le azioni trasmesse dal terreno alla spalla sono la spinta attiva del terreno a tergo della spalla dovuta al peso del terreno γ_t e al sovraccarico q_s :

Indicando con $S_{a,t}$ e $S_{a,s}$ le forze orizzontali dovute al peso del terreno e al sovraccarico,

e con $e_{Sa,t}$ e $e_{Sa,s}$ le eccentricità di tali forze rispetto all'intradosso della platea di fondazione, si ha (con H_p spessore della platea):

| B_{tp} (m) | H_p (m) | H_{m+par} (m) | $S_{a,t}$ (t) | $S_{a,s}$ (t) | $e_{Sa,t}$ (m) | $e_{Sa,s}$ (m) |
|-----------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 12.55 | 1.80 | 10.00 | 362.12 | 68.20 | 3.93 | 5.90 |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dal terreno alla spalla, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti sul filo anteriore della fondazione, si ha:

| <i>Az. progetto</i> | N (t) | H_i (t) | H_t (t) | M_i (t*m) | M_t (t*m) |
|---------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Peso terreno sopra platea | 1 635.93 | 0.00 | 0.00 | 11 860.49 | 0.00 |
| Peso sovraccarico | 181.77 | 0.00 | 0.00 | 1 317.83 | 0.00 |
| Spinta attiva terreno | 0.00 | 362.12 | 0.00 | -1 424.36 | 0.00 |
| Spinta per carico acc. | 0.00 | 68.20 | 0.00 | -402.36 | 0.00 |

7.2.4 Sintesi azioni (A1+M1)

TABELLA 7.2.1 - Coefficienti parziali per i parametri del terreno

| Parametro | | Coeff. parziali γ_m | |
|-----------------------------|----------------|----------------------------|------|
| | | M1 | M2 |
| Tan. angolo attrito interno | $\tan \phi'_k$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | c'_k | 1.00 | 1.25 |
| Coesione non drenata | c_{uk} | 1.00 | 1.40 |
| Peso unità di volume | γ | 1.00 | 1.00 |

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI NORMALI

-
Per la condizione di carico M1 i valori di $\tan \phi'_k$ e γ_t devono essere divisi per i coeff. parziali indicati nella tabella 7.2.1 del D.M.14/09/2005
Per il calcolo delle azioni trasmesse dal terreno si assume dunque un peso specifico del terreno γ_t , un angolo di attrito interno ϕ' e un angolo di attrito muro-terreno δ pari a:

$\gamma_t = 1.80 \text{ t/m}^3$ $\phi' = 35^\circ$ $\delta = 20^\circ$

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva K_a dalla relazione di Mononobe e Okabe (componente orizzontale)

$K_a = 0.230$

Si assume inoltre che il terreno al di sopra della platea di fondazione della spalla sia gravato da un sovraccarico q_s pari a:

$q_s = 2.00 \text{ t/m}^2$

AZIONI VERTICALI

-
Indicando con Q_t il peso del terreno al di sopra della platea, con Q_s il peso del sovraccarico agente sul terreno e con e_{Qt} ed e_{Qs} le eccentricità dei carichi Q_t e Q_s rispetto al filo anteriore della platea di fondazione, risulta:

| B_{ip} (m) | B_{tp} (m) | S_p (m) | $B_{lm,sup}$ (m) | H_{m+par} (m) | Spt_r (m) |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|--------------------|----------------|
| 11.40 | 12.55 | 1.20 | 1.90 | 10.00 | 0.80 |

| Q_t | Q_s | e_{Qt} | e_{Qs} |
|-------|-------|----------|----------|
|-------|-------|----------|----------|

| | | | |
|----------|--------|------|------|
| (t) | (t) | (m) | (m) |
| 1 635.93 | 181.77 | 7.25 | 7.25 |

□

Per la componente verticale della spinta attiva in esercizio risulta

| | | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| $S_{av,t}$ (t) | $S_{av,s}$ (t) | $e_{sav,t}$ (m) | $e_{sav,s}$ (m) |
| 131.80 | 24.82 | 11.40 | 11.40 |

AZIONI ORIZZONTALI

Indicando con $S_{a,t}$ e $S_{a,s}$ la spinta attiva dovute al peso del terreno e al sovraccarico, e con $e_{sa,t}$ e $e_{sa,s}$ le eccentricità di tali forze rispetto all'intradosso della platea di fondazione, si ha:

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| B_{tp} (m) | H_p (m) | H_{m+par} (m) | $S_{a,t}$ (t) | $S_{a,s}$ (t) | $e_{sa,t}$ (m) | $e_{sa,s}$ (m) |
| 12.55 | 1.80 | 10.00 | 362.12 | 68.20 | 3.93 | 5.90 |

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI DI SISMA

L'azione sismica viene rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali date dal prodotto delle forze di gravità per un coefficiente sismico (analisi pseudo-statica, Eurocodice parte 5, punto 7.3.2)

| | | |
|---|-------|------------------|
| Accelerazione al bedrock a_g | 2.443 | m/s ² |
| F_0 | 2.401 | |
| T_c^* | 0.328 | s |
| Coeff. amplificazione topografica c_t | 1 | |
| Categoria suolo di fondazione | D | |

Sisma orizzontale

| | |
|-------------------|-----------|
| S_s | 1.503 |
| Coeff. S | 1.5032265 |
| $K_h = a_g/g * S$ | 0.3743 |

Sisma verticale

| | |
|-------------------|--------|
| S_s | 1.000 |
| Coeff. S | 1 |
| $K_v = a_g/g * S$ | 0.2490 |

SISMA LONGITUDINALE

In caso di sisma longitudinale orizzontale si ha incremento di spinta sismico del terreno portato.

Il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche $K_{a,s}$, si calcola, come prescritto dall'Eurocodice parte 5, attraverso la formula di Mononobe e Okabe.

Riassumendo

| | | | | | | |
|--------------------------|--|------------------|-----|--|------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | | $\phi' =$ | 35° | | $\delta =$ | 20° |
| <input type="checkbox"/> | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | θ^+ sisma | | | θ^- sisma | |
| <input type="checkbox"/> | | incr. pesi | 17° | | decr. pesi | 26° |
| <input type="checkbox"/> | | | | | | |

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche $K_{a,s}$ (componente orizzontale)

| | | | |
|--|-------------|-------|--------------------------|
| | $K_{a,s} =$ | 0.383 | sisma incremento pesi |
| | $K_{a,s} =$ | 0.542 | sisma decremento pesi |

da cui si calcola l'incremento di spinta del terreno durante il sisma $\Delta S_{a,t}$.

Ricordando

| B_{tp} (m) | H_p (m) | H_m (m) | H_{par} (m) |
|-----------------|--------------|--------------|------------------|
| 12.55 | 1.80 | 8.00 | 2.00 |

| $\Delta S_{a,t}$ (t) | $e_{sa,t}$ (t*m) | $\Delta M_{sa,t}$ (t*m) |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| 390.91 | 5.90 | -2306.36 |

sisma
incremento pesi

| $\Delta S_{a,t}$ (t) | $e_{sa,t}$ (t*m) | $\Delta M_{sa,t}$ (t*m) |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| 278.42 | 5.90 | -1642.66 |

sisma
decremento pesi

Si ha inoltre la forza d'inerzia F_{iQt} che si trasmette per attrito alla platea di fondazione,

e la forza d'inerzia verticale $\Delta Q_{s,l}$, derivanti dal terreno al di sopra della platea di fondazione.

| orizzontale | | | verticale |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| F_{iQt} (t) | e_{FiQt} (m) | M_{FiQt} (t*m) | $\Delta Q_{s,l}$ (t) |
| 612.33 | 6.80 | -4163.87 | 407.35 |

SISMA TRASVERSALE

In caso di sisma trasversale non si ha incremento sismico di spinta sul terreno

portato. Sono presenti invece la forza d'inerzia F_{iQt} orizzontale e la forza d'inerzia verticale $\Delta Q_{s,t}$ derivanti dal terreno al di sopra della platea di fondazione.

| orizzontale | | | verticale |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| F_{iQt} (t) | e_{FiQt} (m) | M_{FiQt} (t*m) | $\Delta Q_{s,t}$ (t) |
| 612.33 | 6.80 | 4163.87 | 407.35 |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dal terreno alla spalla, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti sul filo anteriore della fondazione, si ha:

| Az. progetto | N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------------------|----------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| Peso terreno sopra platea | 1 635.93 | 0.00 | 0.00 | 11 860.49 | 0.00 |
| Peso sovraccarico | 181.77 | 0.00 | 0.00 | 1 317.83 | 0.00 |
| Spinta attiva terreno | 131.80 | 362.12 | 0.00 | 78.19 | 0.00 |
| Spinta per carico acc. | 24.82 | 68.20 | 0.00 | -119.39 | 0.00 |
| Sisma long. orizz.incr. peso | 0.00 | 1 003.24 | 0.00 | -6 470.23 | 0.00 |
| Sisma long. orizz.decr. peso | 0.00 | 890.75 | 0.00 | -5 806.53 | 0.00 |
| Sisma trasv. orizzontale | 0.00 | 0.00 | 612.33 | 0.00 | 4 163.87 |
| Sisma vert. incr. peso | 407.35 | 0.00 | 0.00 | 2 953.26 | 0.00 |
| Sisma vert. decr. peso | -407.35 | 0.00 | 0.00 | -2 953.26 | 0.00 |

7.2.5 Sintesi azioni (A2+M2)

TABELLA 7.2.1 - Coefficienti parziali per i parametri del terreno

| Parametro | | Coeff. parziali γ_m | |
|-----------------------------|----------------|----------------------------|------|
| | | M1 | M2 |
| Tan. angolo attrito interno | $\tan \phi'_k$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | c'_k | 1.00 | 1.25 |
| Coesione non drenata | c_{uk} | 1.00 | 1.40 |
| Peso unità di volume | γ | 1.00 | 1.00 |

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI NORMALI

-
Per la condizione di carico M2 i valori di $\tan \phi'_k$ e γ_t devono essere divisi per i coeff. parziali indicati nella tabella 7.2.1 del D.M.14/09/2005
Per il calcolo delle azioni trasmesse dal terreno si assume dunque un peso specifico del terreno γ_t , un angolo di attrito interno ϕ' e un angolo di attrito muro-terreno δ pari a:

$\gamma_t = 1.80 \text{ t/m}^3$ $\phi' = 29^\circ$ $\delta = 17^\circ$

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva K_a dalla relazione di Mononobe e Okabe (componente orizzontale)

$K_a = 0.295$

Si assume inoltre che il terreno al di sopra della platea di fondazione della spalla sia gravato da un sovraccarico q_s pari a:

$q_s = 2.00 \text{ t/m}^2$

AZIONI VERTICALI

-
Indicando con Q_t il peso del terreno al di sopra della platea, con Q_s il peso del sovraccarico agente sul terreno e con e_{Qt} ed e_{Qs} le eccentricità dei carichi Q_t e Q_s rispetto al filo anteriore della platea di fondazione, risulta:

| B_{ip} (m) | B_{tp} (m) | S_p (m) | $B_{Im,sup}$ (m) | H_{m+par} (m) | Spt_r (m) |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|--------------------|----------------|
| 11.40 | 12.55 | 1.20 | 1.90 | 10.00 | 0.80 |

| Q_t (t) | Q_s (t) | e_{Qt} (m) | e_{Qs} (m) |
|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 1 635.93 | 181.77 | 7.25 | 7.25 |

□
Per la componente verticale della spinta attiva in esercizio risulta

| $S_{av,t}$ (t) | $S_{av,s}$ (t) | $e_{sav,t}$ (m) | $e_{sav,s}$ (m) |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 139.45 | 26.26 | 11.40 | 11.40 |

AZIONI ORIZZONTALI

Indicando con $S_{a,t}$ e $S_{a,s}$ la spinta attiva dovuta al peso del terreno e al sovraccarico, e con $e_{Sa,t}$ e $e_{Sa,s}$ le eccentricità di tali forze rispetto all'intradosso della platea di fondazione, si ha:

| B_{tp} (m) | H_p (m) | H_{m+par} (m) | $S_{a,t}$ (t) | $S_{a,s}$ (t) | $e_{Sa,t}$ (m) | $e_{Sa,s}$ (m) |
|-----------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 12.55 | 1.80 | 10.00 | 464.28 | 87.44 | 3.93 | 5.90 |

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI DI SISMA

-
Riassumendo per i coeff. sismici risulta:

$$K_h = 0.3743$$

$$K_v = 0.2490$$

SISMA LONGITUDINALE

In caso di sisma longitudinale orizzontale si ha incremento di spinta sismico del terreno portato.

Il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche $K_{a,s}$, si calcola, come prescritto dall'Eurocodice parte 5, attraverso la formula di Mononobe e Okabe.

Riassumendo

| | | | | |
|---|------------------------|-----|------------------------|-----|
| □ | $\phi' =$ | 29° | $\delta =$ | 17° |
| □ | θ^+ sisma incr. | | θ^- sisma decr. | |
| □ | pesi = | 17° | pesi = | 26° |
| □ | | | | |

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche $K_{a,s}$ (componente orizzontale)

$$K_{a,s} = 0.484$$

sisma incremento
pesi

$$K_{a,s} = 0.751$$

sisma decremento
pesi

da cui si calcola l'incremento di spinta del terreno durante il sisma $\Delta S_{a,t}$.

Ricordando

| B_{tp} (m) | H_p (m) | H_m (m) | H_{par} (m) |
|-----------------|--------------|--------------|------------------|
| 12.55 | 1.80 | 8.00 | 2.00 |

| $\Delta S_{a,t}$ (t) | $e_{Sa,t}$ (t*m) | $\Delta M_{Sa,t}$ (t*m) |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| 487.00 | 5.90 | - |

sisma incremento
pesi

| $\Delta S_{a,t}$ (t) | $e_{Sa,t}$ (t*m) | $\Delta M_{Sa,t}$ (t*m) |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| 423.04 | 5.90 | - |

sisma decremento
pesi

Si ha inoltre la forza d'inerzia F_{iqt} che si trasmette per attrito alla platea di fondazione, e la forza d'inerzia verticale $\Delta Q_{s,t}$, derivanti dal terreno al di sopra della platea di fondazione.

□

| orizzontale | | | verticale |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| F_{iqt} (t) | e_{Fiqt} (m) | M_{Fiqt} (t*m) | $\Delta Q_{s,t}$ (t) |
| 612.33 | 6.80 | - | 407.35 |

□

□

SISMA TRASVERSALE

In caso di sisma trasversale non si ha incremento sismico di spinta sul terreno

portato. Sono presenti invece la forza d'inerzia F_{iqt} orizzontale e la forza d'inerzia verticale $\Delta Q_{s,t}$ derivanti dal terreno al di sopra della platea di fondazione.

| orizzontale | | | verticale |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| F_{iqt} (t) | e_{Fiqt} (m) | M_{Fiqt} (t*m) | $\Delta Q_{s,t}$ (t) |
| 612.33 | 6.80 | 4163.87 | 407.35 |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dal terreno alla spalla, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti sul filo anteriore della fondazione, si ha:

| Az. progetto | N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------------------|-------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| Peso terreno sopra platea | 1 635.93 | 0.00 | 0.00 | 11 860.49 | 0.00 |
| Peso sovraccarico | 181.77 | 0.00 | 0.00 | 1 317.83 | 0.00 |

| | | | | | |
|------------------------------|--------|----------|--------|-----------|----------|
| Spinta attiva terreno | 139.45 | 464.28 | 0.00 | -236.47 | 0.00 |
| Spinta per carico acc. | 26.26 | 87.44 | 0.00 | -216.49 | 0.00 |
| Sisma long. orizz.incr. peso | 0.00 | 1 099.33 | 0.00 | -7 037.17 | 0.00 |
| Sisma long. orizz.decr. peso | 0.00 | 1 035.37 | 0.00 | -6 659.81 | 0.00 |
| Sisma trasv. orizzontale | 0.00 | 0.00 | 612.33 | 0.00 | 4 163.87 |
| Sisma vert. incr. peso | 407.35 | 0.00 | 0.00 | 2 953.26 | 0.00 |
| Sisma vert. decr. peso | - | 0.00 | 0.00 | -2 953.26 | 0.00 |

AZIONI VERTICALI

Indicando con Q_t il peso del terreno al di sopra della platea, con Q_s il peso del sovraccarico agente sul terreno e con e_{Qt} ed e_{Qs} le eccentricità dei carichi Q_t e Q_s rispetto al filo anteriore della platea di fondazione, risulta:

| B_{Ip} (m) | B_{tp} (m) | S_p (m) | $B_{Im,sup}$ (m) | H_{m+par} (m) | S_{pt} (m) |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| 11.40 | 25.80 | 1.20 | 1.90 | 10.00 | 0.80 |

| Q_t (t) | Q_s (t) | e_{Qt} (m) | e_{Qs} (m) |
|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 361.548 | 401.72 | 7.25 | 7.25 |

Per la componente verticale della spinta attiva in esercizio risulta

| $S_{av,t}$ (t) | $S_{av,s}$ (t) | $e_{sav,t}$ (m) | $e_{sav,s}$ (m) |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 286.67 | 53.99 | 11.40 | 11.40 |

AZIONI ORIZZONTALI

Indicando con $S_{a,t}$ e $S_{a,s}$ la spinta attiva dovute al peso del terreno e al sovraccarico, e con $e_{Sa,t}$ e $e_{Sa,s}$ le eccentricità di tali forze rispetto all'intradosso della platea di fondazione, si ha:

| B_{tp} (m) | H_p (m) | H_{m+par} (m) | $S_{a,t}$ (t) | $S_{a,s}$ (t) | $e_{Sa,t}$ (m) | $e_{Sa,s}$ (m) |
|-----------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 25.80 | 1.80 | 10.00 | 954.46 | 179.75 | 3.93 | 5.90 |

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI DI SISMA

Riassumendo per i coeff. sismici risulta:

$$K_h = 0.3743$$

$$K_v = 0.2490$$

SISMA LONGITUDINALE

In caso di sisma longitudinale orizzontale si ha incremento di spinta sismico del terreno portato.

Il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche $K_{a,s}$, si calcola, come prescritto dall'Eurocodice parte 5, attraverso la formula di Mononobe e Okabe.

Riassumendo

$$\phi' = 29^\circ \qquad \delta = 17^\circ$$

$$\theta^+ \text{ sisma incr. pesi} = 17^\circ \qquad \theta^- \text{ sisma decr. pesi} = 26^\circ$$

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche $K_{a,s}$ (componente orizzontale)

$$K_{a,s} = 0.484$$

$$K_{a,s} = 0.751$$

da cui si calcola l'incremento di spinta del terreno durante il sisma $\Delta S_{a,t}$.

Ricordando

| B_{tp} (m) | H_p (m) | H_m (m) | H_{par} (m) |
|-----------------|--------------|--------------|------------------|
| 25.80 | 1.80 | 8.00 | 2.00 |

| $\Delta S_{a,t}$ (t) | $e_{sa,t}$ (t*m) | $\Delta M_{sa,t}$ (t*m) |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| 1001.16 | 5.90 | -5906.86 |

| $\Delta S_{a,t}$ (t) | $e_{sa,t}$ (t*m) | $\Delta M_{sa,t}$ (t*m) |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| 869.68 | 5.90 | -5131.09 |

Si ha inoltre la forza d'inerzia F_{iQt} che si trasmette per attrito alla platea di fondazione, e la forza d'inerzia verticale $\Delta Q_{s,l}$, derivanti dal terreno al di sopra della platea di fondazione.

| orizzontale | | | verticale |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| F_{iQt} (t) | e_{FiQt} (m) | M_{FiQt} (t*m) | $\Delta Q_{s,l}$ (t) |
| 1353.29 | 6.80 | -9202.35 | 900.25 |

SISMA TRASVERSALE

In caso di sisma trasversale non si ha incremento sismico di spinta sul terreno portato. Sono presenti invece la forza d'inerzia F_{iQt} orizzontale e la forza d'inerzia verticale $\Delta Q_{s,t}$ derivanti dal terreno al di sopra della platea di fondazione.

| orizzontale | | | verticale |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| F_{iQt} (t) | e_{FiQt} (m) | M_{FiQt} (t*m) | $\Delta Q_{s,t}$ (t) |
| 1353.29 | 6.80 | 9202.35 | 900.25 |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dal terreno alla spalla, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti sul filo anteriore della fondazione, si ha:

| <i>Az. progetto</i> | N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Peso terreno sopra platea | 3 615.48 | 0.00 | 0.00 | 26 212.23 | 0.00 |
| Peso sovraccarico | 401.72 | 0.00 | 0.00 | 2 912.47 | 0.00 |
| Spinta attiva terreno | 286.67 | 954.46 | 0.00 | -486.13 | 0.00 |
| Spinta per carico acc. | 53.99 | 179.75 | 0.00 | -445.05 | 0.00 |
| Sisma long. orizz.incr. peso | 0.00 | 2 354.45 | 0.00 | -15 109.21 | 0.00 |
| Sisma long. orizz.decr. peso | 0.00 | 2 222.96 | 0.00 | -14 333.44 | 0.00 |
| Sisma trasv. orizzontale | 0.00 | 0.00 | 1 353.29 | 0.00 | 9 202.35 |
| Sisma vert. incr. peso | 900.25 | 0.00 | 0.00 | 6 526.85 | 0.00 |
| Sisma vert. decr. peso | -900.25 | 0.00 | 0.00 | -6 526.85 | 0.00 |

7.2.6 Verifica di resistenza della spalla

Le azioni per la verifica della spalla (muro frontale) sono mostrate di seguito; in particolare la verifica a pressoflessione risulta soddisfatta con $\varnothing 26/15$. La verifica è consegnata alle figure seguenti.

Muro frontale

| | | |
|--|-----------|--------------------|
| Altezza sezione | 190 | cm |
| Larghezza sezione | 2 350 | cm |
| Copriferro armatura compressa | 5 | cm |
| Copriferro armatura tesa | 5 | cm |
| Area armatura compressa | 283 | cm ² |
| Area armatura tesa | 283 | cm ² |
| Rck calcestruzzo | 400 | kg/cm ² |
| Modulo elastico caratteristico acciaio | 2 000 060 | kg/cm ² |
| Tensione caratt. snervamento acciaio | 4 400 | kg/cm ² |

Azioni al baricentro della sezione di spiccatto del muro

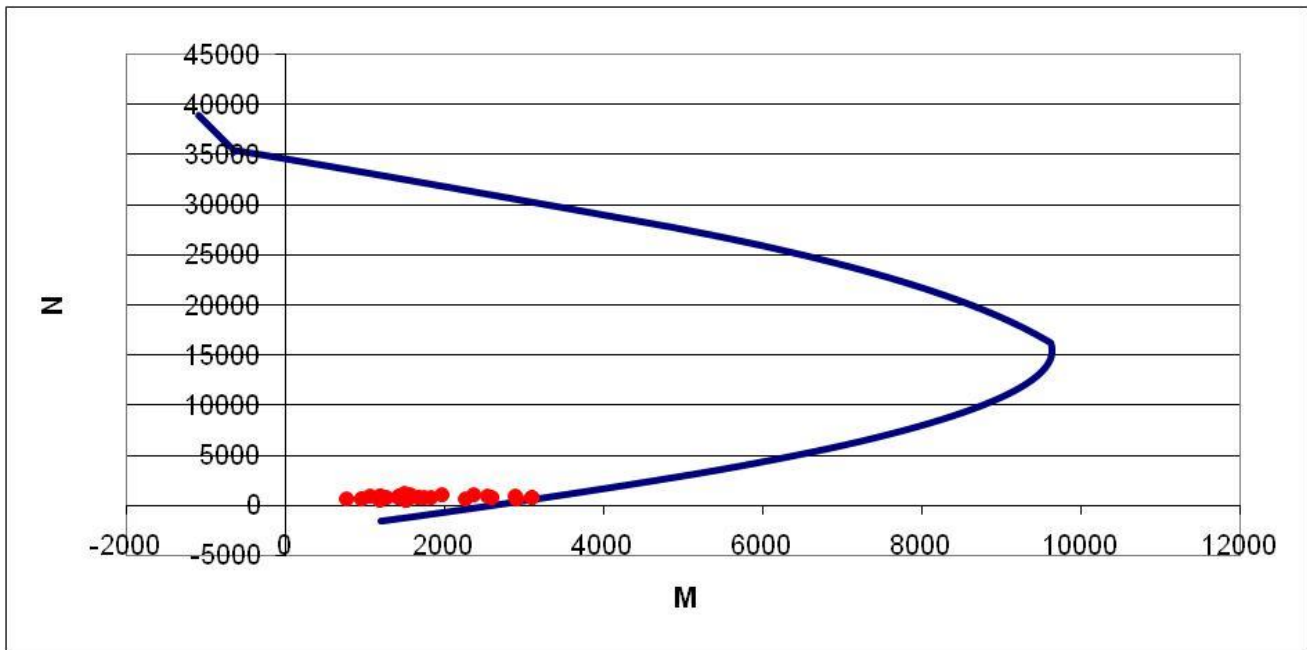
Momenti longitudinali positivi se ribaltanti

Coeff. sicurezza η a eccentricità costante (per la verifica a pressoflessione deve essere $\Rightarrow 1$)

Eccentricità rottura bilanciata 0.592 m

| | Comb | N | M _i | C.s. η ≥1 | Eccen tr. m | Tipo rottura | - sfavorevole + favorevole |
|-----------|------|---------|----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|
| | | t | t*m | | | | |
| Esercizio | 1 | 1 162.8 | 1 509.3 | 4.20 | 1.298 | Duttile | A1+M1 |
| | 2 | 1 121.7 | 1 501.1 | 4.10 | 1.338 | Duttile | A1+M1 |
| | 3 | 904.8 | 1 205.4 | 5.13 | 1.332 | Duttile | A1+M1 |
| | 4 | 863.8 | 1 197.2 | 4.97 | 1.386 | Duttile | A1+M1 |
| | 5 | 870.8 | 1 442.7 | 3.52 | 1.657 | Duttile | A2+M2 |
| | 6 | 835.9 | 1 435.7 | 3.44 | 1.718 | Duttile | A2+M2 |
| | 7 | 870.8 | 1 442.7 | 3.52 | 1.657 | Duttile | A2+M2 |
| | 8 | 835.9 | 1 435.7 | 3.44 | 1.718 | Duttile | A2+M2 |
| | 9 | 1 105.4 | 2 377.6 | 1.78 | 2.151 | Duttile | A1+M1 |
| | 10 | 1 074.6 | 1 977.1 | 2.37 | 1.840 | Duttile | A1+M1 |
| | 11 | 847.5 | 1 679.4 | 2.65 | 1.982 | Duttile | A1+M1 |
| | 12 | 816.7 | 1 673.3 | 2.60 | 2.049 | Duttile | A1+M1 |
| | 13 | 822.0 | 1 743.1 | 2.44 | 2.121 | Duttile | A2+M2 |
| | 14 | 795.7 | 1 427.7 | 3.34 | 1.794 | Duttile | A2+M2 |
| | 15 | 822.0 | 1 437.8 | 3.38 | 1.749 | Duttile | A2+M2 |
| | 16 | 795.7 | 1 841.3 | 2.20 | 2.314 | Duttile | A2+M2 |
| | 17 | 933.3 | 1 069.7 | 6.66 | 1.146 | Duttile | A1+M1 |
| | 18 | 675.3 | 765.8 | 9.40 | 1.134 | Duttile | A1+M1 |
| | 19 | 675.3 | 973.4 | 5.90 | 1.441 | Duttile | A2+M2 |
| | 20 | 675.3 | 973.4 | 5.90 | 1.441 | Duttile | A2+M2 |
| Sisma | 21 | 973.1 | 2 889.3 | 1.25 | 2.969 | Duttile | A1+M1 |
| | 22 | 715.2 | 2 602.5 | 1.30 | 3.639 | Duttile | A1+M1 |
| | 23 | 893.4 | 2 549.3 | 1.44 | 2.853 | Duttile | A1+M1 |
| | 24 | 635.5 | 2 262.4 | 1.50 | 3.560 | Duttile | A1+M1 |
| | 29 | 1 066.2 | 1 565.2 | 3.61 | 1.468 | Duttile | A1+M1 |
| | 30 | 808.2 | 1 278.4 | 4.14 | 1.582 | Duttile | A1+M1 |
| | 31 | 800.4 | 1 471.7 | 3.18 | 1.839 | Duttile | A1+M1 |
| | 32 | 542.4 | 1 184.9 | 3.53 | 2.184 | Duttile | A1+M1 |
| | 33 | 715.2 | 3 102.8 | 1.04 | 4.338 | Duttile | A2+M2 |
| | 34 | 715.2 | 3 102.8 | 1.04 | 4.338 | Duttile | A2+M2 |
| | 35 | 635.5 | 2 910.7 | 1.09 | 4.580 | Duttile | A2+M2 |
| | 36 | 635.5 | 2 910.7 | 1.09 | 4.580 | Duttile | A2+M2 |

| | | | | | | | |
|--|----|-------|---------|------|-------|---------|-------|
| | 41 | 860.5 | 1 573.8 | 2.99 | 1.829 | Duttile | A2+M2 |
| | 42 | 757.2 | 1 573.8 | 2.74 | 2.078 | Duttile | A2+M2 |
| | 43 | 542.4 | 1 524.6 | 2.43 | 2.811 | Duttile | A2+M2 |
| | 44 | 542.4 | 1 524.6 | 2.43 | 2.811 | Duttile | A2+M2 |



7.2.7 Verifica a fessurazione della spalla

Nelle condizioni di SLE combinazione frequente e quasi permanente, individuate come di seguito:

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

| Azioni | Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV) | Coefficiente Ψ_0 di combinazione | Coefficiente Ψ_1 (valori frequenti) | Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV) | Schema 1 (Carichi tandem) | 0,75 | 0,75 | 0,0 |
| | Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schemi 3 e 4 (carichi concentrati) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schema 2 | 0,0 | 0,75 | 0,0 |
| | 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 4 (folla) | ---- | 0,75 | 0,0 |
| Vento q_s | Vento a ponte scarico SLU e SLE | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| | Esecuzione | 0,8 | ---- | 0,0 |
| | Vento a ponte carico | 0,6 | | |
| Neve q_s | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | esecuzione | 0,8 | 0,6 | 0,5 |
| Temperatura | T_k | 0,6 | 0,6 | 0,5 |

si ha che la tensione massima nelle barre di armatura per ogni condizione è inferiore a 160 MPa; con ciò la verifica a fessurazione è implicitamente soddisfatta.

7.3 PROGETTO E VERIFICA FONDAZIONE

7.3.1 Ripartizione forze nei pali

Zattera di fondazione

 Numero totale dei pali $N_p = 16$

Dimensioni platea di fondazione (m)

| X | Y | Z |
|-------|-------|------|
| 11.40 | 12.55 | 1.80 |

 Area fondazione 143.07 m²

Baric. platea di fondazione - origine sistema di riferimento (m)

Baricentro palificata

| X | Y |
|------|------|
| 0.00 | 0.00 |

| X _G | Y _G |
|----------------|----------------|
| 0.00 | 0.00 |

Si assimila la fondazione a un corpo rigido sollecitato da sforzi puntuali, ovvero i pali. In tal caso gli sforzi sui pali sono unicamente funzione della distanza dal baricentro della palificata.

 Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata (m²)

| J _I | J _t |
|----------------|----------------|
| 180 | 860.16 |

 Coordinate pali rispetto al baricentro platea (X,Y) e al baricentro palificata (X_g,Y_g):

| Pali | X (m) | Y (m) | X _{Gi} (m) | Y _{Gi} (m) | W _I (m) | W _t (m) |
|------|-------|--------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 4.50 | 11.20 | 4.50 | 11.20 | 40.00 | 76.80 |
| 2 | 4.50 | 8.00 | 4.50 | 8.00 | 40.00 | 107.52 |
| 3 | 4.50 | 4.80 | 4.50 | 4.80 | 40.00 | 179.20 |
| 4 | 4.50 | 1.60 | 4.50 | 1.60 | 40.00 | 537.60 |
| 5 | 1.50 | -1.60 | 1.50 | -1.60 | 120.00 | -537.60 |
| 6 | 1.50 | -4.80 | 1.50 | -4.80 | 120.00 | -179.20 |
| 7 | 1.50 | -8.00 | 1.50 | -8.00 | 120.00 | -107.52 |
| 8 | 1.50 | -11.20 | 1.50 | -11.20 | 120.00 | -76.80 |
| 9 | -1.50 | 11.20 | -1.50 | 11.20 | -120.00 | 76.80 |
| 10 | -1.50 | 8.00 | -1.50 | 8.00 | -120.00 | 107.52 |
| 11 | -1.50 | 4.80 | -1.50 | 4.80 | -120.00 | 179.20 |
| 12 | -1.50 | 1.60 | -1.50 | 1.60 | -120.00 | 537.60 |
| 13 | -4.50 | -1.60 | -4.50 | -1.60 | -40.00 | -537.60 |
| 14 | -4.50 | -4.80 | -4.50 | -4.80 | -40.00 | -179.20 |

| | | | | | | |
|----|-------|--------|-------|--------|--------|---------|
| 15 | -4.50 | -8.00 | -4.50 | -8.00 | -40.00 | -107.52 |
| 16 | -4.50 | -11.20 | -4.50 | -11.20 | -40.00 | -76.80 |

dove W_l e W_t sono rispettivamente i moduli resistenti in direzione longitudinale e trasversale dei pali

Riferendo le azioni esterne al baricentro della palificata, quota intradosso platea, si ha:

$$M_l = M_{l, \text{filo_platea}} - (N * e_{l, \text{pali}}) \quad e_{l, \text{pali}} = 5.70 \quad \text{m}$$

| | Comb | N | H _l | H _t | M _l | M _t |
|-----------|------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | t | t | t | t*m | t*m |
| Esercizio | 1 | 5 308.0 | 612.5 | 36.9 | -251.2 | 800.4 |
| | 2 | 5 267.0 | 612.5 | 36.9 | -97.3 | 927.3 |
| | 3 | 3 954.3 | 467.6 | 36.9 | -458.1 | 800.4 |
| | 4 | 3 913.2 | 467.6 | 36.9 | -304.2 | 927.3 |
| | 5 | 3 888.5 | 580.6 | 32.0 | -824.7 | 688.4 |
| | 6 | 3 851.6 | 555.6 | 32.0 | -556.7 | 796.5 |
| | 7 | 3 888.5 | 580.6 | 32.0 | -824.7 | 688.4 |
| | 8 | 3 851.6 | 555.6 | 32.0 | -556.7 | 796.5 |
| | 9 | 5 250.6 | 673.2 | 36.9 | -630.8 | 710.9 |
| | 10 | 5 219.9 | 673.2 | 36.9 | -515.4 | 806.1 |
| | 11 | 3 896.9 | 528.3 | 36.9 | -837.7 | 710.9 |
| | 12 | 3 866.1 | 528.3 | 36.9 | -722.3 | 806.1 |
| | 13 | 3 839.6 | 619.4 | 32.0 | -1 021.4 | 612.2 |
| | 14 | 3 811.5 | 555.6 | 32.0 | -406.2 | 693.2 |
| | 15 | 3 839.6 | 632.3 | 32.0 | -1 148.0 | 612.2 |
| | 16 | 3 811.5 | 607.3 | 32.0 | -912.8 | 693.2 |
| | 17 | 4 768.6 | 507.0 | 0.0 | 609.7 | 0.0 |
| | 18 | 3 414.9 | 362.1 | 0.0 | 402.8 | 0.0 |
| | 19 | 3 422.5 | 464.3 | 0.0 | 44.6 | 0.0 |
| | 20 | 3 422.5 | 464.3 | 0.0 | 44.6 | 0.0 |
| Sisma | 21 | 4 881.1 | 2 176.3 | 374.4 | -9 384.2 | 2 223.5 |
| | 22 | 3 527.3 | 2 031.5 | 374.4 | -9 591.1 | 2 223.5 |
| | 23 | 4 534.0 | 2 063.8 | 374.4 | -8 700.1 | 2 223.5 |
| | 24 | 3 180.2 | 1 919.0 | 374.4 | -8 906.9 | 2 223.5 |
| | 25 | 4 881.1 | 1 007.8 | 1 248.0 | -2 461.9 | 7 411.8 |

| | | | | | |
|----|---------|---------|---------|-----------|---------|
| 26 | 3 527.3 | 862.9 | 1 248.0 | -2 668.8 | 7 411.8 |
| 27 | 4 534.0 | 974.0 | 1 248.0 | -2 242.3 | 7 411.8 |
| 28 | 3 180.2 | 829.2 | 1 248.0 | -2 449.2 | 7 411.8 |
| 29 | 5 143.5 | 1 007.8 | 374.4 | -2 706.7 | 2 223.5 |
| 30 | 3 789.8 | 862.9 | 374.4 | -2 913.6 | 2 223.5 |
| 31 | 3 986.4 | 974.0 | 374.4 | -2 439.5 | 2 223.5 |
| 32 | 2 632.6 | 829.2 | 374.4 | -2 646.4 | 2 223.5 |
| 33 | 3 657.2 | 2 229.7 | 374.4 | -10 326.8 | 2 223.5 |
| 34 | 3 657.2 | 2 229.7 | 374.4 | -10 326.8 | 2 223.5 |
| 35 | 3 187.8 | 2 165.8 | 374.4 | -10 118.5 | 2 223.5 |
| 36 | 3 187.8 | 2 165.8 | 374.4 | -10 118.5 | 2 223.5 |
| 37 | 3 657.2 | 993.9 | 1 248.0 | -3 007.7 | 7 411.8 |
| 38 | 3 657.2 | 993.9 | 1 248.0 | -3 007.7 | 7 411.8 |
| 39 | 3 187.8 | 974.7 | 1 248.0 | -3 063.5 | 7 411.8 |
| 40 | 3 187.8 | 974.7 | 1 248.0 | -3 063.5 | 7 411.8 |
| 41 | 4 204.7 | 993.9 | 374.4 | -2 810.5 | 2 223.5 |
| 42 | 4 153.7 | 993.9 | 374.4 | -2 619.3 | 2 223.5 |
| 43 | 2 640.3 | 974.7 | 374.4 | -3 260.6 | 2 223.5 |
| 44 | 2 640.3 | 974.7 | 374.4 | -3 260.6 | 2 223.5 |

Le azioni massima agenti nei pali per le combinazioni di carico di interesse sono sintetizzate nelle tabelle seguenti.

| | A1+M1 | |
|-------------|------------------|-------------|
| SISM | | ESER |
| 568.6 | N _{max} | 353.2 |
| -52.9 | N _{min} | 203.4 |
| 138.0 | T _{max} | 42.1 |

| | A2+M2 | |
|-------------|------------------|-------------|
| SISM | | ESER |
| 515.7 | N _{max} | 276.6 |
| -82.7 | N _{min} | 203.3 |
| 141.3 | T _{max} | 39.6 |

7.3.2 Verifica di resistenza della zattera

Unghia anteriore zattera

| | | |
|--|---------|-------|
| Reazione palo anteriore più caricato N_{palo} | 586.09 | t |
| Eccentricità reazione palo rispetto a sez. incastro unghia anteriore e | -0.20 | m |
| Larghezza collaborante sez. incastro b_{collab} | 1.2 | m |
| (momento positivo se tende le fibre inferiori della zattera) | | |
| Momento flettente palo ant. più caricato in sez. incastro M_{palo} | -97.68 | t*m/m |
| Momento flettente peso zattera in sez. incastro $M_{zattera}$ | -6.48 | t*m/m |
| Momento di verifica unghia anteriore zattera M_{ver} | -104.16 | t*m/m |

Segue la verifica a flessione semplice della sezione

| | | |
|---|---------------|--------------------|
| Altezza sezione | 180 | cm |
| Larghezza sezione | 100 | cm |
| Copriferro armatura compressa | 5 | cm |
| Copriferro armatura tesa | 5 | cm |
| Area armatura compressa | 27 | cm ² /m |
| Area armatura tesa | 27 | cm ² /m |
| Rck calcestruzzo | 300 | kg/cm ² |
| Modulo elastico caratteristico acciaio | 2 000 060 | kg/cm ² |
| Tensione caratt. snervamento acciaio | 4 400 | kg/cm ² |
| Deformazione massima calcestruzzo | 0.086 | % |
| Deformazione armatura tesa | 1.000 | % |
| Deformazione inizio snervamento acciaio | 0.191 | % |
| Momento ultimo sezione M_u | 172.52 | t*m/m |
| Precisione (Cu-Tu)/Tu | 0.356 | % |
| Momento di verifica M_{ver} | 104.16 | t*m/m |

Coeff. sicurezza η 1.66

Momento ultimo rottura bilanciata 1 826.19 t*m
Tipo di rottura Duttile

Unghia posteriore zattera

| | | |
|---------------------------------------|-------|------------------|
| Dimensione long. unghia posteriore a | 7.5 | m |
| Dimensione trasv. unghia posteriore b | 20 | m |
| Carico terreno portato qterreno | 18.00 | t/m ² |
| Sovraccarico sul terreno qs | 2.00 | t/m ² |
| Carico platea qplatea | 4.50 | t/m ² |
| Kv | 0.249 | |

Esercizio

| | | |
|---|--------|------------------|
| $q_{max,pali} = S N_{pali}/(a*b)$ | 40.39 | t/m ² |
| $q_{max,ver}=q_{terreno} + q_s + q_{platea} - q_{max,pali}$ | -15.89 | t/m ² |
| $q_{min,pali} = S N_{pali}/(a*b)$ | 26.11 | t/m ² |
| $q_{min,ver}=q_{terreno} + q_s + q_{platea} - q_{min,pali}$ | -1.61 | t/m ² |

Sisma

| | | |
|---|-------|------------------|
| $q_{max,pali} = S N_{pali}/(a*b)$ | 36.08 | t/m ² |
| $q_{max,ver}=(q_{terreno} + q_{platea})*(1+K_v) - q_{max,pali}$ | -7.98 | t/m ² |
| $q_{min,pali} = S N_{pali}/(a*b)$ | 13.96 | t/m ² |
| $q_{min,ver}=(q_{terreno} + q_{platea})*(1-K_v) - q_{min,pali}$ | 2.94 | t/m ² |

Inviluppo

| | | |
|----------------------|--------|------------------|
| q _{max,ver} | -15.89 | t/m ² |
| q _{min,ver} | 2.94 | t/m ² |

coeff. Bares g= a/b 0.375

Verifica $q_{max,ver}$

(momento negativo se tende le fibre superiori)

| | | | |
|-------------|---|--------|-------|
| $M_{yva} =$ | M trasv. di bordo all'incastro muri di risvolto | 321.59 | t*m/m |
| $M_{xvs} =$ | M longitudinale all'incastro muro frontale | 269.64 | t*m/m |
| $M_{yas} =$ | M trasv. di bordo a centro lastra | -98.75 | t*m/m |
| $M_{xs} =$ | M longitudinale a centro lastra | 10.67 | t*m/m |

Segue il calcolo dell'armatura di
verifica:

coeff.
omogeneizzazione = 15

| Dati di calcolo | Arm. di verifica | sez. | H_p (cm) | c^{sup} (cm) | c^{inf} (cm) | A_s^{sup} (cm ² /m) | A_s^{inf} (cm ² /m) |
|------------------|------------------|----------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Arm. trasversale | incastro | 180.00 | 5 | 5 | 31.4 | 62.8 |
| Arm. longitud. | incastro | 180.00 | 7.5 | 7.5 | 31.4 | 62.8 | |
| Arm. trasversale | centro | 180.00 | 5 | 5 | 15.7 | 31.4 | |
| Arm. longitud. | centro | 180.00 | 7.5 | 7.5 | 15.7 | 31.4 | |

| Risultati | Arm. di verifica | sez. | M_{ver} (t*m/m) | M_u (t*m/m) | coeff. sicurezza a | ϵ_{CLS} % | ϵ_a % |
|------------------|------------------|----------|----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| | Arm. trasversale | incastro | 321.6 | 405.2 | 1.3 | 0.1450 | 1.0000 |
| Arm. longitud. | incastro | 269.6 | 396.3 | 1.5 | 0.1500 | 1.0000 | |
| Arm. trasversale | centro | -98.7 | 102.6 | 1.0 | 0.0620 | 1.0000 | |
| Arm. longitud. | centro | 10.7 | 199.8 | 18.7 | 0.1060 | 1.0000 | |

Verifica $q_{min,ver}$

(momento negativo se tende le fibre superiori)

| | | | |
|-------------|---|--------|-------|
| $M_{yva} =$ | M trasv. di bordo all'incastro muri di risvolto | -59.54 | t*m/m |
| $M_{xvs} =$ | M longitudinale all'incastro muro frontale | -49.92 | t*m/m |
| $M_{yas} =$ | M trasv. di bordo a centro lastra | 18.28 | t*m/m |
| $M_{xs} =$ | M longitudinale a centro | -1.97 | t*m/m |

lastra

 Segue il calcolo dell'armatura di
 verifica:

| Dati di calcolo | Arm. di verifica | sez. | H _p (cm) | c ^{sup} (cm) | c ^{inf} (cm) | A _f ^{sup} (cm ² /m) | A _f ^{inf} (cm ² /m) |
|-----------------|------------------|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|
| | Arm. trasversale | incastro | 180.00 | 5 | 5 | 31.4 | 62.8 |
| | Arm. longitud. | incastro | 180.00 | 7.5 | 7.5 | 31.4 | 62.8 |
| | Arm. trasversale | centro | 180.00 | 5 | 5 | 15.7 | 31.4 |
| | Arm. longitud. | centro | 180.00 | 7.5 | 7.5 | 15.7 | 31.4 |

| Risultati | Arm. di verifica | sez. | M _{ver} (t*m/m) | M _u (t*m/m) | coeff. sicurezza a | ε _{CLS} % | ε _a % |
|-----------|------------------|----------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| | Arm. trasversale | incastro | -59.5 | 204.4 | 3.4 | 0.0780 | 1.0000 |
| | Arm. longitud. | incastro | -49.9 | 199.8 | 4.0 | 0.0860 | 1.0000 |
| | Arm. trasversale | centro | 18.3 | 204.1 | 11.2 | 0.1030 | 1.0000 |
| | Arm. longitud. | centro | -2.0 | 101.0 | 51.2 | 0.0680 | 1.0000 |

7.3.3 Verifica a fessurazione della zattera

La verifica a fessurazione è implicitamente soddisfatta poiché in SLE le tensioni massime di trazione nelle armature sono inferiori a 160 MPa.

8 PROGETTO E VERIFICA SPALLA B e FONDAZIONE

Si riportano le calcolazioni relative alla spalla B.

8.1 ANALISI DEI CARICHI

8.1.1 Azioni statiche trasmesse dall'impalcato

Le risultanti sul piano appoggi dei carichi trasmessi dall'impalcato sono dunque le seguenti:

| | N [kN] | H _i [kN] | H _t [kN] | M _t [kNm] |
|--------------------------------|-----------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Peso impalcato | 305.0 | 0 | 0 | 0.0 |
| Ritiro | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gradiente termico | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Accidentali max N | 212.5 | 0 | 0 | 331.3 |
| Accidentali max M _t | 174.5 | 0 | 0 | 448.8 |
| Vento | 0 | 0 | 41.0 | 90.0 |

8.1.2 Azioni dinamiche

Le azioni sismiche allo quota appoggi sono:

Sisma longitudinale

Forza
longitudinale H_i 155 t

Sisma trasversale

Forza trasversale
H_t 122 t

Sisma verticale

Forza verticale
ΔN 15.50 t

8.2 PROGETTO E VERIFICA SPALLA

8.2.1 Geometria

Si riportano di seguito prospetti, piante e sezioni afferenti alla pila oggetto di studio.

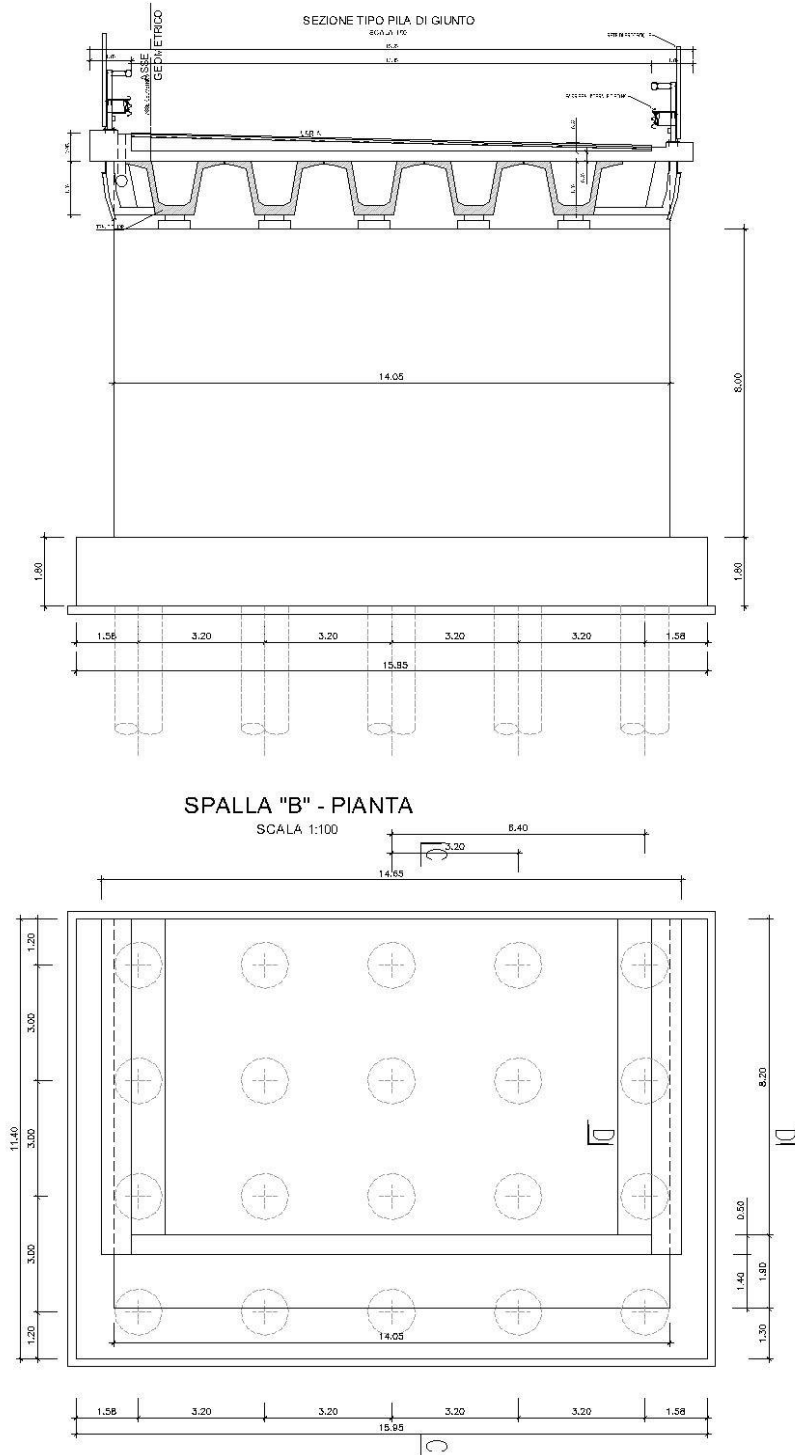


Figura 8-1: prospetto spalla e fondazione.

Platea di fondazione

Si indica con B_{lp} la larghezza longitudinale (secondo l'asse viario) della platea e con B_{tp} la sua larghezza trasversale; H_p è lo spessore della platea; S_p è la sporgenza della platea oltre il muro frontale.

Infine si indica con e_t la distanza trasversale tra l'asse del viadotto e l'asse longitudinale della platea;

tale distanza è positiva se l'asse platea è spostato a dx rispetto all'asse viadotto.

| B_{lp} (m) | B_{tp} (m) | H_p (m) | S_p (m) | e_t (m) |
|-----------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| 11.40 | 15.95 | 1.80 | 1.30 | 0.00 |

Muro frontale

Si indica con B_{lm} la larghezza longitudinale (secondo l'asse viario) e con B_{tm} la larghezza trasversale del muro; H_m è l'altezza del muro.

| B_{lm} (m) | B_{tm} (m) | H_m (m) |
|-----------------|-----------------|--------------|
| 1.90 | 14.05 | 8.00 |

Paraghiaia

Si indica con B_{lpar} lo spessore del muro paraghiaia, con B_{tpar} la larghezza trasversale del muro e con H_{par} l'altezza del muro paraghiaia al di sopra del muro frontale.

| B_{lpar} (m) | B_{tpar} (m) | H_{par} (m) |
|-------------------|-------------------|------------------|
| 0.50 | 14.05 | 2.00 |

Muri di risvolto

Si indica con L_r la lunghezza del muro, con H_r la sua altezza, con S_{pt_r} lo spessore in testa muro e con $Pend._r$ la pendenza della parete posteriore del muro.

| S_{pt_r} (m) | L_r (m) | H_r (m) |
|-------------------|--------------|--------------|
| 0.80 | 8.20 | 10.00 |

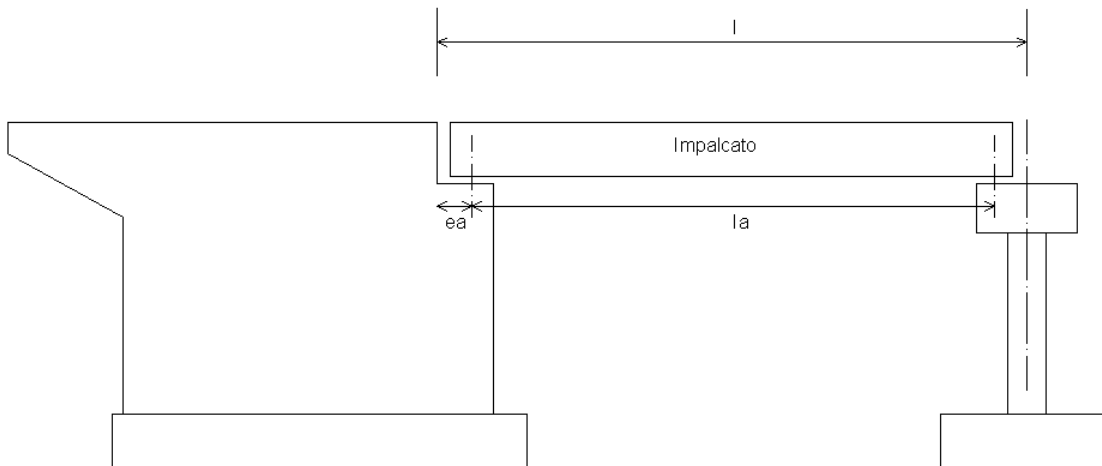
Si assume come sistema di riferimento un sistema cartesiano con l'asse y secondo la direzione trasversale dell'impalcato da sx a dx, guardando l'impalcato avendo la spalla dietro le spalle, l'asse x secondo la direzione longitudinale dell'impalcato, con il verso che va dalla spalla all'impalcato e l'asse z orientato verso il basso.

Si adotta la convenzione di indicare i momenti positivi se antiorari.

I parametri maggiormente significativi della campata in esame sono i

seguenti :

| | | | |
|---|---------|-------|-----|
| Interasse pila - spalla (lunghezza campata) | $l =$ | 30.00 | (m) |
| Interasse appoggi campata | $l_a =$ | 29.50 | (m) |
| Eccentricità longitudinale asse appoggi | $ea =$ | 0.65 | (m) |



GEOMETRIA PALIFICATA

Numero totale di pali della zattera **20**

Coordinate pali rispetto al baricentro della
zattera

| Pali | X (m) | Y (m) |
|------|----------|----------|
| 1 | 4.50 | 6.40 |
| 2 | 4.50 | 3.20 |
| 3 | 4.50 | 0.00 |
| 4 | 4.50 | -3.20 |
| 5 | 4.50 | -6.40 |
| 6 | 1.50 | 6.40 |
| 7 | 1.50 | 3.20 |
| 8 | 1.50 | 0.00 |
| 9 | 1.50 | -3.20 |
| 10 | 1.50 | -6.40 |
| 11 | -1.50 | 6.40 |
| 12 | -1.50 | 3.20 |
| 13 | -1.50 | 0.00 |
| 14 | -1.50 | -3.20 |
| 15 | -1.50 | -6.40 |

| | | |
|----|-------|-------|
| 16 | -4.50 | 6.40 |
| 17 | -4.50 | 3.20 |
| 18 | -4.50 | 0.00 |
| 19 | -4.50 | -3.20 |
| 20 | -4.50 | -6.40 |

8.2.2 Combinazioni di carico

Stato limite ultimo

Coefficienti moltiplicativi che tengono conto della non contemporaneità delle varie azioni variabili trasmesse dall'impalcato alla spalla

TABELLA 5.1.VI- Coefficienti Ψ per azioni variabili (SLU) - impalcato (Testo unico)

| | Coeff. Ψ | | |
|--------------------------|---------------|----------|----------|
| | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
| Accidentali - frenamento | 0.75 | 0.75 | 0 |
| Vento ponte scarico | 0.6 | 0.2 | 0 |
| Vento ponte carico | 0.6 | -- | -- |
| Temperatura | 0.6 | 0.6 | 0.5 |

TABELLA 5.2.V - Coefficienti parziali relativi alle azioni (SLU) - Impalcato (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali γ_f | |
|--------------------------|-----------------------|----------------------------|------|
| | | A1 | A2 |
| Permanente sfavorevole | G- | 1.35 | 1.00 |
| | Permanente favorevole | G+ | 1.00 |
| Variabile sfavorevole Q- | | accidentali | 1.35 |
| | vento | 1.50 | 1.30 |
| | ritiro, ... | 1.20 | 1.00 |
| Variabile favorevole Q+ | accidentali | 0.00 | 0.00 |
| | vento | 0.00 | 0.00 |
| | ritiro, ... | 0.00 | 0.00 |

TABELLA 6.2.I - Coefficienti parziali relativi alle azioni (SLU) - Terreno (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali γ_f | |
|------------------------|-----------------------|----------------------------|------|
| | | A1 | A2 |
| Permanente sfavorevole | G- | 1.40 | 1.00 |
| | Permanente favorevole | G+ | 1.00 |
| Variabile sfavorevole | | Q- | 1.50 |
| Variabile favorevole | Q+ | 0.00 | 0.00 |

TABELLA 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri del terreno (Testo unico)

| Parametro | | Coeff. parziali γ_m | |
|-----------------------------|----------------|----------------------------|------|
| | | M1 | M2 |
| Tan. angolo attrito interno | $\tan \phi'_k$ | 1.00 | 1.25 |
| Coazione efficace | c'_k | 1.00 | 1.25 |
| Coazione non drenata | c_{uk} | 1.00 | 1.40 |
| Peso unità di volume | γ | 1.00 | 1.00 |

TABELLA 6.4.I - Coefficienti parziali per fondazioni superficiali (Testo unico)

| Parametro | Coeff. parziali γ_r | | |
|-------------------|----------------------------|------|------|
| | R1 | R2 | R3 |
| Capacità portante | 1.00 | 1.80 | 2.30 |
| Scorrimento | 1.00 | 1.10 | 1.10 |
| Stabilità globale | -- | 1.10 | -- |

Azioni impalcato

azioni a quota appoggi in asse impalcato (che si suppone coincidere con il punto d

AZIONI VERTICALI

CARICHI PERMANENTI

Il peso proprio dell'impalcato gravante sugli appoggi risulta pari a

$$N_{app} = 305.00 \quad t$$

Tale peso genera rispetto al baricentro appoggi un momento longitudinale M_l pari a

$$M_{t,app} = 0.00 \quad t \cdot m$$

RITIRO

Come risulta dai calcoli svolti nella relazione dell'impalcato, il ritiro causa una reazione verticale sugli appoggi pari a

$$N_{ritiro} = 0.00 \quad t$$

GRADIENTE TERMICO

Si considera un gradiente termico pari a

$$\Delta T = 0 \quad ^\circ C \quad (\text{soletta pi\`u calda})$$

Come risulta dai calcoli svolti nella relazione dell'impalcato, il gradiente termico causa una reazione verticale sugli appoggi pari a

$$N_{\Delta T} = 0.00 \quad t$$

CARICHI ACCIDENTALI

| | Disp. trasversale | Colonne |
|----------------|-------------------------------|---------|
| DISPOSIZIONE 1 | Max carico verticale N | 3 |
| DISPOSIZIONE 2 | Max momento trasversale M_t | 0 |

Si ricavano per ciascuna disposizione di carichi accidentali i valori del carico verticale e del momento trasversale totali, rispetto all'asse appoggi spalla.

DISP. 1 Max carico verticale N

| N (t) | e_t (m) | M_t (t·m) |
|----------|--------------|----------------|
| 212.5 | | 331.3 |

DISP. 2 Max momento trasversale M_t

| | N (t) | e_t (m) | M_t (t*m) |
|--|----------|--------------|----------------|
| | 174.5 | | 448.8 |

AZIONI ORIZZONTALI

AZIONI TRASVERSALI

Vento trasversale sull'impalcato

| | H_t (t) | M_t (t*m) |
|-----------------------|--------------|----------------|
| (1) Impalcato scarico | 41.00 | 90.00 |
| (2) Impalcato carico | 41.00 | 90.00 |

AZIONI LONGITUDINALI

Frenamento

La forza è applicata lungo l'asse longitudinale e agisce a livello della pavimentazione.
Il punto di applicazione della forza sulla spalla è posto ad un'altezza rispetto agli appoggi pari a

$$h = 0.00 \text{ m}$$

$$\text{lunghezza complessiva campate collegate } L = 30 \text{ m}$$

La forza di frenatura H_f è dunque pari a:

$$H_f = 0,60 \cdot 2 \cdot Q_{1k} + 0,10 \cdot q_{1k} \cdot L = 44.95 \text{ t}$$

e genera un momento longitudinale M_f pari a:

$$M_f = 0.00 \text{ t*m}$$

Resistenza parassita dei vincoli - isolatori in gomma armata

Gli appoggi sono isolatori sismici in gomma armata.

Detta k la rigidezza orizzontale dell'isolatore, ΔT la variazione termica uniforme dell'impalcato, ΔT_r la variazione termica uniforme equivalente al ritiro e ΔT_v quella equivalente alla deformazione viscosa, indicando con α il coeff. dilatazione termica e con d la distanza dell'appoggio dall'asse di simmetria longitudinale del viadotto (asse rispetto a cui avvengono le deformazioni), si ha per la forza orizzontale H_{appoggio} esercitata sul singolo appoggio:

$$H_{\text{appoggio}} = k \cdot (d \cdot \alpha \cdot (\Delta T + \Delta T_r + \Delta T_v))$$

$$k = 77 \quad \text{t/m}$$

$$d = 45.5 \quad \text{m}$$

$$\alpha = 1.E-05$$

$$\Delta T = 25^\circ$$

$$\Delta T_r = 7^\circ$$

$$\Delta T_v = 0^\circ$$

$$H_{\text{appoggio}} = 1.12 \quad \text{t}$$

$$\text{n}^\circ \text{ appoggi sulla spalla} = 4$$

$$H_{\text{totale}} = 4.48 \quad \text{t}$$

Il punto di applicazione della forza sulla spalla è posto ad un'altezza rispetto agli appoggi pari a

$$h = 0.00 \quad \text{m}$$

e genera un momento longitudinale M_{attr} pari a:

$$M_{\text{attr}} = 0.00 \quad \text{t*m}$$

Resistenza parassita dei vincoli - appoggi in acciaio e PTFE

Gli appoggi sono in acciaio e PTFE, ed il coefficiente di attrito assunto è pari a $k_{\text{att}} = 0,03$. Partendo allora dal carico permanente totale gravante sugli appoggi mobili delle campate tra loro collegate, si avrà:

$$\Sigma N_{\text{app}} = 305.00$$

$$H_{\text{vincoli}} = \Sigma N_{\text{app}} \cdot k_{\text{att}} = 9.15 \quad \text{t}$$

Il punto di applicazione della forza sulla spalla è posto ad un'altezza rispetto agli appoggi pari a

$$h = 0.00 \quad \text{m}$$

e genera un momento longitudinale M_{attr} pari a:

$$M_{\text{attr}} = 0.00 \quad \text{t*m}$$

AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO IN CONDIZIONI DI SISMA

SISMA TRASVERSALE

Si indica con $h_{bar,p}$ l'altezza del baricentro dei carichi permanenti (punto dove risulta applicata la forza sismica orizzontale) rispetto alla quota degli appoggi

| Orizzont. | | | Vert. |
|------------------|-------------|--------------------|-------------------------|
| $H_{s,t}$ (t) | $h_{bar,p}$ | $M_{s,t}$ (t*m) | $\Delta N_{s,t}$ (t) |
| 122.00 | 1.15 | 140.30 | 15.00 |

SISMA LONGITUDINALE

Il punto di applicazione della forza sulla spalla è posto ad un'altezza rispetto agli appoggi pari a $h_{sism,l}$

| Orizzont. | | | Vert. |
|------------------|--------------|--------------------|-------------------------|
| $H_{s,l}$ (t) | $h_{sism,l}$ | $M_{s,l}$ (t*m) | $\Delta N_{s,t}$ (t) |
| 155.00 | 0.00 | 0.00 | 15.00 |

Si riassumono di seguito le sollecitazioni trasmesse dall'impalcato alla spalla (azioni a quota appoggi e in asse impalcato)

| | | | N t | H _l t | H _t t | M _l t*m | M _t t*m |
|-----------|-----------------------------------|-------|--------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| Esercizio | Permanenti | g1+g2 | 305.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Carichi mobili max N | q1+q2 | 212.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 331.3 |
| | Carichi mobili max M _t | q1+q2 | 174.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 448.8 |
| | Frenamento | q3 | 0.0 | 45.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Vento impalcato scarico | q5 | 0.0 | 0.0 | 41.0 | 0.0 | 90.0 |
| | Vento impalcato carico | q5 | 0.0 | 0.0 | 41.0 | 0.0 | 90.0 |
| | Resistenze parassite vincoli | q7 | 0.0 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Sisma | Sisma longitudinale | q6 | 0.0 | 155.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Sisma trasversale | q6 | 0.0 | 0.0 | 122.0 | 0.0 | 140.3 |
| | Sisma verticale | q6 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Sisma verticale - | q6 | -15.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

8.2.3 Spinte del terrapieno

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI NORMALI

Per il calcolo delle azioni trasmesse dal terreno si assume un peso specifico del terreno γ_t , un angolo di attrito interno ϕ' e un angolo di attrito muro-terreno δ pari a:

$$\gamma_t = 1.80 \quad \text{t/m}^3 \qquad \phi' = 36^\circ \qquad \delta = 20^\circ$$

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva K_a dalla relazione di Mononobe e Okabe (componente orizzontale)

$$K_a = 0.221$$

Si assume inoltre che il terreno al di sopra della platea di fondazione della spalla sia gravato da un sovraccarico q_s pari a:

$$q_s = 2.00 \quad \text{t/m}^2$$

AZIONI VERTICALI

Le azioni trasmesse dal terreno alla spalla sono date dal peso del terreno al di sopra della platea, Q_t , dal peso del sovraccarico agente su quest'ultimo, Q_s , e dalla componente verticale della spinta attiva, che qui si trascura a favore di sicurezza (ha un effetto stabilizzante nei confronti del ribaltamento).

Ricordando che si indica con B_{lp} la larghezza longitudinale (secondo l'asse viario) della platea, con B_{tp} la sua larghezza trasversale, con S_p la sporgenza della platea oltre il muro frontale, con $B_{lm,sup}$ lo spessore del muro frontale e con H_{m+par} l'altezza del muro frontale+paraghiaia, con $S_{pt,r}$, $Pend._r$ e H_r lo spessore, l'inclinazione posteriore e l'altezza dei muri di risvolto, si ha, con e_{Qt} ed e_{Qs} le eccentricità dei carichi Q_t e Q_s rispetto al filo anteriore della platea di fondazione:

| B_{lp} (m) | B_{tp} (m) | S_p (m) | $B_{lm,sup}$ (m) | H_{m+par} (m) | $S_{pt,r}$ (m) |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| 11.40 | 15.95 | 1.30 | 1.90 | 10.00 | 0.80 |

| Q_t (t) | Q_s (t) | e_{Qt} (m) | e_{Qs} (m) |
|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 2 118.06 | 235.34 | 7.30 | 7.30 |

AZIONI ORIZZONTALI

Le azioni trasmesse dal terreno alla spalla sono la spinta attiva del terreno a tergo della spalla dovuta al peso del terreno γ_t e al sovraccarico q_s :

Indicando con $S_{a,t}$ e $S_{a,s}$ le forze orizzontali dovute al peso del terreno e al sovraccarico, e con $e_{Sa,t}$ e $e_{Sa,s}$ le eccentricità di tali forze rispetto all'intradosso della platea di fondazione, si ha (con H_p spessore della platea):

| B_{tp} (m) | H_p (m) | H_{m+par} (m) | $S_{a,t}$ (t) | $S_{a,s}$ (t) | $e_{Sa,t}$ (m) | $e_{Sa,s}$ (m) |
|-----------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 15.95 | 1.80 | 10.00 | 442.15 | 83.27 | 3.93 | 5.90 |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dal terreno alla spalla, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti sul filo anteriore della fondazione, si ha:

| <i>Az. progetto</i> | N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|---------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Peso terreno sopra platea | 2 118.06 | 0.00 | 0.00 | 15 461.84 | 0.00 |
| Peso sovraccarico | 235.34 | 0.00 | 0.00 | 1 717.98 | 0.00 |
| Spinta attiva terreno | 0.00 | 442.15 | 0.00 | -1 739.11 | 0.00 |
| Spinta per carico acc. | 0.00 | 83.27 | 0.00 | -491.27 | 0.00 |

8.2.4 Sintesi azioni (A1+M1)

TABELLA 7.2.1 - Coefficienti parziali per i parametri del terreno

| Parametro | | Coeff. parziali γ_m | |
|-----------------------------|----------------|----------------------------|------|
| | | M1 | M2 |
| Tan. angolo attrito interno | $\tan \phi'_k$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | c'_k | 1.00 | 1.25 |
| Coesione non drenata | c_{ik} | 1.00 | 1.40 |
| Peso unità di volume | γ | 1.00 | 1.00 |

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI NORMALI

Per la condizione di carico M1 i valori di $\tan \phi'_k$ e γ_t devono essere divisi per i coeff. parziali indicati nella tabella 7.2.1 del D.M.14/09/2005

Per il calcolo delle azioni trasmesse dal terreno si assume dunque un peso specifico del terreno γ_t , un angolo di attrito interno ϕ' e un angolo di attrito muro-terreno δ pari a:

$$\gamma_t = 1.80 \quad \text{t/m}^3 \qquad \phi' = 36^\circ \qquad \delta = 20^\circ$$

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva K_a dalla relazione di Mononobe e Okabe (componente orizzontale)

$$K_a = 0.221$$

Si assume inoltre che il terreno al di sopra della platea di fondazione della spalla sia gravato da un sovraccarico q_s pari a:

$$q_s = 2.00 \quad \text{t/m}^2$$

AZIONI VERTICALI

Indicando con Q_t il peso del terreno al di sopra della platea, con Q_s il peso del sovraccarico agente sul terreno e con e_{Qt} ed e_{Qs} le eccentricità dei carichi Q_t e Q_s rispetto al filo anteriore della platea di fondazione, risulta:

| B_{lp} (m) | B_{tp} (m) | S_p (m) | $B_{lm,sup}$ (m) | H_{m+par} (m) | $S_{pt,r}$ (m) |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| 11.40 | 15.95 | 1.30 | 1.90 | 10.00 | 0.80 |

| Q_t (t) | Q_s (t) | e_{Qt} (m) | e_{Qs} (m) |
|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 2 118.06 | 235.34 | 7.30 | 7.30 |

Per la componente verticale della spinta attiva in esercizio risulta

| $S_{av,t}$ (t) | $S_{av,s}$ (t) | $e_{Sav,t}$ (m) | $e_{Sav,s}$ (m) |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 160.93 | 30.31 | 11.40 | 11.40 |

AZIONI ORIZZONTALI

Indicando con $S_{a,t}$ e $S_{a,s}$ la spinta attiva dovute al peso del terreno e al sovraccarico, e con $e_{Sa,t}$ e $e_{Sa,s}$ le eccentricità di tali forze rispetto all'intradosso della platea di fondazione, si ha:

| B_{tp} (m) | H_p (m) | H_{m+par} (m) | $S_{a,t}$ (t) | $S_{a,s}$ (t) | $e_{Sa,t}$ (m) | $e_{Sa,s}$ (m) |
|-----------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 15.95 | 1.80 | 10.00 | 442.15 | 83.27 | 3.93 | 5.90 |

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI DI SISMA

L'azione sismica viene rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali date dal prodotto delle forze di gravità per un coefficiente sismico (analisi pseudo-statica, Eurocodice parte 5, punto 7.3.2)

| | | | |
|---|-----------|---------|-------|
| Accelerazione al bedrock a_g | 2.443 | m/s^2 | |
| F_0 | 2.401 | | |
| T_c^* | 0.328 | s | |
| Coeff. amplificazione topografica c_t | 1 | | |
| Categoria suolo di fondazione | D | | |
| Sisma orizzontale | | | |
| S_s | 1.503 | | |
| Coeff. S | 1.5032265 | | |
| $K_h = a_g/g * S$ | 0.3743 | | S_s |
| Sisma verticale | | | |
| S_s | 1.000 | | S_s |
| Coeff. S | 1 | | |
| $K_v = a_g/g * S$ | 0.2490 | | |

SISMA LONGITUDINALE

In caso di sisma longitudinale orizzontale si ha incremento di spinta sismico del terreno portato. Il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche $K_{a,s}$, si calcola, come prescritto dall'Eurocodice parte 5, attraverso la formula di Mononobe e Okabe.
Riassumendo

| | | | |
|-------------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| $\psi =$ | 36° | $\delta =$ | 20° |
| θ^+ sisma incr. pesi = | 17° | θ^- sisma decr. pesi = | 26° |

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche $K_{a,s}$ (componente orizzontale)

| | | |
|-------------|-------|-----------------------|
| $K_{a,s} =$ | 0.370 | sisma incremento pesi |
| $K_{a,s} =$ | 0.520 | sisma decremento pesi |

da cui si calcola l'incremento di spinta del terreno durante il sisma $\Delta S_{a,t}$.
Ricordando

| B_{tp} (m) | H_p (m) | H_m (m) | H_{par} (m) |
|-----------------|--------------|--------------|------------------|
| 15.95 | 1.80 | 8.00 | 2.00 |

| $\Delta S_{a,t}$ (t) | $e_{s,a,t}$ (t*m) | $\Delta M_{s,a,t}$ (t*m) |
|-------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 481.98 | 5.90 | -2843.70 |

sisma incremento pesi

| $\Delta S_{a,t}$ (t) | $e_{s,a,t}$ (t*m) | $\Delta M_{s,a,t}$ (t*m) |
|-------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 338.10 | 5.90 | -1994.81 |

sisma decremento pesi

Si ha inoltre la forza d'inerzia F_{iQt} che si trasmette per attrito alla platea di fondazione, e la forza d'inerzia verticale $\Delta Q_{s,t}$, derivanti dal terreno al di sopra della platea di fondazione.

| orizzontale | | | verticale |
|------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| F_{iQt} (t) | $e_{F_{iQt}}$ (m) | $M_{F_{iQt}}$ (t*m) | $\Delta Q_{s,t}$ (t) |
| 792.80 | 6.80 | -5391.02 | 527.40 |

SISMA TRASVERSALE

In caso di sisma trasversale non si ha incremento sismico di spinta sul terreno portato. Sono presenti invece la forza d'inerzia F_{iQt} orizzontale e la forza d'inerzia verticale $\Delta Q_{s,t}$ derivanti dal terreno al di sopra della platea di fondazione.

| orizzontale | | | verticale |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| F_{iQt} (t) | e_{FiQt} (m) | M_{FiQt} (t*m) | $\Delta Q_{s,t}$ (t) |
| 792.80 | 6.80 | 5391.02 | 527.40 |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dal terreno alla spalla, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti sul filo anteriore della fondazione, si ha:

| Az. progetto | N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------------------|----------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| Peso terreno sopra platea | 2 118.06 | 0.00 | 0.00 | 15 461.84 | 0.00 |
| Peso sovraccarico | 235.34 | 0.00 | 0.00 | 1 717.98 | 0.00 |
| Spinta attiva terreno | 160.93 | 442.15 | 0.00 | 95.47 | 0.00 |
| Spinta per carico acc. | 30.31 | 83.27 | 0.00 | -145.78 | 0.00 |
| Sisma long. orizz.incr. peso | 0.00 | 1 274.78 | 0.00 | -8 234.72 | 0.00 |
| Sisma long. orizz.decr. peso | 0.00 | 1 130.90 | 0.00 | -7 385.83 | 0.00 |
| Sisma trasv. orizzontale | 0.00 | 0.00 | 792.80 | 0.00 | 5 391.02 |
| Sisma vert. incr. peso | 527.40 | 0.00 | 0.00 | 3 850.00 | 0.00 |
| Sisma vert. decr. peso | -527.40 | 0.00 | 0.00 | -3 850.00 | 0.00 |

8.2.5 Sintesi azioni (A2+M2)

TABELLA 7.2.1 - Coefficienti parziali per i parametri del terreno

| Parametro | | Coeff. parziali γ_m | |
|-----------------------------|----------------|----------------------------|------|
| | | M1 | M2 |
| Tan. angolo attrito interno | $\tan \phi'_k$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | c'_k | 1.00 | 1.25 |
| Coesione non drenata | c_{ik} | 1.00 | 1.40 |
| Peso unità di volume | γ | 1.00 | 1.00 |

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI NORMALI

Per la condizione di carico M2 i valori di $\tan \phi'_k$ e γ_t devono essere divisi per i coeff. parziali indicati nella tabella 7.2.1 del D.M.14/09/2005

Per il calcolo delle azioni trasmesse dal terreno si assume dunque un peso specifico del terreno γ_t , un angolo di attrito interno ϕ' e un angolo di attrito muro-terreno δ pari a:

$$\gamma_t = 1.80 \quad \text{t/m}^3 \qquad \phi' = 30^\circ \qquad \delta = 17^\circ$$

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva K_a dalla relazione di Mononobe e Okabe (componente orizzontale)

$$K_a = 0.285$$

Si assume inoltre che il terreno al di sopra della platea di fondazione della spalla sia gravato da un sovraccarico q_s pari a:

$$q_s = 2.00 \quad \text{t/m}^2$$

AZIONI VERTICALI

Indicando con Q_t il peso del terreno al di sopra della platea, con Q_s il peso del sovraccarico agente sul terreno e con e_{Qt} ed e_{Qs} le eccentricità dei carichi Q_t e Q_s rispetto al filo anteriore della platea di fondazione, risulta:

| B_{lp} (m) | B_{tp} (m) | S_p (m) | $B_{lm, sup}$ (m) | H_{m+par} (m) | S_{pt_r} (m) |
|-----------------|-----------------|--------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| 11.40 | 15.95 | 1.30 | 1.90 | 10.00 | 0.80 |

| Q_t (t) | Q_s (t) | e_{Qt} (m) | e_{Qs} (m) |
|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 2 118.06 | 235.34 | 7.30 | 7.30 |

Per la componente verticale della spinta attiva in esercizio risulta

| $S_{av,t}$ (t) | $S_{av,s}$ (t) | $e_{Sav,t}$ (m) | $e_{Sav,s}$ (m) |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 171.62 | 32.32 | 11.40 | 11.40 |

AZIONI ORIZZONTALI

Indicando con $S_{a,t}$ e $S_{a,s}$ la spinta attiva dovuta al peso del terreno e al sovraccarico, e con $e_{sa,t}$ e $e_{sa,s}$ le eccentricità di tali forze rispetto all'intradosso della platea di fondazione, si ha:

| B_{tp} (m) | H_p (m) | H_{m+par} (m) | $S_{a,t}$ (t) | $S_{a,s}$ (t) | $e_{sa,t}$ (m) | $e_{sa,s}$ (m) |
|-----------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 15.95 | 1.80 | 10.00 | 569.88 | 107.32 | 3.93 | 5.90 |

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI DI SISMA

Riassumendo per i coeff. sismici risulta:

$$K_h = 0.3743$$

$$K_v = 0.2490$$

SISMA LONGITUDINALE

In caso di sisma longitudinale orizzontale si ha incremento di spinta sismico del terreno portato. Il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche $K_{a,s}$, si calcola, come prescritto dall'Eurocodice parte 5, attraverso la formula di Mononobe e Okabe.

Riassumendo

$$\phi^+ = 30^\circ$$

$$\delta = 17^\circ$$

$$\theta^+ \text{ sisma incr. pesi} = 17^\circ$$

$$\theta^- \text{ sisma decr. pesi} = 26^\circ$$

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche $K_{a,s}$ (componente orizzontale)

$$K_{a,s} = 0.468 \quad \text{sisma incremento pesi}$$

$$K_{a,s} = 0.708 \quad \text{sisma decremento pesi}$$

da cui si calcola l'incremento di spinta del terreno durante il sisma $\Delta S_{a,t}$.

Ricordando

| B_{tp} (m) | H_p (m) | H_m (m) | H_{par} (m) |
|-----------------|--------------|--------------|------------------|
| 15.95 | 1.80 | 8.00 | 2.00 |

| $\Delta S_{a,t}$ (t) | $e_{sa,t}$ (t*m) | $\Delta M_{sa,t}$ (t*m) |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| 599.38 | 5.90 | -3536.37 |

sisma incremento pesi

| $\Delta S_{a,t}$ (t) | $e_{sa,t}$ (t*m) | $\Delta M_{sa,t}$ (t*m) |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| 493.11 | 5.90 | -2909.33 |

sisma decremento pesi

Si ha inoltre la forza d'inerzia F_{iQt} che si trasmette per attrito alla platea di fondazione, e la forza d'inerzia verticale $\Delta Q_{s,t}$, derivanti dal terreno al di sopra della platea di fondazione.

| orizzontale | | | verticale |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| F_{iQt} (t) | e_{FiQt} (m) | M_{FiQt} (t*m) | $\Delta Q_{s,t}$ (t) |
| 792.80 | 6.80 | -5391.02 | 527.40 |

SISMA TRASVERSALE

In caso di sisma trasversale non si ha incremento sismico di spinta sul terreno portato. Sono presenti invece la forza d'inerzia F_{iQt} orizzontale e la forza d'inerzia verticale $\Delta Q_{s,t}$ derivanti dal terreno al di sopra della platea di fondazione.

| orizzontale | | | verticale |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| F_{iQt} (t) | e_{FiQt} (m) | M_{FiQt} (t*m) | $\Delta Q_{s,t}$ (t) |
| 792.80 | 6.80 | 5391.02 | 527.40 |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dal terreno alla spalla, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti sul filo anteriore della fondazione, si ha:

| Az. progetto | N (t) | H_l (t) | H_t (t) | M_l (t*m) | M_t (t*m) |
|------------------------------|----------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| Peso terreno sopra platea | 2 118.06 | 0.00 | 0.00 | 15 461.84 | 0.00 |
| Peso sovraccarico | 235.34 | 0.00 | 0.00 | 1 717.98 | 0.00 |
| Spinta attiva terreno | 171.62 | 569.88 | 0.00 | -285.12 | 0.00 |
| Spinta per carico acc. | 32.32 | 107.32 | 0.00 | -264.76 | 0.00 |
| Sisma long. orizz.incr. peso | 0.00 | 1 392.18 | 0.00 | -8 927.39 | 0.00 |
| Sisma long. orizz.decr. peso | 0.00 | 1 285.90 | 0.00 | -8 300.35 | 0.00 |
| Sisma trasv. orizzontale | 0.00 | 0.00 | 792.80 | 0.00 | 5 391.02 |
| Sisma vert. incr. peso | 527.40 | 0.00 | 0.00 | 3 850.00 | 0.00 |
| Sisma vert. decr. peso | -527.40 | 0.00 | 0.00 | -3 850.00 | 0.00 |

8.2.6 Verifica di resistenza della spalla

Le azioni per la verifica della spalla (muro frontale) sono mostrate di seguito; in particolare la verifica a pressoflessione risulta soddisfatta con $\varnothing 26/15$. La verifica è consegnata alle figure seguenti.

Muro frontale

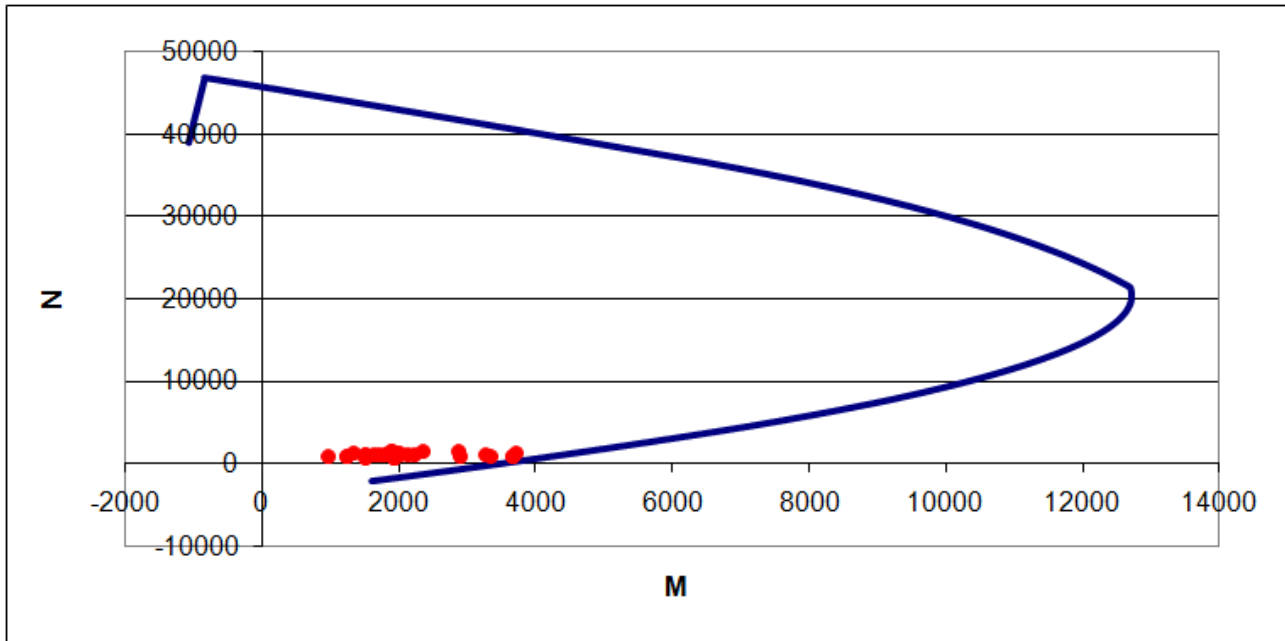
| | | |
|--|-----------|--------------------|
| Altezza sezione | 190 | cm |
| Larghezza sezione | 1 405 | cm |
| Copriferro armatura compressa | 5 | cm |
| Copriferro armatura tesa | 5 | cm |
| Area armatura compressa | 249 | cm ² |
| Area armatura tesa | 497 | cm ² |
| Rck calcestruzzo | 400 | kg/cm ² |
| Modulo elastico caratteristico acciaio | 2 000 060 | kg/cm ² |
| Tensione caratt. snervamento acciaio | 4 400 | kg/cm ² |

Azioni al baricentro della sezione di spiccatto del muro

Momenti longitudinali positivi se ribaltanti

Coeff. sicurezza η a eccentricità costante (per la verifica a pressoflessione deve essere $\Rightarrow 1$)

Eccentricità rottura bilanciata 0.592 m



| | Comb | N | M _I | C.s. η ≥ 1 | Eccentr. calcolo m | Tipo rottura |
|-----------|------|---------|----------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|
| | | t | t*m | | | |
| Esercizio | 1 | 1 495.3 | 1 902.7 | 4.48 | 1.272 | Duttile |
| | 2 | 1 444.0 | 1 892.4 | 4.37 | 1.311 | Duttile |
| | 3 | 1 160.9 | 1 518.2 | 5.46 | 1.308 | Duttile |
| | 4 | 1 109.6 | 1 507.9 | 5.31 | 1.359 | Duttile |
| | 5 | 1 118.4 | 1 829.3 | 3.71 | 1.636 | Duttile |
| | 6 | 1 074.7 | 1 820.6 | 3.62 | 1.694 | Duttile |
| | 7 | 1 118.4 | 1 829.3 | 3.71 | 1.636 | Duttile |
| | 8 | 1 074.7 | 1 820.6 | 3.62 | 1.694 | Duttile |
| | 9 | 1 423.5 | 2 885.6 | 2.00 | 2.027 | Duttile |
| | 10 | 1 385.1 | 2 366.1 | 2.76 | 1.708 | Duttile |
| | 11 | 1 089.2 | 1 989.4 | 3.12 | 1.826 | Duttile |
| | 12 | 1 050.7 | 1 981.7 | 3.06 | 1.886 | Duttile |
| | 13 | 1 057.3 | 2 127.3 | 2.73 | 2.012 | Duttile |
| | 14 | 1 024.5 | 1 810.6 | 3.52 | 1.767 | Duttile |
| | 15 | 1 057.3 | 1 709.9 | 4.00 | 1.617 | Duttile |
| | 16 | 1 024.5 | 2 224.1 | 2.49 | 2.171 | Duttile |
| | 17 | 1 208.4 | 1 353.3 | 7.10 | 1.120 | Duttile |
| | 18 | 874.0 | 968.8 | 10.00 | 1.108 | Duttile |
| | 19 | 874.0 | 1 238.2 | 6.22 | 1.417 | Duttile |
| | 20 | 874.0 | 1 238.2 | 6.22 | 1.417 | Duttile |
| Sisma | 21 | 1 255.4 | 3 711.4 | 1.29 | 2.956 | Duttile |
| | 22 | 921.0 | 3 348.2 | 1.33 | 3.635 | Duttile |
| | 23 | 1 161.4 | 3 259.9 | 1.50 | 2.807 | Duttile |
| | 24 | 827.0 | 2 896.8 | 1.56 | 3.503 | Duttile |
| | 29 | 1 365.1 | 1 997.5 | 3.74 | 1.463 | Duttile |
| | 30 | 1 030.7 | 1 634.4 | 4.26 | 1.586 | Duttile |
| | 31 | 1 051.7 | 1 873.2 | 3.38 | 1.781 | Duttile |
| | 32 | 717.3 | 1 510.1 | 3.74 | 2.105 | Duttile |
| | 35 | 827.0 | 3 656.5 | 1.16 | 4.421 | Duttile |
| | 36 | 827.0 | 3 656.5 | 1.16 | 4.421 | Duttile |
| | 41 | 1 118.0 | 2 015.1 | 3.11 | 1.803 | Duttile |
| | 42 | 1 000.7 | 2 015.1 | 2.88 | 2.014 | Duttile |
| | 43 | 717.3 | 1 926.5 | 2.58 | 2.686 | Duttile |
| | 44 | 717.3 | 1 926.5 | 2.58 | 2.686 | Duttile |

8.2.7 Verifica a fessurazione della spalla

Nelle condizioni di SLE combinazione frequente e quasi permanente, individuate come di seguito:

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \Psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \Psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

| Azioni | Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV) | Coefficiente Ψ_1 di combinazione | Coefficiente Ψ_1 (valori frequenti) | Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV) | Schema 1 (Carichi tandem) | 0,75 | 0,75 | 0,0 |
| | Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schemi 3 e 4 (carichi concentrati) | 0,40 | 0,40 | 0,0 |
| | Schema 2 | 0,0 | 0,75 | 0,0 |
| | 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Vento q_s | Vento a ponte scarico SLU e SLE | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| | Esecuzione | 0,8 | ---- | 0,0 |
| | Vento a ponte carico | 0,6 | | |
| Neve q_s | SLU e SLE | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | esecuzione | 0,8 | 0,6 | 0,5 |
| Temperatura | T_k | 0,6 | 0,6 | 0,5 |

si ha che la tensione massima nelle barre di armatura per ogni condizione è inferiore a 160 MPa; con ciò la verifica a fessurazione è implicitamente soddisfatta.

8.3 PROGETTO E VERIFICA FONDAZIONE

8.3.1 Ripartizione forze nei pali

Zattera di fondazione

Numero totale dei pali $N_p = 20$

Dimensioni platea di fondazione (m)

| X | Y | Z |
|-------|-------|------|
| 11.40 | 15.95 | 1.80 |

Area fondazione 181.83 m^2

Baric. platea di fondazione - origine sistema di riferimento (m)

| X | Y |
|------|------|
| 0.00 | 0.00 |

Baricentro palificata

| X_G | Y_G |
|-------|-------|
| 0.00 | 0.00 |

Si assimila la fondazione a un corpo rigido sollecitato da sforzi puntuali, ovvero i pali. In tal caso gli sforzi sui pali sono unicamente funzione della distanza dal baricentro della palificata.

Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata (m^2)

| J_l | J_t |
|-------|-------|
| 225 | 409.6 |

Coordinate pali rispetto al baricentro platea (X,Y) e al baricentro palificata (X_g, Y_g):

| Pali | X (m) | Y (m) | X_{Gi} (m) | Y_{Gi} (m) | W_l (m) | W_t (m) |
|------|-------|-------|--------------|--------------|-----------|-----------|
| 1 | 4.50 | 6.40 | 4.50 | 6.40 | 50.00 | 64.00 |
| 2 | 4.50 | 3.20 | 4.50 | 3.20 | 50.00 | 128.00 |
| 3 | 4.50 | 0.00 | 4.50 | 0.00 | 50.00 | Infinito |
| 4 | 4.50 | -3.20 | 4.50 | -3.20 | 50.00 | -128.00 |
| 5 | 4.50 | -6.40 | 4.50 | -6.40 | 50.00 | -64.00 |
| 6 | 1.50 | 6.40 | 1.50 | 6.40 | 150.00 | 64.00 |
| 7 | 1.50 | 3.20 | 1.50 | 3.20 | 150.00 | 128.00 |
| 8 | 1.50 | 0.00 | 1.50 | 0.00 | 150.00 | Infinito |
| 9 | 1.50 | -3.20 | 1.50 | -3.20 | 150.00 | -128.00 |
| 10 | 1.50 | -6.40 | 1.50 | -6.40 | 150.00 | -64.00 |
| 11 | -1.50 | 6.40 | -1.50 | 6.40 | -150.00 | 64.00 |
| 12 | -1.50 | 3.20 | -1.50 | 3.20 | -150.00 | 128.00 |
| 13 | -1.50 | 0.00 | -1.50 | 0.00 | -150.00 | Infinito |
| 14 | -1.50 | -3.20 | -1.50 | -3.20 | -150.00 | -128.00 |
| 15 | -1.50 | -6.40 | -1.50 | -6.40 | -150.00 | -64.00 |
| 16 | -4.50 | 6.40 | -4.50 | 6.40 | -50.00 | 64.00 |
| 17 | -4.50 | 3.20 | -4.50 | 3.20 | -50.00 | 128.00 |
| 18 | -4.50 | 0.00 | -4.50 | 0.00 | -50.00 | Infinito |
| 19 | -4.50 | -3.20 | -4.50 | -3.20 | -50.00 | -128.00 |
| 20 | -4.50 | -6.40 | -4.50 | -6.40 | -50.00 | -64.00 |
| 21 | | | | | | |

Riferendo le azioni esterne al baricentro della palificata, quota intradosso platea, si ha:

$$M_l = M_{l, \text{filo_platea}} - (N * e_{l, \text{pali}})$$

$$e_{l, \text{pali}} = 5.70 \text{ m}$$

| | Comb | N | H _l | H _t | M _l | M _t |
|-----------|------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | t | t | t | t*m | t*m |
| Esercizio | 1 | 6 689.0 | 747.1 | 36.9 | -4.6 | 889.8 |
| | 2 | 6 637.7 | 747.1 | 36.9 | 182.7 | 1 048.4 |
| | 3 | 4 984.6 | 570.3 | 36.9 | -326.4 | 889.8 |
| | 4 | 4 933.3 | 570.3 | 36.9 | -139.1 | 1 048.4 |
| | 5 | 4 902.3 | 712.1 | 32.0 | -788.7 | 764.5 |
| | 6 | 4 856.0 | 680.8 | 32.0 | -459.6 | 899.7 |
| | 7 | 4 902.3 | 712.1 | 32.0 | -788.7 | 764.5 |
| | 8 | 4 856.0 | 680.8 | 32.0 | -459.6 | 899.7 |
| | 9 | 6 617.3 | 807.8 | 36.9 | -337.6 | 778.0 |
| | 10 | 6 578.8 | 807.8 | 36.9 | -197.1 | 897.0 |
| | 11 | 4 912.9 | 631.0 | 36.9 | -659.3 | 778.0 |
| | 12 | 4 874.4 | 631.0 | 36.9 | -518.9 | 897.0 |
| | 13 | 4 841.2 | 750.9 | 32.0 | -945.7 | 669.3 |
| | 14 | 4 805.8 | 680.8 | 32.0 | -276.5 | 770.7 |
| | 15 | 4 841.2 | 763.8 | 32.0 | -1 072.3 | 669.3 |
| | 16 | 4 805.8 | 732.5 | 32.0 | -783.1 | 770.7 |
| | 17 | 6 003.7 | 619.0 | 0.0 | 987.1 | 0.0 |
| | 18 | 4 299.2 | 442.1 | 0.0 | 665.3 | 0.0 |
| | 19 | 4 309.9 | 569.9 | 0.0 | 223.8 | 0.0 |
| | 20 | 4 309.9 | 569.9 | 0.0 | 223.8 | 0.0 |
| Sisma | 21 | 6 136.3 | 2 690.8 | 467.0 | -11 300.2 | 2 741.5 |
| | 22 | 4 431.9 | 2 514.0 | 467.0 | -11 622.0 | 2 741.5 |
| | 23 | 5 712.8 | 2 546.9 | 467.0 | -10 460.4 | 2 741.5 |
| | 24 | 4 008.4 | 2 370.1 | 467.0 | -10 782.2 | 2 741.5 |
| | 25 | 6 136.3 | 1 240.5 | 1 556.8 | -2 784.5 | 9 138.5 |
| | 26 | 4 431.9 | 1 063.7 | 1 556.8 | -3 106.3 | 9 138.5 |
| | 27 | 5 712.8 | 1 197.4 | 1 556.8 | -2 538.9 | 9 138.5 |
| | 28 | 4 008.4 | 1 020.5 | 1 556.8 | -2 860.7 | 9 138.5 |
| | 29 | 6 445.8 | 1 240.5 | 467.0 | -3 069.2 | 2 741.5 |
| | 30 | 4 741.3 | 1 063.7 | 467.0 | -3 391.0 | 2 741.5 |
| | 31 | 5 034.2 | 1 197.4 | 467.0 | -2 844.9 | 2 741.5 |
| | 32 | 3 329.8 | 1 020.5 | 467.0 | -3 166.6 | 2 741.5 |
| | 33 | 4 600.8 | 2 759.1 | 467.0 | -12 503.0 | 2 741.5 |
| | 34 | 4 600.8 | 2 759.1 | 467.0 | -12 503.0 | 2 741.5 |
| | 35 | 4 019.1 | 2 652.8 | 467.0 | -12 138.2 | 2 741.5 |
| | 36 | 4 019.1 | 2 652.8 | 467.0 | -12 138.2 | 2 741.5 |
| | 37 | 4 600.8 | 1 226.6 | 1 556.8 | -3 502.5 | 9 138.5 |
| | 38 | 4 600.8 | 1 226.6 | 1 556.8 | -3 502.5 | 9 138.5 |
| | 39 | 4 019.1 | 1 194.8 | 1 556.8 | -3 576.6 | 9 138.5 |
| | 40 | 4 019.1 | 1 194.8 | 1 556.8 | -3 576.6 | 9 138.5 |
| | 41 | 5 279.4 | 1 226.6 | 467.0 | -3 196.5 | 2 741.5 |
| | 42 | 5 249.4 | 1 226.6 | 467.0 | -3 087.0 | 2 741.5 |
| | 43 | 3 340.4 | 1 194.8 | 467.0 | -3 882.5 | 2 741.5 |
| | 44 | 3 340.4 | 1 194.8 | 467.0 | -3 882.5 | 2 741.5 |

Per determinare il taglio massimo agente sui pali si dividono gli sforzi taglianti per il numero di pali della fondazione:

| | Comb | Soll. a quota intradosso platea | | T ₁ (t) | T _t (t) | T _{max} (t) |
|-----------|--------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| | | H ₁ (t) | H _t (t) | | | |
| Esercizio | 1 | 747.1 | 36.9 | 37.36 | 1.85 | 37.40 |
| | 2 | 747.1 | 36.9 | 37.36 | 1.85 | 37.40 |
| | 3 | 570.3 | 36.9 | 28.51 | 1.85 | 28.57 |
| | 4 | 570.3 | 36.9 | 28.51 | 1.85 | 28.57 |
| | 5 | 712.1 | 32.0 | 35.60 | 1.60 | 35.64 |
| | 6 | 680.8 | 32.0 | 34.04 | 1.60 | 34.08 |
| | 7 | 712.1 | 32.0 | 35.60 | 1.60 | 35.64 |
| | 8 | 680.8 | 32.0 | 34.04 | 1.60 | 34.08 |
| | 9 | 807.8 | 36.9 | 40.39 | 1.85 | 40.43 |
| | 10 | 807.8 | 36.9 | 40.39 | 1.85 | 40.43 |
| | 11 | 631.0 | 36.9 | 31.55 | 1.85 | 31.60 |
| | 12 | 631.0 | 36.9 | 31.55 | 1.85 | 31.60 |
| | 13 | 750.9 | 32.0 | 37.54 | 1.60 | 37.58 |
| | 14 | 680.8 | 32.0 | 34.04 | 1.60 | 34.08 |
| | 15 | 763.8 | 32.0 | 38.19 | 1.60 | 38.22 |
| | 16 | 732.5 | 32.0 | 36.63 | 1.60 | 36.66 |
| | 17 | 619.0 | 0.0 | 30.95 | 0.00 | 30.95 |
| | 18 | 442.1 | 0.0 | 22.11 | 0.00 | 22.11 |
| | 19 | 569.9 | 0.0 | 28.49 | 0.00 | 28.49 |
| | 20 | 569.9 | 0.0 | 28.49 | 0.00 | 28.49 |
| Sisma | 19 | 2690.8 | 467.0 | 134.54 | 23.35 | 136.55 |
| | 20 | 2514.0 | 467.0 | 125.70 | 23.35 | 127.85 |
| | 21 | 2546.9 | 467.0 | 127.35 | 23.35 | 129.47 |
| | 22 | 2370.1 | 467.0 | 118.50 | 23.35 | 120.78 |
| | 23 | 1240.5 | 1556.8 | 62.03 | 77.84 | 99.53 |
| | 24 | 1063.7 | 1556.8 | 53.18 | 77.84 | 94.28 |
| | 25 | 1197.4 | 1556.8 | 59.87 | 77.84 | 98.20 |
| | 26 | 1020.5 | 1556.8 | 51.03 | 77.84 | 93.07 |
| | 27 | 1240.5 | 467.0 | 62.03 | 23.35 | 66.28 |
| | 28 | 1063.7 | 467.0 | 53.18 | 23.35 | 58.09 |
| | 29 | 1197.4 | 467.0 | 59.87 | 23.35 | 64.26 |
| | 30 | 1020.5 | 467.0 | 51.03 | 23.35 | 56.12 |
| | 31 | 2759.1 | 467.0 | 137.95 | 23.35 | 139.92 |
| | 32 | 2759.1 | 467.0 | 137.95 | 23.35 | 139.92 |
| | 33 | 2652.8 | 467.0 | 132.64 | 23.35 | 134.68 |
| | 34 | 2652.8 | 467.0 | 132.64 | 23.35 | 134.68 |
| | 35 | 1226.6 | 1556.8 | 61.33 | 77.84 | 99.10 |
| | 36 | 1226.6 | 1556.8 | 61.33 | 77.84 | 99.10 |
| | 37 | 1194.8 | 1556.8 | 59.74 | 77.84 | 98.12 |
| | 38 | 1194.8 | 1556.8 | 59.74 | 77.84 | 98.12 |
| | 39 | 1226.6 | 467.0 | 61.33 | 23.35 | 65.63 |
| | 40 | 1226.6 | 467.0 | 61.33 | 23.35 | 65.63 |
| | 41 | 1194.8 | 467.0 | 59.74 | 23.35 | 64.14 |
| 42 | 1194.8 | 467.0 | 59.74 | 23.35 | 64.14 | |

Il taglio massimo è dunque pari a

| | A1+M1 | A2+M2 | t |
|------------------|-------|-------|---|
| T _{max} | 136.6 | 139.9 | |

| | A1+M1 | ESER |
|------|------------------|-------|
| SISM | N _{max} | 351.9 |
| | N _{min} | 201.7 |
| | T _{max} | 40.4 |

| | A2+M2 | ESER |
|------|------------------|-------|
| SISM | N _{max} | 274.0 |
| | N _{min} | 210.2 |
| | T _{max} | 38.2 |

Per quanto riguarda le sollecitazioni flettenti sulla testa del palo, il valore del momento massimo d'incastro in sommità può essere determinato tramite l'espressione

$$M_{\max} = T_{\max} * L_0/2$$

con L_0 lunghezza elastica del palo

Ponendo

| | | |
|---|---------|--------------------|
| ϕ palo = diametro del palo = | 120.0 | cm |
| K_w = modulo di Winkler del terreno = | 2 500 | t/m ³ |
| E_{cls} = modulo di elasticità del calcestruzzo | 314 472 | kg/cm ² |

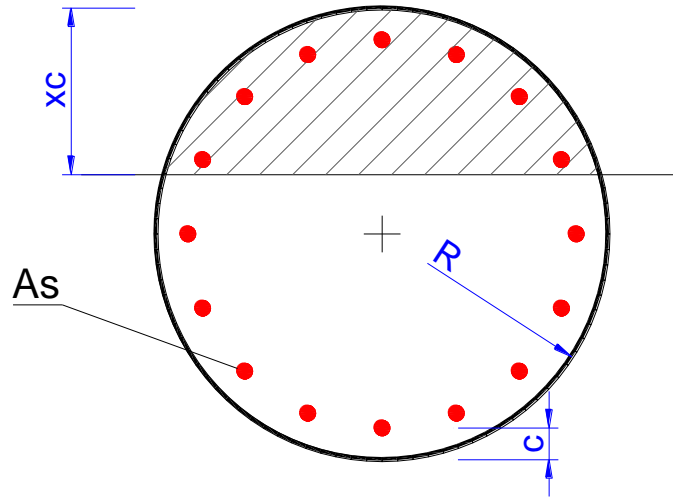
risulta

$$L_0 = 4.107 \text{ m}$$

da cui

| | A1+M1 | A2+M2 | |
|------------|-------|-------|-----|
| T_{\max} | 136.6 | 139.9 | t |
| M_{\max} | 280.4 | 287.3 | t*m |
| N_{\max} | 575.7 | 522.9 | t |
| N_{\min} | 38.0 | -62.9 | t |

Le verifiche strutturali secondo quanto riportato al paragrafo 6.4.3.1 delle NTC18 sono condotte nella combinazione A1+M1+R3



| Geometria della sezione | | |
|-------------------------|---|----|
| [cm] | | |
| Raggio | R | 60 |

| Sollecitazioni | | |
|----------------|------|-------|
| M | 2804 | [kNm] |
| N | 5757 | [kN] |

| Armatura As | | | |
|-------------|---------------|-------------------------|-----------------|
| n° ferri | Diametro [mm] | Area [cm ²] | copriferro [cm] |
| 36 | 24 | 162,86 | 7,5 |
| | 30 | 0,00 | 6 |
| | 36 | 0,00 | 3 |
| | | 162,86 | |

| Materiali | | | | | | | | |
|-----------|------------|---------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| C25/30 ▼ | γ_c | α_{cc} | Rck [Mpa] | fck [Mpa] | fcd [Mpa] | fcc/fcd | ϵ_{c2} | ϵ_{cu2} |
| | 1,5 | 0,85 | 30 | 25 | 14,2 | 1,0 | 0,200% | 0,350% |
| FeB32k ▼ | γ_s | Es [Mpa] | fyk [Mpa] | fyd [Mpa] | ϵ_{ys} | ϵ_{uk} | α_s | $\epsilon_{ud} = \epsilon_{uk} \alpha_s$ |
| | 1,15 | 200000 | 315 | 273,9 | 0,137% | 1,000% | 1 | 1,000% |

N costante

e costante

calcola

N ultimo
5757,0 [kN]

M ultimo
3291,3 [kNm]

xc
58,21 [cm]

FS
1,17



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

STRADA DELLE TRE VALLI UMBRE
Tratto Eggi-Acquasparta – 1° Stralcio Baiano-Firenzuola

PROGETTO DEFINITIVO

Inserto a relazione geotecnica

8.3.2 Verifica di resistenza della zattera

Unghia anteriore zattera

| | | |
|--|---------|-------|
| Reazione palo anteriore più caricato N_{palo} | 575.66 | t |
| Eccentricità reazione palo rispetto a sez. incastro unghia anteriore e | -0.30 | m |
| Larghezza collaborante sez. incastro b_{collab} | 0.9 | m |
| (momento positivo se tende le fibre inferiori della zattera) | | |
| Momento flettente palo ant. più caricato in sez. incastro M_{palo} | -191.89 | t*m/m |
| Momento flettente peso zattera in sez. incastro $M_{zattera}$ | -5.265 | t*m/m |
| Momento di verifica unghia anteriore zattera M_{ver} | -197.15 | t*m/m |

Segue la verifica a flessione semplice della sezione

| | | |
|---|---------------|--------------------|
| Altezza sezione | 180 | cm |
| Larghezza sezione | 100 | cm |
| Copriferro armatura compressa | 5 | cm |
| Copriferro armatura tesa | 5 | cm |
| Area armatura compressa | 27 | cm ² /m |
| Area armatura tesa | 53 | cm ² /m |
| Rck calcestruzzo | 300 | kg/cm ² |
| Modulo elastico caratteristico acciaio | 2 000 060 | kg/cm ² |
| Tensione caratt. snervamento acciaio | 4 400 | kg/cm ² |
| Deformazione massima calcestruzzo | 0.133 | % |
| Deformazione armatura tesa | 1.000 | % |
| Deformazione inizio snervamento acciaio | 0.191 | % |
| Momento ultimo sezione M_u | 342.13 | t*m/m |
| Precisione (Cu-Tu)/Tu | 0.147 | % |
| Momento di verifica M_{ver} | 197.15 | t*m/m |
| Coeff. sicurezza η | 1.74 | |
| Momento ultimo rottura bilanciata | 1 826.19 | t*m |
| Tipo di rottura | Duttile | |



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

STRADA DELLE TRE VALLI UMBRE
Tratto Eggi-Acquasparta – 1° Stralcio Baiano-Firenzuola

PROGETTO DEFINITIVO

Inserto a relazione geotecnica

Unghia posteriore zattera

Dimensione long. unghia posteriore a **8.2** m

Dimensione trasv. unghia posteriore b **11.45** m

Carico terreno portato q_{terreno} 18.00 t/m^2

Sovraccarico sul terreno q_s 2.00 t/m^2

Carico platea q_{platea} 4.50 t/m^2

K_v 0.249

Esercizio

$q_{\text{max,pali}} = \Sigma N_{\text{pali}}/(a*b)$ 32.06 t/m^2

$q_{\text{max,ver}} = q_{\text{terreno}} + q_s + q_{\text{platea}} - q_{\text{max,pali}}$ -7.56 t/m^2

$q_{\text{min,pali}} = \Sigma N_{\text{pali}}/(a*b)$ 20.80 t/m^2

$q_{\text{min,ver}} = q_{\text{terreno}} + q_s + q_{\text{platea}} - q_{\text{min,pali}}$ 3.70 t/m^2

Sisma

$q_{\text{max,pali}} = \Sigma N_{\text{pali}}/(a*b)$ 28.93 t/m^2

$q_{\text{max,ver}} = (q_{\text{terreno}} + q_{\text{platea}})*(1+K_v) - q_{\text{max,pali}}$ -0.83 t/m^2

$q_{\text{min,pali}} = \Sigma N_{\text{pali}}/(a*b)$ 11.51 t/m^2

$q_{\text{min,ver}} = (q_{\text{terreno}} + q_{\text{platea}})*(1-K_v) - q_{\text{min,pali}}$ 5.39 t/m^2

Inviluppo

$q_{\text{max,ver}}$ -7.56 t/m^2

$q_{\text{min,ver}}$ 5.39 t/m^2

coeff. Bares $\gamma = a/b$ 0.716

Verifica $q_{max,ver}$

(momento negativo se tende le fibre superiori)

| | | |
|---|--------|------|
| M_{yva} = M trasv. di bordo all'incastro muri di risvolto | 83.33 | t*/m |
| M_{xvs} = M longitudinale all'incastro muro frontale | 53.73 | t*/m |
| M_{yas} = M trasv. di bordo a centro lastra | -38.38 | t*/m |
| M_{xs} = M longitudinale a centro lastra | -9.22 | t*/m |

Segue il calcolo dell'armatura di verifica:

coeff. omogeneizzazione = 15

| Dati di calcolo | Arm. di verifica | sez. | H_p (cm) | c^{sup} (cm) | c^{inf} (cm) | A_f^{sup} (cm ² /m) | A_f^{inf} (cm ² /m) |
|-----------------|------------------|----------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Arm. trasversale | incastro | 180.00 | 5 | 5 | 31.4 | 31.4 |
| | Arm. longitud. | incastro | 180.00 | 7.5 | 7.5 | 31.4 | 31.4 |
| | Arm. trasversale | centro | 180.00 | 5 | 5 | 15.7 | 31.4 |
| | Arm. longitud. | centro | 180.00 | 7.5 | 7.5 | 15.7 | 31.4 |

| Risultati | Arm. di verifica | sez. | M_{ver} (t*/m) | M_u (t*/m) | coeff. sicurezz a | ϵ_{CLS} % | ϵ_a % |
|-----------|------------------|----------|---------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|
| | Arm. trasversale | incastro | 83.3 | 203.3 | 2.4 | 0.0920 | 1.0000 |
| | Arm. longitud. | incastro | 53.7 | 200.5 | 3.7 | 0.0980 | 1.0000 |
| | Arm. trasversale | centro | -38.4 | 102.6 | 2.7 | 0.0620 | 1.0000 |
| | Arm. longitud. | centro | -9.2 | 101.0 | 11.0 | 0.0680 | 1.0000 |

Verifica $q_{min,ver}$

(momento negativo se tende le fibre superiori)

| | | |
|---|--------|------|
| M_{yva} = M trasv. di bordo all'incastro muri di risvolto | -59.46 | t*/m |
| M_{xvs} = M longitudinale all'incastro muro frontale | -38.33 | t*/m |
| M_{yas} = M trasv. di bordo a centro lastra | 27.39 | t*/m |
| M_{xs} = M longitudinale a centro lastra | 6.58 | t*/m |

Segue il calcolo dell'armatura di verifica:

| Dati di calcolo | Arm. di verifica | sez. | H_p (cm) | c^{sup} (cm) | c^{inf} (cm) | A_f^{sup} (cm ² /m) | A_f^{inf} (cm ² /m) |
|-----------------|------------------|----------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Arm. trasversale | incastro | 180.00 | 5 | 5 | 31.4 | 31.4 |
| | Arm. longitud. | incastro | 180.00 | 7.5 | 7.5 | 31.4 | 31.4 |
| | Arm. trasversale | centro | 180.00 | 5 | 5 | 15.7 | 31.4 |
| | Arm. longitud. | centro | 180.00 | 7.5 | 7.5 | 15.7 | 31.4 |

| Risultati | Arm. di verifica | sez. | M_{ver} (t*/m) | M_u (t*/m) | coeff. sicurezz | ϵ_{CLS} % | ϵ_a % |
|-----------|------------------|----------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------------|-------------------|
| | Arm. trasversale | incastro | -59.5 | 203.3 | 3.4 | 0.0920 | 1.0000 |
| | Arm. longitud. | incastro | -38.3 | 200.5 | 5.2 | 0.0980 | 1.0000 |
| | Arm. trasversale | centro | 27.4 | 204.1 | 7.5 | 0.1030 | 1.0000 |
| | Arm. longitud. | centro | 6.6 | 199.8 | 30.4 | 0.1060 | 1.0000 |

8.3.3 Verifica a fessurazione della zattera

La verifica a fessurazione è implicitamente soddisfatta poiché in SLE le tensioni massime di trazione nelle armature sono inferiori a 160 MPa.