



## CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO –CALTANISSETTA–A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

### PROGETTO DEFINITIVO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

ATI:  
TECHNITAL s.p.a. (mandataria)  
S.I.S. Studio di Ingegneria Stradale s.r.l.  
DELTA Ingegneria s.r.l.  
INFRATEC s.r.l. Consulting Engineering  
PROGIN s.p.a.

I RESPONSABILI DI PROGETTO

*Dott. Ing. M. Raccosta*  
Ordine Ing. Verona n° A1665  
*Prof. Ing. A. Bevilacqua*  
Ordine Ing. Palermo n° 4058  
*Dott. Ing. M. Carlino*  
Ordine Ing. Agrigento n° A628  
*Dott. Ing. N. Troccoli*  
Ordine Ing. Potenza n° 836  
*Dott. Ing. S. Esposito*  
Ordine Ing. Roma n° 20837

IL GEOLOGO

INTEGRAZIONE PRESTAZIONI  
SPECIALISTICHE

*Dott. Ing. M. Raccosta*

VISTO:IL RESPONSABILE  
DEL PROCEDIMENTO

VISTO:IL RESPONSABILE DEL  
SERVIZIO PROGETTAZIONE

DATA

*Dott. Ing. Massimiliano Fidenzi*

*Dott. Ing. Antonio Valente*

PROTOCOLLO

## OPERE D'ARTE MAGGIORI – VIADOTTI OPERE SULL'ASSE PRINCIPALE

SVINCOLO CON A19 – RAMPE 1, 2, 3, 4

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO – PILE, SPALLE E FONDAZIONI

| CODICE PROGETTO |             | NOME FILE            | REVISIONE                   | FOGLIO                            | SCALA:                        |
|-----------------|-------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| L0407B D 0501   |             | P01VI15STRRE06 A.pdf | A                           | 01 di 01                          |                               |
| D               |             |                      |                             |                                   |                               |
| C               |             |                      |                             |                                   |                               |
| B               |             |                      |                             |                                   |                               |
| A               | EMISSIONE   | Ottobre 2006         | P. Polani                   | F. Arciuli                        | C. Marro                      |
| REV.            | DESCRIZIONE | DATA                 | VERIFICATO<br>RESP. TECNICO | CONTROLLATO<br>RESP. D'ITINERARIO | APPROVATO<br>RESP. DI SETTORE |

|  |     |
|--|-----|
| INTRODUZIONE .....   | 2   |
| 1. PREMESSA .....  | 3   |
| 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....                          | 5   |
| 3. MATERIALI .....   | 7   |
| 4.1 Generalità .....                                       | 8   |
| 4.2 Attribuzione delle classi d'esposizione .....          | 8   |
| 4.3 Composizione e proprietà dei calcestruzzi .....        | 9   |
| 5. CRITERI DI ANALISI DELLA SICUREZZA .....                | 10  |
| 6. LIVELLI DI SICUREZZA E COMBINAZIONI DEI CARICHI .....   | 10  |
| 7. SCHEMATIZZAZIONE DELLE AZIONI .....                     | 12  |
| 8. CARICHI SUGLI IMPALCATI .....                           | 12  |
| 9. MODELLAZIONE DELLE AZIONI .....                         | 15  |
| 10. MODELLAZIONE DEI MATERIALI .....                       | 16  |
| 11. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA E DEI VINCOLI .....       | 16  |
| 12. MECCANISMI DI RESISTENZA ALLE AZIONI ORIZZONTALI ..... | 16  |
| 13. CODICI DI CALCOLO .....                                | 17  |
| 13.1 Caratteristiche dell'elaborazione .....               | 17  |
| 13.2 Giudizio finale sulla accettabilità dei calcoli ..... | 17  |
| CALCOLO PILA 39 carr Sx .....                              | 18  |
| CALCOLO PILA 44 carr Sx .....                              | 41  |
| CALCOLO PILA 36 carr Dx .....                              | 70  |
| CALCOLO PILA 38 carr Dx .....                              | 100 |
| CALCOLO SPALLA B – Rampa 1 (fissa) .....                   | 129 |
| CALCOLO SPALLA C - Rampa 2 (mobile) .....                  | 175 |
| DIAGRAMMI DI PORTANZA DEI PALI .....                       | 221 |

# **INTRODUZIONE**

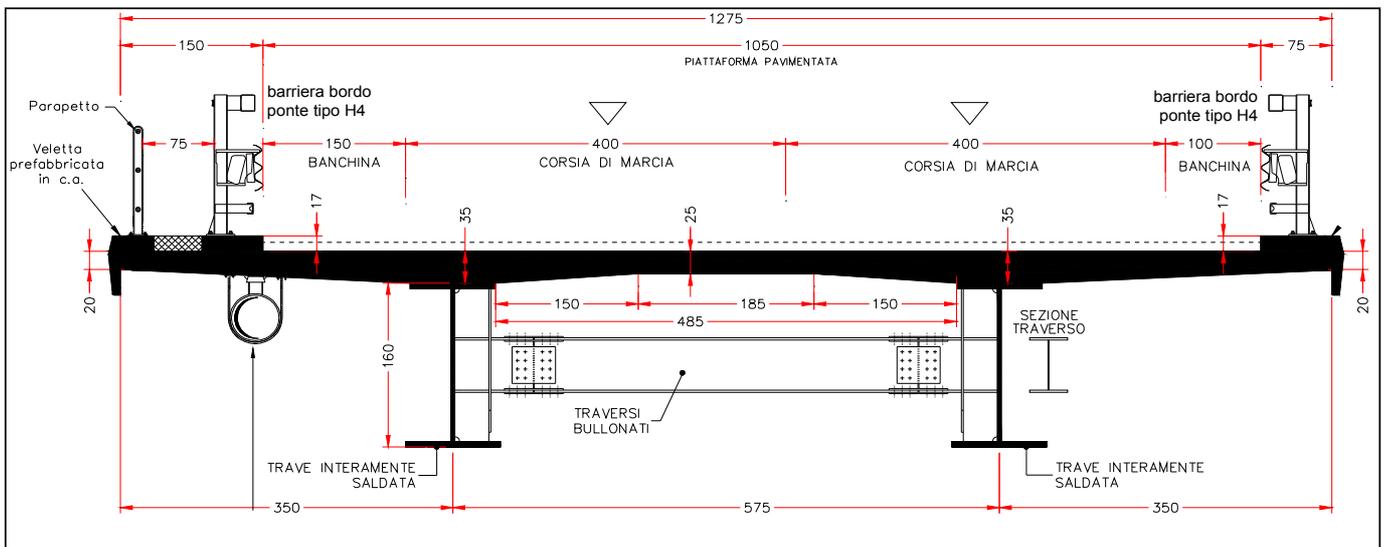
## 1. PREMESSA

Il presente calcolo riguarda le pile e le spalle in calcestruzzo armato normale che costituiscono il Viadotto Salso-Svincolo con A19 sulla S.S. 640 di Porto Empedocle. L'impalcato è trattato nella relazione di calcolo allegata.

L'opera comprende 4 rampe: dalla Pila 35 Sinistra alla Spalla B Sinistra (Rampa n°1- 8 campate), dalla Pila 43 Sinistra alla Spalla C Sinistra (Rampa n°2- 6 campate), dalla Pila 35 Destra alla Spalla C Destra (Rampa n°3- 7 campate), dalla Pila 40 Destra alla Spalla B Destra (Rampa n°4- 4 campate). Le campate della Rampa 2 sono suddivise in luci da 21/32/32/32/21 m. Quelle delle Rampe 1, 3 e 4 presentano invece luci variabili da 24 m fino a 43 m.

L'impalcato tipo delle rampe in oggetto è realizzato con 2 travi d'acciaio con sezione a "doppio T", di altezza pari a 1.60 m, con sovrastante soletta in cemento armato ordinario gettato in opera. L'impalcato presenta 3 diverse tipologie :

- Rampa 1 da P35 a P37 e Rampa 3 da P35 a P39 : larghezza totale di 12.75 m, con carreggiata pari a 10.50 m. In questo caso il getto integrativo della soletta sarà eseguito con l'ausilio di un cassero autovarante per uno spessore complessivo minimo di 25 cm e massimo di 35 cm in corrispondenza delle travi..



*Sezione trasversale della prima tipologia d'impalcato.*

- Rampe 2 e 3 da P43 a SC : larghezza totale di 9.50 m, con carreggiata pari a 6.50 m. In questo caso il getto integrativo della soletta sarà eseguito su lastre predalle per uno spessore costante di soletta pari a 31 cm.
- Rampa 1 da P38 a SB e Rampa 4 da P40 a SB: larghezza totale di 8.75 m, con carreggiata pari a 6.50 m. In questo caso il getto integrativo della soletta sarà eseguito su lastre predalle per uno spessore costante di soletta pari a 31 cm.

L'impalcato è completato da traversi correnti e da traversi pila-spalla di altezza variabile rispettivamente da 60 cm a 80 cm.

Lo schema strutturale è quello di trave continua su più appoggi intermedi (pile). Le pile hanno fusto a sezione circolare di diametro 3.50 m per le pile 35 sx÷37 sx, 35 dx÷37 dx e 39 dx, di diametro 3.00 m per la pila 38 dx e di diametro 2.70 m per le pile 38 sx÷48 sx e 40 dx÷44 dx. Le fondazioni sono su pali trivellati di diametro 1500 mm per le pile con fusto di diametro 3.50 m e 3.00 m e di 1200 mm per le pile con fusto di diametro 2.70 m e per le spalle.

Sono previsti appoggi in acciaio-teflon, multidirezionali e unidirezionali, disposti in modo tale da trasmettere le sollecitazioni longitudinali alle spalle B (sinistra e destra), in corrispondenza delle quali sono posizionati dei dispositivi di ritegno elastico. In corrispondenza delle pile 37 sx, 44 sx, 45 sx, 47 sx, 36 dx, 38 dx e 39 dx sono posizionati dei dispositivi di shock transmitter, i quali entrano in funzione per le sole azioni di natura impulsiva (frenamento e sisma). In corrispondenza delle pile 36 sx, 46 sx, 37 dx e 44 dx sono posizionati degli appoggi fissi. Le sollecitazioni trasversali sono suddivise uniformemente sulle pile e sulla spalla.

I viadotti in oggetto sono ubicati in zona sismica di 2<sup>a</sup> categoria.

Nel caso in esame verranno esaminate le pile 39 carreggiata sx, 44 carreggiata sx, 36 carreggiata dx, 38 carreggiata dx, la spalla B - Rampa 1 (fissa) e la spalla C - Rampa 2 (mobile)

## **2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO**

La progettazione degli elementi strutturali è stata condotta in conformità al quadro legislativo attualmente vigente in merito al dimensionamento delle strutture.

Si riportano nel seguito le leggi ed i regolamenti cui si è fatto riferimento nella progettazione delle opere trattate in questa relazione:

- Legge 5 Novembre 1971 n° 1086 – Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- Legge 2 Febbraio 1974, n°64 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- Circolare Min. LL.PP. 14 Febbraio 1974 n°11951 – Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica. Istruzioni per l'applicazione;
- Circolare Min. LL.PP. 9 Gennaio 1980 n°20049 – Legge 5-11-1971, n°1086 – Istruzioni relative ai controlli sul conglomerato cementizio adoperato per le strutture in cemento armato;
- CNR 10024-86 – Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.
- Circolare n°27996 del 31 Ottobre 1986 del Ministero dei LL.PP. - Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche;
- D.M. 11 Marzo 1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- Circolare Min. LL. PP. Del 24 Settembre 1988 n° 30483 – L. 2 Febbraio 1974, n. 64 – art. 1 D.M. 11 Marzo 1988- Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 4 Maggio 1990: "Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione la esecuzione ed il collaudo dei ponti stradali".
- Circolare 34233 del 25 Febbraio 1991 del Ministero dei Lavori pubblici, Presidenza del consiglio, Servizio tecnico Centrale: "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali".
- D.M. 14 Febbraio 1992 - Norme tecniche per la esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche;
- Circolare LL.PP. 37406/STC del 24 giugno 1993 "Legge 5 Nov. 1971" n. 1086 - Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in C.A. normale e precompresso e per le strutture metalliche, di cui al D.M. 14.02.1992;

- D.M. Min. LL.PP. 9 Gennaio 1996 – Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche;
- D.M. 16 Gennaio 1996 - Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi;
- D.M. Ministero LL.PP. del 16 Gennaio 1996 – Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;
- Circolare Min. LL.PP. 4 Luglio 1996, n. 156AA.GG./STC – Istruzione per l’applicazione delle “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi” di cui al D.M. 16 Gennaio 1996;
- Circolare Min. LL.PP. 15 Ottobre 1996 n. 252 AA.GG./S.T.C. – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al decreto ministeriale 9 Gennaio 1996;
- Circolare Min. LL.PP. 10 Aprile 1997 n°65 – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche” di cui al D.M. 16 Gennaio 1996”;

### 3. MATERIALI

Saranno utilizzati i seguenti materiali:

|   |                        |                  |
|---|------------------------|------------------|
| Calcestruzzo per sottofondazioni                    | $R_{ck} = 150$         | $\text{Kg/cm}^2$ |
| Calcestruzzo per pali                               | $R_{ck} = 400$         | $\text{Kg/cm}^2$ |
| Tensioni ammissibili:                               | $\sigma_c = 122,5$     | $\text{Kg/cm}^2$ |
|   | $\tau^{C_0} = 7,33$    | $\text{Kg/cm}^2$ |
|   | $\tau^{C_1} = 21,14$   | $\text{Kg/cm}^2$ |
| Modulo di elasticità CLS                            | $E_c = 360.000$        | $\text{Kg/cm}^2$ |
| Calcestruzzo per strutture di fondazione            | $R_{ck} = 400$         | $\text{Kg/cm}^2$ |
| Tensioni ammissibili:                               | $\sigma_c = 122,5$     | $\text{Kg/cm}^2$ |
|   | $\tau^{C_0} = 7,33$    | $\text{Kg/cm}^2$ |
|   | $\tau^{C_1} = 21,14$   | $\text{Kg/cm}^2$ |
| Modulo di elasticità CLS                            | $E_c = 360.000$        | $\text{Kg/cm}^2$ |
| Calcestruzzo per strutture in elevazione            | $R_{ck} = 400$         | $\text{Kg/cm}^2$ |
| Tensioni ammissibili:                               | $\sigma_c = 122,5$     | $\text{Kg/cm}^2$ |
|   | $\tau^{C_0} = 7,33$    | $\text{Kg/cm}^2$ |
|   | $\tau^{C_1} = 21,14$   | $\text{Kg/cm}^2$ |
| Modulo di elasticità CLS                            | $E_c = 360.000$        | $\text{Kg/cm}^2$ |
| Peso per unità di volume CLS                        | $\gamma_{cls} = 2,50$  | $\text{t/m}^3$   |
| Acciaio da cemento armato normale:                  |                        |                  |
| Barre ad aderenza migliorata, acciaio tipo Fe B 44K |                        |                  |
| Diametro minimo                                     | $\phi_{min} = 6$       | mm               |
| Diametro massimo                                    | $\phi_{max} = 26$      | mm               |
| Tensione caratteristica di snervamento              | $f_{yk} = 4.400$       | $\text{Kg/cm}^2$ |
| Tensione caratteristica di rottura                  | $f_{tk} = 5.500$       | $\text{Kg/cm}^2$ |
| Tensione ammissibile                                | $\sigma_{max} = 2.600$ | $\text{Kg/cm}^2$ |

## **4. DURABILITA' DEI CALCESTRUZZI**

### **4.1 Generalità**

Il calcestruzzo oltre ai requisiti di resistenza deve essere durevole, ovvero deve essere in grado di resistere in maniera soddisfacente alle condizioni ambientali e di lavoro cui è sottoposto durante la vita dell'opera. Nella presente sezione si valutano pertanto le caratteristiche dei calcestruzzi (resistenza caratteristica, dimensioni inerti, copriferri, ecc..) da impiegare per la realizzazione delle diverse parti dell'opera in oggetto tali da conseguire il requisito di durabilità richiesto.

### **4.2 Attribuzione delle classi d'esposizione**

In relazione alle classi di esposizione ambientale definite nella UNI EN 206-1 e nella UNI 11104, e in presenza di acque aggressive nella zona interessata dall'opera, sono state attribuite le classi di esposizione riportate nella seguente tabella

|   | Classe di esposizione | Descrizione dell'ambiente  |
|---|-----------------------|--|
| Pali e zattere di fondazione (Pile e Spalle).<br>Pile,<br>Elevazione<br>Spalle. | XA2                   | Chimicamente moderatamente aggressivo.<br>(Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi).  |
| Pulvini.  | XF2                   | Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante.<br>(Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti). |

*Attribuzione delle classi d'esposizione*

### 4.3 Composizione e proprietà dei calcestruzzi

Nella seguente tabella vengono riportati i requisiti previsti per calcestruzzi conformi alle classi di esposizione precedentemente attribuite ai vari elementi della struttura per garantire la durabilità dell'opera.

|   | Classe di Esposizione | Rapporto massimo a/c | Classe di resistenza minima | Contenuto minimo di cemento | Classe di consistenza | Copriferro minimo |
|---|-----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|
|   | (-)                   | (-)                  | (MPa)                       | (kg/m <sup>3</sup> )        | (-)                   | mm                |
| Pali e zattere di fondazione (Pile e Spalle).<br>Pile,<br>Elevazione<br>Spalle. | XA2                   | 0.50                 | C32/40                      | 340                         | S3-S4                 | 30                |
| Pulvini   | XF2                   | 0.50                 | C25/30                      | 340                         | S3-S4                 | 35                |

*Composizione e proprietà dei calcestruzzi*

Secondo normativa, gli inerti, naturali o di frantumazione, saranno costituiti da elementi non gelivi e non friabili, privi di sostanze organiche, limose ed argillose, di gesso, ecc.

Gli aggregati devono essere disposti lungo una corretta curva granulometrica, per assicurare il massimo riempimento dei vuoti interstiziali.

La granulometria inoltre dovrà essere studiata scegliendo il diametro massimo in funzione della sezione minima del getto, della distanza minima tra i ferri d'armatura e dello spessore del copriferro. La ghiaia o il pietrisco sono previsti di dimensioni massime commisurate alle caratteristiche geometriche della carpenteria del getto ed all'ingombro delle armature e tale valore è riportato sugli elaborati grafici nella relativa tabella dei materiali.

I copriferri adottati nella precedente tabella e riportati sugli elaborati grafici, nella relativa tavola materiali, sono stati determinati per garantire la durabilità richiesta ad opere di questa importanza.

## 5. CRITERI DI ANALISI DELLA SICUREZZA

Le verifiche di sicurezza sono state eseguite considerando i principi espressi dal metodo di calcolo alle tensioni ammissibili. Le strutture vengono dunque risolte schematizzando il calcestruzzo non reagente a trazione e assumendo un comportamento elastico lineare dei materiali; la verifica di sicurezza è quindi eseguita facendo un confronto tra le tensioni massime agenti nelle sezioni più sollecitate e quelle ammissibili per i materiali utilizzati.

Nel caso delle sollecitazioni sismiche, se si indicano con  $\alpha$  le sollecitazioni dovute al sisma convenzionale e con  $\alpha_p$  quelle dovute agli altri carichi agenti contemporaneamente, le tensioni di calcolo considerate ai fini della verifica, sono valutate considerando la combinazione di carichi che fornisce le sollecitazioni  $\alpha_p \pm \alpha$  più gravose.

## 6. LIVELLI DI SICUREZZA E COMBINAZIONI DEI CARICHI

La normativa attualmente vigente prescrive che le sollecitazioni nelle sezioni resistenti, quando le verifiche siano eseguite considerando il metodo delle tensioni ammissibili, saranno determinate mediante la sovrapposizione delle varie azioni agenti moltiplicate per coefficienti unitari.

In accordo con la normativa vigente in materia di ponti stradali, le combinazioni di carico previste sono:

|                       | <u>Azione gruppo</u> | $g_1$     | $g_2$ | $g_3$             | $\epsilon_1$ | $\epsilon_2$ | $\epsilon_3$ | $\epsilon_4$ | $\epsilon_5$ | $q_1$ | $q_2$    | $q_3$    | $q_4$ | $q_5$ | $q_6$ | $q_7$ | $q_8$ | $q_9$ |   |
|-----------------------|----------------------|-----------|-------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| <u>S.L. esercizio</u> | <b>A I</b>           | 1         | 1     | 1 ( $\beta_1$ )   | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 0     | 0        | 0        | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     |   |
|                       | <b>A II</b>          | 1         | 1     | 1 ( $\beta_1$ )   | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1     | 1        | 0        | 0     | 0.6   | 0     | 1     | 1     | 1     |   |
|                       | <b>A III</b>         | 1         | 1     | 1 ( $\beta_1$ )   | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1     | 1        | 1        | 0     | 0.2   | 0     | 1     | 1     | 1     |   |
|                       | <b>A IV</b>          | 1         | 1     | 1 ( $\beta_1$ )   | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1     | 1        | 0        | 1     | 0.2   | 0     | 1     | 1     | 1     |   |
|                       | <b>A V</b>           | 1         | 1     | 1 ( $\beta_1$ )   | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1     | 0        | 0        | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0 |
|                       | <b>F I</b>           | 1         | 1     | 1 ( $\beta_1$ )   | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1     | 0        | 0        | 0     | 0     | 0.4   | 0     | 0     | 0     | 0 |
|                       | <b>F II</b>          | 1         | 1     | 1 ( $\beta_1$ )   | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1     | $\phi_1$ | $\phi_1$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
|                       | <b>F III</b>         | 1         | 1     | 1 ( $\beta_1$ )   | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1     | $\phi_2$ | $\phi_1$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| <u>S.L. ultimi</u>    | <b>U I</b>           | 1.5 (1.0) |       | 1.5 ( $\beta_2$ ) | 1.2 (0.85)   | 1.2 (0)      |              |              |              | 0     | 0        | 0        | 0     | 1.5   | 0     | 1.5   | 1.5   |       |   |
|                       | <b>U II</b>          | 1.5 (1.0) |       | 1.5 ( $\beta_2$ ) | 1.2 (0.85)   | 1.2 (0)      |              |              |              | 1.5   | 1.5      | 0        | 0     | 0.9   | 0     | 1.5   | 1.5   |       |   |
|                       | <b>U III</b>         | 1.5 (1.0) |       | 1.5 ( $\beta_2$ ) | 1.2 (0.85)   | 1.2 (0)      |              |              |              | 1.5   | 1.5      | 1.5      | 0     | 0.3   | 0     | 1.5   | 1.5   |       |   |
|                       | <b>U IV</b>          | 1.5 (1.0) |       | 1.5 ( $\beta_2$ ) | 1.2 (0.85)   | 1.2 (0)      |              |              |              | 1.5   | 1.5      | 0        | 1.5   | 0.3   | 0     | 1.5   | 1.5   |       |   |

$$\beta_1 = 0.7 - \beta_2 = 0.5$$

Combinazioni di carico

Dove:

$g_1$  : peso proprio delle strutture

$g_2$  : carichi permanenti portati (pavimentazione, marciapiedi, finiture stradali, etc.)

$g_3$  : altre azioni permanenti (spinta delle terre, etc.)

$\varepsilon_1$  : distorsioni e presollecitazioni di progetto

$\varepsilon_2$  : ritiro

$\varepsilon_3$  : variazioni termiche

$\varepsilon_4$  : viscosità

$\varepsilon_5$  : cedimenti vincolari

$q_1$  : carichi mobili

$q_2$  : incremento dinamico di carichi mobili

$q_3$  : azione longitudinale di frenatura

$q_4$  : azione centrifuga

$q_5$  : azione del vento

$q_6$  : azioni sismiche

$q_7$  : resistenze parassite dei vincoli

$q_8$  : urto di veicoli in svio

$q_9$  : altre azioni variabili

## **7. SCHEMATIZZAZIONE DELLE AZIONI**

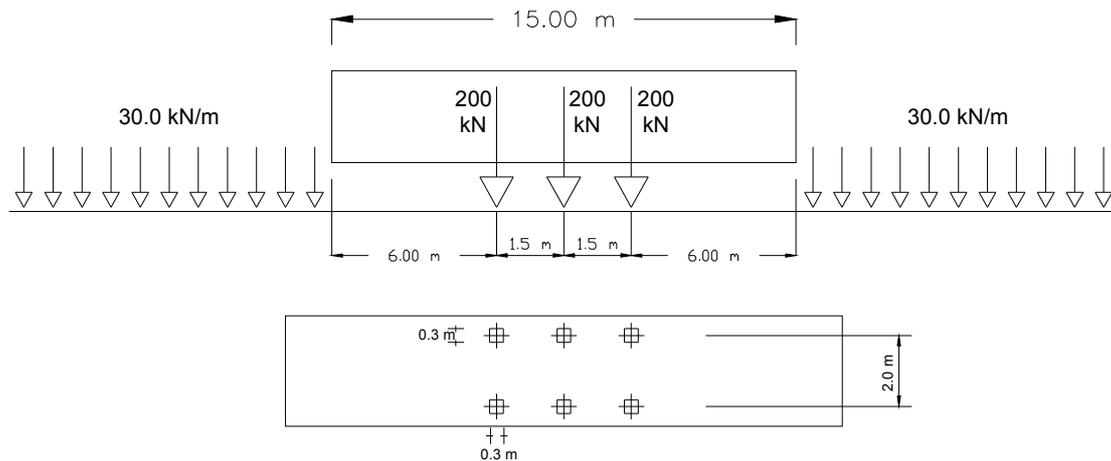
Il calcolo delle azioni agenti sulle varie sottostrutture costituenti le opere di cui si tratta, è stato svolto secondo le prescrizioni impartite dalla normativa vigente in materia e già citata nella parte introduttiva della relazione. Sono stati considerati quindi i carichi permanenti determinati dal peso proprio delle strutture e dal peso degli allestimenti fissi presenti. I carichi accidentali presi in considerazione sono quelli derivanti dalle istruzioni tecniche in merito ai carichi mobili agenti sui ponti, le azioni del vento e le forze sismiche impresse dal terremoto di progetto.

## **8. CARICHI SUGLI IMPALCATI**

### **Carichi mobili (q1)**

Questi sono i carichi stabiliti convenzionalmente dalla normativa specifica per il calcolo dei ponti. I carichi vanno applicati su una corsia avente un ingombro trasversale stabilito in 3,50m. Nel caso specifico la larghezza totale della sede stradale consente la disposizione di tre colonne; pertanto, come prescrive la normativa, sono stati previsti i carichi della seconda e terza colonna pari rispettivamente al 50% e al 35% del valore assunto per quelli della colonna principale.

|   |       |     |
|---|-------|-----|
| Carico $q_{1a}$ : mezzo convenzionale a tre assi: .....       | 60,00 | t   |
| Carico $q_{1b}$ : carico ripartito:.....                      | 3,00  | t/m |
| Carico $q_{1a} * 50\%$ : mezzo convenzionale a tre assi:..... | 30,00 | t   |
| Carico $q_{1b} * 50\%$ : carico ripartito: .....              | 1,50  | t/m |
| Carico $q_{1a} * 35\%$ : mezzo convenzionale a tre assi:..... | 21,00 | t   |
| Carico $q_{1b} * 35\%$ : carico ripartito: .....              | 1,05  | t/m |



### **Incremento dinamico (q<sub>2</sub>)**

Il coefficiente dinamico viene calcolato con la seguente relazione:

$$f = 1,4 - \frac{(L-10)}{150}$$

In cui L è la luce di calcolo dell'impalcato considerato.

Pertanto nel caso specifico, essendo la luce di calcolo pari a 43.00 m, si ha:

- f ..... 1,18

### **Azione longitudinale di frenamento (q<sub>3</sub>)**

L'azione di frenamento deve essere pari ad 1/10 della intensità della singola colonna di carico più pesante agente per ciascuna carreggiata e, comunque, non essere inferiore al 20% del carico totale q<sub>1a</sub> che al massimo può interessare la struttura. Considerando la presenza di tre colonne di carico, il valore minimo di riferimento vale quindi:

$$F_f \text{ min} = 0.2 \times 60 \times 1.85 = 22,2 \text{ t}$$

Il peso totale della colonna di carico di intensità maggiore che può agire sulla struttura, vale (in tonnellate):

$$P_c = 60 + 3 \times (L_{\text{tot}} - 9)$$

in cui L<sub>tot</sub> è la lunghezza totale degli impalcati del viadotto.

### **Azione centrifuga (q<sub>4</sub>)**

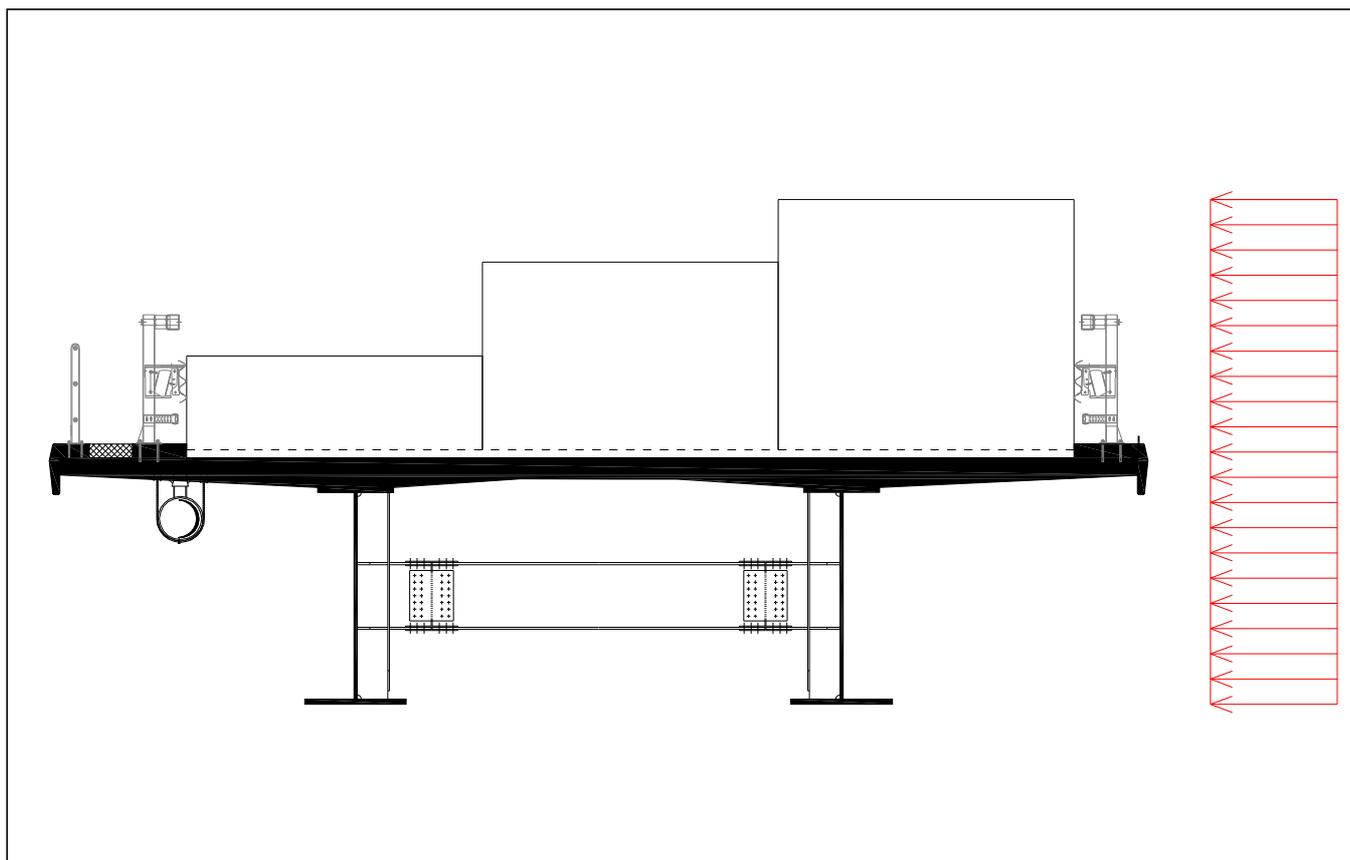
L'azione centrifuga in funzione del raggio R (in metri) si valuta convenzionalmente per ogni colonna di carico pari a:

$$F_c = 30/R \quad (\text{t/m})$$

ed è considerata agente ad 1.00 m di altezza rispetto al piano viabile.

### **Azione del vento (q5)**

L'azione del vento è riconducibile ad un carico orizzontale uniforme di 250 kg/m<sup>2</sup>, diretto ortogonalmente all'asse longitudinale del ponte, agente sulla proiezione, nel piano verticale, delle superfici direttamente investite dal vento. La superficie dei carichi transitanti sul ponte esposta al vento è assimilata ad una parete rettangolare continua di altezza costante pari a 3,00 m dalla pavimentazione stradale.



*Azione del vento sull'impalcato.*

### **Azione del sisma (q6)**

La forza sismica è calcolata in due differenti modi per le strutture destinate ad assorbire le forze sismiche e per i sistemi di vincolo delle travi sulla spalla fissa. La azione sismica longitudinale, come precisato precedentemente, è trasmessa, attraverso la continuità strutturale dei vari impalcato, alla spalla o alle pile fisse attraverso i vincoli disposti in corrispondenza di quest'ultime.

Il metodo seguito per la determinazione della forza sismica è quello semplificato di tipo statico, quindi è stata calcolata la forza di inerzia, funzione dei soli carichi permanenti agenti sull'impalcato utilizzando l'espressione:

$$F_h = C \cdot R \cdot I \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot W$$

essendo:

$C = (S-2)/100=0.07$       coefficiente di intensità sismica;

$R = 1$       coefficiente di risposta;

$I = 1.2$       coefficiente di protezione sismica;

$\beta = 1.2$       coefficiente di struttura nel caso delle sottostrutture;

$\beta = 2,5$       coefficiente di struttura nel caso di appoggi e ritegni sismici;

$\varepsilon = 1.2$       coefficiente di fondazione;

$W$       peso proprio e carichi permanenti degli impalcati;

Pertanto l'azione sismica orizzontale, per le sottostrutture, vale:

- per zone classificate con grado di sismicità  $S = 9$  si ha  $C = 0.07$  e quindi:

$$F_h = 0,07 \times 1.2 \times 1.2 \times 1.2 \times W = 0.12096 \times W$$

### **Resistenze parassite dei vincoli (q7)**

Sono dovute essenzialmente alle forze d'attrito esercitate dagli apparecchi d'appoggio in occasione dei movimenti dell'impalcato dovuti a fenomeni viscosi, di ritiro o termici, sia giornalieri che stagionali. Come le forze sismiche, sono funzione dei carichi permanenti e si scaricano direttamente sui vincoli fissi attraverso la trave continua. Assumendo un coefficiente di attrito pari a 0.03 si ottiene per la forza derivante dalle resistenze vincolari parassite:

$$F_a = 0.03 \times W$$

## **9. MODELLAZIONE DELLE AZIONI**

Sulla base delle analisi dei carichi eseguite, i carichi mobili sono stati applicati in diverse posizioni, al fine di determinare le massime sollecitazioni per gli elementi strutturali costituenti il manufatto.

## **10. MODELLAZIONE DEI MATERIALI**

Considerando che la verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita secondo il metodo delle tensioni ammissibili, il diagramma costitutivo del calcestruzzo è del tipo lineare perfettamente elastico con valore massimo della tensione pari al valore ammissibile. Un diagramma perfettamente simile è stato assunto per l'acciaio delle armature. Il calcolo dei momenti flettenti resistenti è stato eseguito basandosi sull'ipotesi fondamentale che le sezioni, durante le deformazioni, si mantengono piane; vista la proporzionalità tra le deformazioni e le tensioni, le distribuzioni delle tensioni lungo le sezioni saranno quindi di tipo triangolare.

## **11. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA E DEI VINCOLI**

Lo schema statico adottato per il calcolo dell'impalcato è quello di trave continua con luci pari agli interassi degli appoggi. L'analisi strutturale è effettuata sull'impalcato soggetto al peso proprio, ai sovraccarichi permanenti e ai carichi mobili su di esso agenti.

Dalle sollecitazioni agenti al piede delle pile ed al piede delle spalle, è stato possibile determinare le azioni agenti in corrispondenza di ogni singolo palo assumendo infinitamente rigido il blocco di fondazione posto in testa alle palificate. Pertanto i carichi sui singoli pali sono risultati proporzionali alle eccentricità di ogni palo rispetto agli assi principali baricentrici della palificata.

## **12. MECCANISMI DI RESISTENZA ALLE AZIONI ORIZZONTALI**

Secondo quanto descritto nei paragrafi precedenti, le azioni longitudinali orizzontali di natura impulsiva, giacenti quindi nel piano dell'impalcato, sono trasferite alle spalle o alle pile fisse del viadotto, mentre le azioni trasversali si ipotizzano ripartite sulle pile e sulle spalle in proporzione ai carichi verticali direttamente agenti.

## **13. CODICI DI CALCOLO**

### **13.1 Caratteristiche dell'elaborazione**

Tutte le analisi strutturali sono state eseguite su di una workstation dedicata avente le seguenti caratteristiche tecniche:

|                                   |                       |
|-----------------------------------|-----------------------|
| T 1.Tipo                          | Pentium IV 3000Mhz    |
| T 2.Memoria centrale              | 1024 Mb;              |
| T 3.Lunghezza in bit della parola | 32 bit;               |
| T 4.Memoria di massa              | 1 Hard disk da 80 Gb. |

Il programma è stato realizzato in ambiente di programmazione Visual Basic con variabili di tipo a doppia precisione.

### **13.2 Giudizio finale sulla accettabilità dei calcoli**

Si ritiene che i risultati ottenuti dalla elaborazione siano accettabili e che le ipotesi poste alla base della formulazione del modello matematico siano valide come dimostrato dal comportamento dei materiali.

## CALCOLO PILA 39 carr Sx

### GEOMETRIA DELLA PILA

Di seguito si riportano i principali parametri geometrici della pila e degli impalcati ad essa appoggiati:

#### **### ZATTERA**

|  |      |   |
|--|------|---|
| Altezza $h_{zattera}$                  | 2.00 | m |
| Dimensione longitudinale $L_{long}$    | 6.20 | m |
| Dimensione trasversale $L_{trasv}$     | 9.20 | m |
| Profondità intradosso zattera dal p.c. | 5.80 | 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 $h_{bagg}$   | 0.40 | m |
| Pulvino $h_{pulvino}$ | 2.53 | m |
| Fusto pila $h_{pila}$ | 8.97 | m |

#### ***Sezioni in pianta***

|                                 |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|
| Baggiolo $A_{bagg}$             | 1.56  | $m^2$ |
| n° totale baggioli              | 2     |       |
| Valore medio pulvino $A_{m,pl}$ | 19.52 | $m^2$ |
| Fusto pila $A_{pila}$           | 5.73  | $m^2$ |

#### ***Baricentri***

|  |      |   |
|--|------|---|
| Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino       | 1.10 | m |
| Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila | 4.49 | m |

#### ***Momenti d'inerzia***

|   |      |       |
|---|------|-------|
| Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv. | 2.61 | $m^4$ |
|---|------|-------|

#### ***Prospetti longitudinali***

|  |      |   |
|--|------|---|
| Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$              | 2.70 | m |
| Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino | 1.27 | m |
| Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$                 | 2.70 | m |
| Altezza fusto pila dal p.c.                          | 5.17 | m |
| Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.         | 2.59 | m |

## **AZIONI SULLA FONDAZIONE DELLA PILA**

Le azioni caratteristiche agenti sulla spalla sono le seguenti:

### ***AZIONI VERTICALI D'ESERCIZIO***

- ### Carichi permanenti
- ### Carichi accidentali mobili (automezzi e folla)

### ***AZIONI ORIZZONTALI D'ESERCIZIO***

#### ***TRASVERSALI***

- ### Vento trasversale sull'impalcato (Imp. scarico e carico)
- ### Azione centrifuga per carichi mobili

#### ***LONGITUDINALI***

- ### Azione longitudinale di frenatura
- ### Resistenza parassita dei vincoli

### ***AZIONI SISMICHE***

- ### Sisma longitudinale e trasversale sulla pila

Le azioni verranno nel seguito distinte tra azioni trasmesse dall'impalcato agli appoggi (e quindi agenti a quota estradosso pulvino, nel baricentro di questo) e azioni derivanti dal peso proprio degli elementi della pila.

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 convenzionalmente assunto come destro, l'asse x secondo la direzione longitudinale dell'impalcato, con il verso che va da sx a dx e l'asse z orientato verso il basso.

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

## **AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO**

Riferendosi alla quota estradosso del pulvino e al baricentro dello stesso si ottengono le azioni di progetto elencate nel proseguo della presente relazione.

### **AZIONI VERTICALI**

#### **### CARICHI PERMANENTI**

Il peso proprio dell'impalcato gravante sugli appoggi della pila, come risulta dai calcoli svolti nella specifica relazione, risulta essere pari a:

$$N_{app} = 476.46 \quad t$$

### ### RITIRO

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

$$N_{\text{ritiro}} = 13.15 \text{ t}$$

### ### GRADIENTE TERMICO

Si considera un gradiente termico pari a

$$\Delta T = 10 \text{ }^\circ \text{ (soletta più calda)}$$

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

$$N_{\Delta T} = -10.74 \text{ t}$$

### ### CARICHI ACCIDENTALI

Saranno ora analizzati gli effetti globali sull'impalcato trasmessi dai carichi accidentali. Per la verifica della pila, si considerano due distinte condizioni di carico: la prima che massimizza il carico verticale N e la seconda che massimizza il momento trasversale  $M_t$ .

Si ricavano per ciascuna disposizione di carichi accidentali i valori del carico verticale e del momento trasversale totali, rispetto al baricentro del pulvino (quota estradosso)

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

Si ricavano di seguito per ciascuna disposizione di carichi accidentali i valori del carico verticale e del momento trasversale totali, rispetto all'estradosso del pulvino e al baricentro dello stesso, ricordando che si assumono i momenti antiorari positivi, nel riferimento cartesiano assunto.

*DISP. 1* Max carico verticale N

In totale per la disposizione 1 si ha:

$$\begin{array}{ll} N & 255.27 \text{ t} \\ M_t & 234.00 \text{ t*m} \end{array}$$

DISP. 2 Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

|       |        |     |
|-------|--------|-----|
| N     | 170.18 | t   |
| $M_t$ | 340.37 | t*m |

**AZIONI ORIZZONTALI**

**### AZIONI TRASVERSALI**

**Vento trasversale sull'impalcato**

Si considera il seguente carico di riferimento :

$$q_{\text{vento}} = 0.025 \text{ kg/cm}^2$$

Vengono analizzate due distinte situazioni di carico:

- 1) Vento trasversale con impalcato scarico
- 2) Vento trasversale con impalcato carico

Per la condizione di impalcato carico, si dovrà applicare il coefficiente moltiplicativi  $K_w$  pari a 0,6:

La forza orizzontale  $H_t$  e il momento trasversale  $M_t$  risultano pari a

(1) Impalcato scarico

| $H_t$<br>(t) | $M_t$<br>(t*m) |
|--------------|----------------|
| 26.16        | 29.43          |

(2) Impalcato carico

|           | $H_t$<br>(t) | $M_t$<br>(t*m) |
|-----------|--------------|----------------|
| $K_w=0,6$ | 31.14        | 75.91          |

### **### AZIONI LONGITUDINALI**

#### **Frenatura**

La forza è applicata lungo l'asse longitudinale e agisce a livello della pavimentazione. Essendo gli appoggi della pila mobili, la forza di frenatura non si trasmette alla pila e si scarica completamente sulla spalla che ha vincoli fissi nei confronti di forze di natura impulsiva.

#### **Resistenza parassita dei vincoli**

Gli appoggi sono in acciaio e PTFE, ed il coefficiente di attrito assunto è pari a  $k_{att} = 0,03$ .

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 14.29 \text{ t}$$

### **AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO IN CONDIZIONI DI SISMA**

Le azioni sismiche si dividono in azioni orizzontali e azioni verticali  
Il calcolo delle azioni sismiche viene svolto con l'analisi statica equivalente

#### **Forza sismica orizzontale**

$$H_s = K_h * W_h$$

dove

$$K_h = C * R * \varepsilon * \beta * I$$

$W_h$

S

$$C = (S - 2) / 100$$

$$R = 1.00$$

$$\varepsilon = 1.20$$

$$\beta = 1.20$$

$$I = 1.20$$

CARICHI PERMANENTI

grado di sismicità

coefficiente di intensità sismica

coefficiente di risposta ( $T_0 < 0.8 \text{ s}$ )

coefficiente di fondazione

coefficiente di struttura ISOSTATICA

coefficiente di protezione sismica

#### **Forza sismica verticale**

$$N_s = K_v * W_v$$

dove

$$K_v = m * C * I$$

$W_v$

S

$$C = (S - 2) / 100$$

$$m = 2.00$$

$$I = 1.20$$

CARICHI PERMANENTI

grado di sismicità

coefficiente di intensità sismica

coefficiente verticale

coefficiente di protezione sismica

| S | C    | K <sub>h</sub> | K <sub>v</sub> |
|---|------|----------------|----------------|
| 9 | 0.07 | 0.1210         | 0.1680         |

Rispetto all'asse dell'impalcato, il sisma può essere trasversale o longitudinale.

### ### SISMA TRASVERSALE

Per il sisma trasversale i carichi permanenti  $W_h$  e  $W_v$  si riducono al peso dell'impalcato sulla pila

$N_{app}$

$$W=W_h=W_v=N_{app}$$

Per il sisma trasversale si calcola, oltre alla forza orizzontale risultante, anche il momento trasversale risultante di tale forza rispetto agli appoggi.

Indicando con  $h_{bar,p}$  l'altezza del baricentro dei carichi permanenti (punto dove risulta applicata la forza sismica orizzontale) rispetto alla quota di estradosso del pulvino, si ha per il momento trasversale dovuto al sisma

$$M_{s,t} = H_{s,t} * h_{bar,p}$$

Si indica poi con  $\Delta N_{s,t}$  la forza sismica verticale.

$$h_{bar,p} = 1.04 \text{ m}$$

| W<br>(t) | Orizzont.               |                           | Vert.                    |
|----------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
|          | H <sub>s,t</sub><br>(t) | M <sub>s,t</sub><br>(t*m) | ΔN <sub>s,t</sub><br>(t) |
| 476.46   | 57.63                   | 59.65                     | 80.05                    |

### ### SISMA LONGITUDINALE

Visto lo schema di appoggi adottato, l'azione orizzontale derivante dal sisma longitudinale non si trasmette dall' impalcato alla pila.

## COMBINAZIONI DI CARICO DELLE AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

In accordo con quanto contenuto nel D.M. 4.5.90 si individuano tre gruppi di carico.

|                  | Azione gruppo | COEFFICIENTI MOLTIPLICATIVI |             |       |       |       |              |
|------------------|---------------|-----------------------------|-------------|-------|-------|-------|--------------|
|                  |               | Perm.                       | Acc. dinam. | Fren. | Vento | Sisma | Attrito app. |
| Viadotto scarico | A I           | 1.00                        | 0.00        | 0.00  | 1.00  | 0.00  | 1.00         |
| C.N.E.+ vento    | A II          | 1.00                        | 1.00        | 0.00  | 0.60  | 0.00  | 1.00         |
| Cond. sismica    | A V           | 1.00                        | 0.00        | 0.00  | 0.00  | 1.00  | 0.00         |

In precedenza, per ciò che attiene alla disposizione dei carichi accidentali, si sono esaminate 4 distinte condizioni di carico.

Correlando allora questi carichi accidentali con le altre azioni esterne, avremo le seguenti combinazioni.

| COMB. | AZ. GR. | CARICHI   | Az. prev. |
|-------|---------|---|-----------|
| 1     | A I     | Perm. + Vento (1) * 1.0 + Attr. * 1.0                 | Imp. sc.  |
| 2     | A II    | Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (2) * 0.6 + Attr. * 1.0  | Ven. tr.  |
| 3     | A II    | Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (2) * 0.6 + Attr. * 1.0  | Ven. tr.  |
| 4     | A V     | Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale positiva | Sism. T   |
| 5     | A V     | Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale negativa | Sism. T   |

Si determinano allora le azioni di progetto riferite alla quota degli appoggi.

COMB. 1 Perm. + Vento (1) \* 1.0 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto    | N (t)  | H <sub>l</sub> (t) | H <sub>t</sub> (t) | M <sub>l</sub> (t*m) | M <sub>t</sub> (t*m) |
|-----------------|--------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Permanenti      | 478.87 | 0.00               | 0.00               | 0.00                 | 0.00                 |
| Vento (1) * 1.0 | 0.00   | 0.00               | 26.16              | 0.00                 | 29.43                |
| Attrito * 1.00  | 0.00   | 14.29              | 0.00               | 0.00                 | 0.00                 |
| TOT             | 478.87 | 14.29              | 26.16              | 0.00                 | 29.43                |

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (2) \* 0.6 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N (t)  | H <sub>l</sub> (t) | H <sub>t</sub> (t) | M <sub>l</sub> (t*m) | M <sub>t</sub> (t*m) |
|------------------|--------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Permanenti       | 478.87 | 0.00               | 0.00               | 0.00                 | 0.00                 |
| Acc. disp. 1     | 255.27 | 0.00               | 0.00               | 0.00                 | 234.00               |
| Vento (2) * 0.60 | 0.00   | 0.00               | 31.14              | 0.00                 | 75.91                |
| Attrito * 1.00   | 0.00   | 14.29              | 0.00               | 0.00                 | 0.00                 |
| TOT              | 734.15 | 14.29              | 31.14              | 0.00                 | 309.91               |

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (2) \* 0.6 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t)      | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 478.87        | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 2     | 170.18        | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 340.37                  |
| Vento (2) * 0.60 | 0.00          | 0.00                  | 31.14                 | 0.00                    | 75.91                   |
| Attrito * 1.00   | 0.00          | 14.29                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| <b>TOT</b>       | <b>649.06</b> | <b>14.29</b>          | <b>31.14</b>          | <b>0.00</b>             | <b>416.28</b>           |

COMB. 4 Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale positiva

| Az. progetto        | N<br>(t)      | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|---------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti          | 478.87        | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. trasv. | 0.00          | 0.00                  | 57.63                 | 0.00                    | 59.65                   |
| Sisma vert. +       | 80.05         | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| <b>TOT</b>          | <b>558.92</b> | <b>0.00</b>           | <b>57.63</b>          | <b>0.00</b>             | <b>59.65</b>            |

COMB. 5 Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale negativa

| Az. progetto        | N<br>(t)      | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|---------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti          | 478.87        | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. trasv. | 0.00          | 0.00                  | 57.63                 | 0.00                    | 59.65                   |
| Sisma vert. -       | -80.05        | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| <b>TOT</b>          | <b>398.83</b> | <b>0.00</b>           | <b>57.63</b>          | <b>0.00</b>             | <b>59.65</b>            |

Si riepilogano ora tutte le combinazioni esaminate, avendo l'accortezza di separare gli effetti del sisma orizzontale e di quello verticale per la verifica delle strutture che formano la pila in oggetto. Difatti per questi elementi verrà applicata la regola che prescrive la composizione quadratica delle due azioni.

| AZIONI A QUOTA ESTRADOSSO PULVINO |          |                       |                       |                         |                         |        |
|-----------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------|
| COMB.                             | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |        |
| 1                                 | 478.87   | 14.29                 | 26.16                 | 0.00                    | 29.43                   | Cond.  |
| 2                                 | 734.15   | 14.29                 | 31.14                 | 0.00                    | 309.91                  | Norm.  |
| 3                                 | 649.06   | 14.29                 | 31.14                 | 0.00                    | 416.28                  | Eserc. |

|         |     |        |      |       |      |       |                 |
|---------|-----|--------|------|-------|------|-------|-----------------|
| Perm.   | 4.5 | 478.87 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00  | Sisma<br>Trasv. |
| Vert. + | 4   | 80.05  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00  |                 |
| Vert. - | 5   | -80.05 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00  |                 |
| Orizz.  | 4.5 | 0.00   | 0.00 | 57.63 | 0.00 | 59.65 |                 |

## AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA PILA IN CONDIZIONI NORMALI

Ricordando la geometria della pila delineata nel cap. 4, e indicando con  $e_{v,N}$  le altezze del baricentro rispettivamente di pulvino e fusto pila rispetto all'estradosso della zattera, si ha:

|            | <b>N<br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> |
|------------|------------------|-------------------------------------|
| Pulvino    | 123.46           | 10.07                               |
| Fusto pila | 128.41           | 4.49                                |
|            | 251.87           | 7.22                                |

### ### VERIFICA DI SNELLEZZA DELLA PILA

La snellezza  $\lambda$  della pila è pari a:

$$\lambda = L_0 / i$$

con  $i = (J/A)^{0,5}$  raggio d'inerzia della sezione e  $L_0$  lunghezza libera d'inflessione  
Nel caso in esame risulta:

$$\lambda = 34.07$$

## AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA PILA IN CONDIZIONI DI SISMA

Si ricorda che risulta

| <b>S</b> | <b>C</b> | <b><math>K_h</math></b> | <b><math>K_v</math></b> |
|----------|----------|-------------------------|-------------------------|
| 9        | 0.07     | 0.1210                  | 0.1680                  |

Le azioni si calcolano riportate a quota estradosso zattera.

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

|            | <b><math>H_t</math><br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> | <b><math>M_t</math><br/>(t*m)</b> |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Pulvino    | 14.93                           | 10.07                               | 150.39                            |
| Fusto pila | 15.53                           | 4.49                                | 69.66                             |
|            | 30.47                           |                                     | 220.05                            |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dalla pila alla zattera, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti nel baricentro della pila, quota estradosso zattera, si ha:

| <i>Az. progetto</i>               | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>i</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>i</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|-----------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Peso proprio pila (fusto+pulvino) | 251.87           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Sisma trasv. orizzontale          | 0.00             | 0.00                         | 88.10                        | 0.00                           | 942.47                         |
| Sisma vert. + Incr. peso          | 42.31            | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Sisma vert. - Decr. peso          | -42.31           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |

### **AZIONI DOVUTE AL VENTO**

La pressione di riferimento esercitata dal vento, come già visto sopra, è pari a

$$q_{\text{vento}} = 0.025 \text{ kg/cm}^2$$

### **### VENTO TRASVERSALE**

La sezione resistente  $A_r$  della pila è pari all'area del prospetto longitudinale del fusto pila e del pulvino

$$A_r = 20.79 \text{ m}^2$$

La risultante della pressione del vento è applicata ad una distanza  $h_{\text{vento}}$  dall'estradosso della zattera pari a:

$$h_{\text{vento}} = 3.85 \text{ m}$$

Risulta dunque, calcolando il momento trasversale  $M_t$  rispetto alla quota di estradosso della zattera

| <b>q<sub>vento</sub><br/>(t/m<sup>2</sup>)</b> | <b>A<sub>r</sub><br/>(m<sup>2</sup>)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>h<sub>vento</sub><br/>(m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|--|--|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 0.25   | 20.79                                    | 5.20                         | 3.85                             | 20.01                          |

### **COMBINAZIONI DI CARICO DI TUTTE LE AZIONI AGENTI SULLA ZATTERA**

Per poter sommare le azioni provenienti dall'impalcato a quelle dovute al peso proprio, è necessario riportare innanzitutto le azioni trasmesse dall'impalcato al baricentro della pila, quota estradosso zattera, rispetto a dove sono state calcolate le azioni relative al peso proprio.

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.

$$e_v = -11.50 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

| Azioni impalcato rispetto baric. pila (estradosso zattera) |                  |                              |                              |                                |                                |                          |
|--|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| <b>COMB.</b>   | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |                          |
| 1  | 478.87           | 14.29                        | 26.16                        | -164.38                        | 330.28                         | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2  | 734.15           | 14.29                        | 31.14                        | -164.38                        | 667.97                         |                          |
| 3  | 649.06           | 14.29                        | 31.14                        | -164.38                        | 774.33                         |                          |

|                |     |        |      |       |      |        |                 |
|----------------|-----|--------|------|-------|------|--------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 4.5 | 478.87 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00   | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 4   | 80.05  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00   |                 |
| <i>Vert. -</i> | 5   | -80.05 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00   |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 4.5 | 0.00   | 0.00 | 57.63 | 0.00 | 722.42 |                 |

Si sommano ora le azioni provenienti dall'impalcato a quelle derivanti dal peso proprio degli elementi della pila (fusto+pulvino), dal vento trasversale sugli elementi della pila e dal sisma orizzontale trasversale.

| Azioni totali rispetto baric. pila (estradosso zattera) |                  |                              |                              |                                |                                |                          |
|---|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| <b>COMB.</b>  | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |                          |
| 1   | 730.74           | 14.29                        | 31.36                        | -164.38                        | 350.29                         | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2   | 986.02           | 14.29                        | 34.25                        | -164.38                        | 679.98                         |                          |
| 3   | 900.93           | 14.29                        | 34.25                        | -164.38                        | 786.34                         |                          |

|                |     |         |      |        |      |        |                 |
|----------------|-----|---------|------|--------|------|--------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 4.5 | 730.74  | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00   | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 4   | 122.36  | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00   |                 |
| <i>Vert. -</i> | 5   | -122.36 | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00   |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 4.5 | 0.00    | 0.00 | 145.73 | 0.00 | 942.47 |                 |

**AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA ZATTERA E DEL TERRENO PORTATO  
IN CONDIZIONI NORMALI**

Ricordando la geometria della zattera delineata nel cap. 4, e indicando con  $e_{v,N}$  l'altezza del baricentro della zattera e del terreno portato rispetto all'intradosso della zattera stessa, si ha:

Peso specifico terreno portato  $\gamma_t = 1.80 \text{ t/m}^3$

|                 | <b>N<br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> |
|-----------------|------------------|-------------------------------------|
| Zattera         | 285.20           | 1.00                                |
| Terreno portato | 350.99           | 3.90                                |
|                 | 636.19           | 2.60                                |

**AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA ZATTERA E DEL TERRENO PORTATO  
IN CONDIZIONI DI SISMA**

Ricordando che l'insieme zattera di fondazione-pali è una struttura intelaiata, e dunque iperstatica, si assume per il coeff. di struttura

$$\beta = 1$$

da cui si trova

| <b>S</b> | <b>C</b> | <b><math>K_h</math></b> | <b><math>K_v</math></b> |
|----------|----------|-------------------------|-------------------------|
| 9        | 0.07     | 0.1008                  | 0.1680                  |

Le azioni si calcolano riportate a quota intradosso zattera.

**### SISMA TRASVERSALE**

Risulta

|                 | <b><math>H_t</math><br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> | <b><math>M_t</math><br/>(t*m)</b> |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Zattera         | 28.75                           | 1.00                                | 28.75                             |
| Terreno portato | 35.38                           | 3.90                                | 137.98                            |
|                 | 64.13                           |                                     | 166.73                            |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dalla sola zattera + terreno portato alla palificata, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti nel baricentro della pila, quota intradosso zattera, si ha:

| Az. progetto                           | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|--|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Peso proprio zattera + terreno portato | 636.19   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma trasv. orizzontale               | 0.00     | 0.00                  | 64.13                 | 0.00                    | 166.73                  |
| Sisma vert. + Incr. peso               | 106.88   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma vert. - Decr. peso               | -106.88  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |

### COMBINAZIONI DI CARICO DI TUTTE LE AZIONI AGENTI SULLA PALIFICATA

Per la verifica della fondazione, si riportano infine tutte le azioni alla quota di intradosso della zattera, con il baricentro in pianta coincidente con quello della pila.

$$N = N_{imp+pila} + N_{zattera+terreno} \quad H_i = H_{i,imp+pila} + H_{i,zattera+terreno} \quad H_t = H_{t,imp+pila} + H_{t,zattera+terreno}$$

$$M_i = M_{i,imp+pila} - H_{i,imp+pila} * h_{zattera} + M_{i,zattera+terreno} \quad M_t = M_{t,imp+pila} + H_{t,imp+pila} * h_{zattera} + M_{t,zattera+terreno}$$

con

$$h_{zattera} = 2.00 \text{ m}$$

| Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera) |          |                       |                       |                         |                         |                          |
|---|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| COMB.   | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
| 1   | 1 366.93 | 14.29                 | 31.36                 | -192.97                 | 413.00                  | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2   | 1 622.21 | 14.29                 | 34.25                 | -192.97                 | 748.48                  |                          |
| 3   | 1 537.11 | 14.29                 | 34.25                 | -192.97                 | 854.85                  |                          |

|         |     |          |      |        |      |          |                 |
|---------|-----|----------|------|--------|------|----------|-----------------|
| Perm.   | 4.5 | 1 366.93 | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00     | Sisma<br>Trasv. |
| Vert. + | 4   | 229.24   | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00     |                 |
| Vert. - | 5   | -229.24  | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00     |                 |
| Orizz.  | 4.5 | 0.00     | 0.00 | 209.86 | 0.00 | 1 400.66 |                 |

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 6$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

| X    | Y    | Z    |
|------|------|------|
| 6.20 | 9.20 | 2.00 |

Area fondazione  $57.04 \text{ m}^2$

Baric. zattera 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.

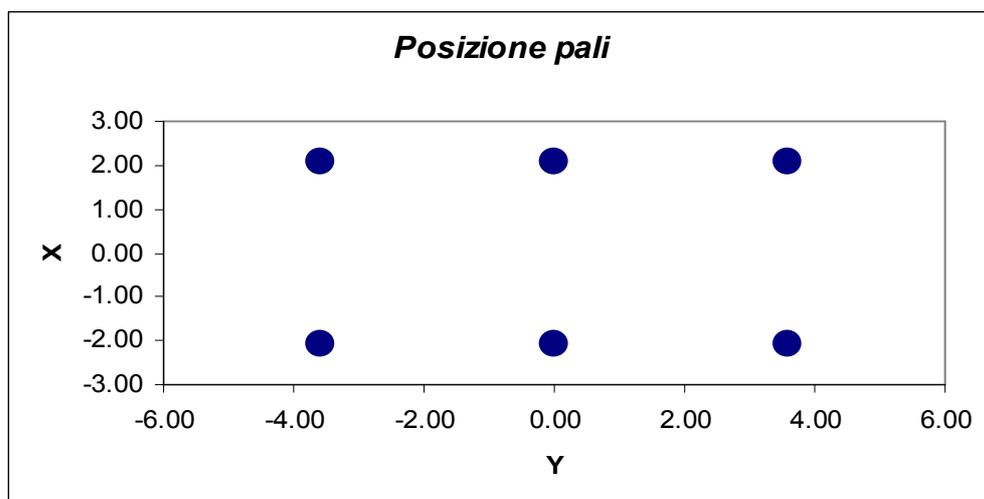
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

| $J_l$ | $J_t$ |
|-------|-------|
| 26.46 | 51.84 |

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

| Pali | X (m) | Y (m) | $X_G$ (m) | $Y_G$ (m) | $W_l$ (m) | $W_t$ (m) |
|------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1    | 2.10  | 3.60  | 2.10      | 3.60      | 12.60     | 14.40     |
| 2    | 2.10  | 0.00  | 2.10      | 0.00      | 12.60     | Infinito  |
| 3    | 2.10  | -3.60 | 2.10      | -3.60     | 12.60     | -14.40    |
| 4    | -2.10 | 3.60  | -2.10     | 3.60      | -12.60    | 14.40     |
| 5    | -2.10 | 0.00  | -2.10     | 0.00      | -12.60    | Infinito  |
| 6    | -2.10 | -3.60 | -2.10     | -3.60     | -12.60    | -14.40    |
| 7    |       |       |           |           |           |           |
| 8    |       |       |           |           |           |           |
| 9    |       |       |           |           |           |           |
| 10   |       |       |           |           |           |           |
| 11   |       |       |           |           |           |           |
| 12   |       |       |           |           |           |           |
| 13   |       |       |           |           |           |           |
| 14   |       |       |           |           |           |           |
| 15   |       |       |           |           |           |           |
| 16   |       |       |           |           |           |           |
| 17   |       |       |           |           |           |           |
| 18   |       |       |           |           |           |           |
| 19   |       |       |           |           |           |           |
| 20   |       |       |           |           |           |           |

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:

$$M_l = M_l + (N * e_{l,pali})$$

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

|                |     | Azioni totali rispetto baricentro palificata |                      |                      |                      |                      |                 |
|----------------|-----|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
|                |     | <b>N</b>                                     | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                 |
| <b>COMB.</b>   |     | <b>(t)</b>                                   | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                 |
|                | 1   | 1 366.93                                     | 14.29                | 31.36                | -192.97              | 413.00               | Cond.           |
|                | 2   | 1 622.21                                     | 14.29                | 34.25                | -192.97              | 748.48               | Norm.           |
|                | 3   | 1 537.11                                     | 14.29                | 34.25                | -192.97              | 854.85               | Eserc.          |
| <i>Perm.</i>   | 4.5 | 1 366.93                                     | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 4   | 229.24                                       | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |                 |
| <i>Vert. -</i> | 5   | -229.24                                      | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 4.5 | 0.00   | 0.00                 | 209.86               | 0.00                 | 1 400.66             |                 |

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

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

Per le combinazioni di carico sismiche lo sforzo assiale in testa ai pali si otterrà dalla combinazione quadratica delle componenti verticali e orizzontali dell'azione sismica, pari a:

$$N_{palo} = (N + \alpha_N (N_v^{\beta_N} + N_o^{\beta_N})^{1/\beta_N}) / n^{\circ} \text{ pali} + (M_l + \alpha_{Ml} (M_{l,v}^{\beta_{Ml}} + M_{l,o}^{\beta_{Ml}})^{1/\beta_{Ml}}) / W_l + (M_t + \alpha_{Mt} (M_{t,v}^{\beta_{Mt}} + M_{t,o}^{\beta_{Mt}})^{1/\beta_{Mt}}) / W_t$$

dove i generici  $\alpha_i = 1$  e  $\beta_i = 1$  se le sollecitazioni i-esime del sisma verticale e orizzontale hanno segni differenti (oppure una delle due è nulla), mentre  $\alpha_i$  ha il segno delle sollecitazioni i-esime e  $\beta_i = 2$  se le stesse hanno lo stesso segno.

### Sollecitazioni sui pali di fondazione (t)

| Combinazioni di carico |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PALI                   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 1                      | 271.8 | 337.7 | 330.9 | 363.3 | 286.9 |
| 2                      | 243.1 | 285.7 | 271.5 | 266.0 | 189.6 |
| 3                      | 214.5 | 233.7 | 212.1 | 168.8 | 92.3  |
| 4                      | 241.2 | 307.0 | 300.2 | 363.3 | 286.9 |
| 5                      | 212.5 | 255.1 | 240.9 | 266.0 | 189.6 |
| 6                      | 183.8 | 203.1 | 181.5 | 168.8 | 92.3  |
| 7                      |       |       |       |       |       |
| 8                      |       |       |       |       |       |
| 9                      |       |       |       |       |       |
| 10                     |       |       |       |       |       |
| 11                     |       |       |       |       |       |
| 12                     |       |       |       |       |       |
| 13                     |       |       |       |       |       |
| 14                     |       |       |       |       |       |
| 15                     |       |       |       |       |       |
| 16                     |       |       |       |       |       |
| 17                     |       |       |       |       |       |
| 18                     |       |       |       |       |       |
| 19                     |       |       |       |       |       |
| 20                     |       |       |       |       |       |

$N_{max}$  (t)    271.8    337.7    330.9    363.3    286.9

$N_{min}$  (t)    183.8    203.1    181.5    168.8    92.3

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{max}$     363.3    t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{min}$     92.3    t

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

| Sollecitazioni a quota intradosso zattera |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|
| COMB.                                     | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) |
| 1   | 14.3                  | 31.4                  |
| 2   | 14.3                  | 34.3                  |
| 3   | 14.3                  | 34.3                  |
| 4   | 0.0                   | 209.9                 |
| 5   | 0.0                   | 209.9                 |

| T <sub>l</sub><br>(t) | T <sub>t</sub><br>(t) | T <sub>max</sub><br>(t) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 2.38                  | 5.23                  | 5.74                    |
| 2.38                  | 5.71                  | 6.19                    |
| 2.38                  | 5.71                  | 6.19                    |
| 0.00                  | 34.98                 | 34.98                   |
| 0.00                  | 34.98                 | 34.98                   |

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 34.98 \text{ t}$

| PALI  |                  |       |
|-------|------------------|-------|
| SISM  |                  | ESER  |
| 363.3 | N <sub>max</sub> | 337.7 |
| 92.3  | N <sub>min</sub> | 181.5 |
| 35.0  | T <sub>max</sub> | 6.2   |

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<sub>0</sub> lunghezza elastica del palo

Ponendo

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 120.0 \text{ cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 1\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_0 = 4.827 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 84.415 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 363.3 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 92.3 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 53.50 \text{ cm}$$

$$\text{Copriferro} = 6.5 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 90.4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Coeff. omogeneizzazione } n = 15.0$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile cls} = 122.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

### **Verifica con sforzo normale massimo**

Centro di pressione esterno al nocciolo centrale d'inerzia (Grande eccentricità)

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 257.80^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 97.68 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 73.19 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 177.82 \text{ kg/cm}^2$$

### **Verifica con sforzo normale minimo**

Centro di pressione esterno al nocciolo centrale d'inerzia (Grande eccentricità)

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 150.615^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 44.78 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 77.4947 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 1783.73 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

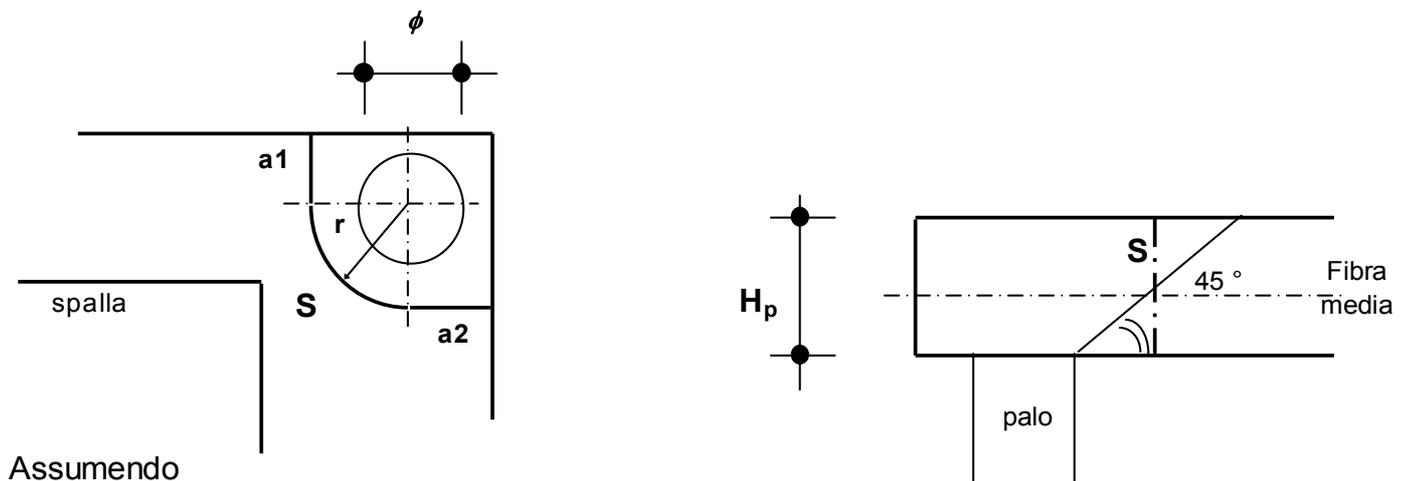
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

Si verifica lo sforzo tangenziale sulla porzione di angolo della zattera di fondazione più sollecitata dal carico assiale presente sui pali.

E' analizzata la reazione esercitata dal palo di angolo più sollecitato (vedi par. 6.01):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 363.30 \text{ t}$$

Si ipotizza una distribuzione a 45° del carico sullo spessore della zattera e si assume una superficie resistente al taglio definita dall'intersezione del cono a 45° di detta distribuzione con la fibra media:



Assumendo

$$a_1 = 1.00 \text{ m}$$

$$a_2 = 1.00 \text{ m}$$

$$r = 1.60 \text{ m}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a_1 + \pi \cdot r / 2 + a_2) = 9.03 \text{ m}^2$$

La tensione tangenziale  $\tau_{cls}$  nel calcestruzzo è poi pari a

$$\tau_{cls} = N_{p,max} / S = 4.02 \text{ kg/cm}^2$$

Tale valore va confrontato con i valori  $\tau_{c0}$  e  $\tau_{c1}$  di normativa, che per un calcestruzzo di fondazione è pari a:

$$R_{ck} \text{ fondazione} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{c0} = 7.33333 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{c1} = 21.1429 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA FUSTO PILA

Tipo verifica : tensioni ammissibili - pressoflessione deviata.

Unità di misura: Kgf; cm; Kgf / cm<sup>2</sup>; Kgf x cm; d in mm;  
deformazioni\*1000.

Simboli:

Vert. = contorno\_vertice del CLS;                    d = diametro;  
S       = Sigma (tensioni sui materiali);  
Ve      = colonna che indica se la verifica e' soddisfatta.

### MATERIALI

Calcestruzzo: Rck = 400. ; E = 360000. ; Samm= 122.5 .  
Acciaio : Tipo= FeB44k ; Samm= 2600. ; n=15 .

### SEZIONE

L'asse Z e' rivolto verso destra, l'asse Y e' rivolto verso l'alto.

Tipo sezione: CIRCOLARE

Cls:

Acciaio lento:

| vert. | Z     | Y     | ferro | Z      | Y     | d[mm] | Af[cm <sup>2</sup> ] |
|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|----------------------|
| 1_1   | 0.    | 135.  | 1     | 129.6  | 0.    | 22.   | 3.8013               |
| 1_2   | 135.  | 0.    | 2     | 128.7  | 15.   | 22.   | 3.8013               |
| 1_3   | 0.    | -135. | 3     | 126.1  | 29.9  | 22.   | 3.8013               |
| 1_4   | -135. | 0.    | 4     | 121.8  | 44.3  | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 5     | 115.8  | 58.1  | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 6     | 108.3  | 71.2  | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 7     | 99.3   | 83.2  | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 8     | 89.    | 94.2  | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 9     | 77.5   | 103.9 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 10    | 64.9   | 112.2 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 11    | 51.5   | 118.9 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 12    | 37.3   | 124.1 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 13    | 22.7   | 127.6 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 14    | 7.7    | 129.4 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 15    | -7.3   | 129.4 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 16    | -22.3  | 127.7 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 17    | -36.9  | 124.2 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 18    | -51.1  | 119.1 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 19    | -64.6  | 112.4 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 20    | -77.2  | 104.1 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 21    | -88.7  | 94.5  | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 22    | -99.1  | 83.5  | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 23    | -108.1 | 71.5  | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 24    | -115.7 | 58.5  | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 25    | -121.7 | 44.7  | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 26    | -126.  | 30.3  | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 27    | -128.7 | 15.4  | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 28    | -129.6 | .4    | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 29    | -128.8 | -14.6 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 30    | -126.2 | -29.5 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 31    | -121.9 | -43.9 | 22.   | 3.8013               |
|       |       |       | 32    | -116.  | -57.7 | 22.   | 3.8013               |

|    |        |        |     |  |        |
|----|--------|--------|-----|--|--------|
| 33 | -108.5 | -70.8  | 22. |  | 3.8013 |
| 34 | -99.6  | -82.9  | 22. |  | 3.8013 |
| 35 | -89.3  | -93.9  | 22. |  | 3.8013 |
| 36 | -77.8  | -103.6 | 22. |  | 3.8013 |
| 37 | -65.3  | -112.  | 22. |  | 3.8013 |
| 38 | -51.8  | -118.8 | 22. |  | 3.8013 |
| 39 | -37.7  | -124.  | 22. |  | 3.8013 |
| 40 | -23.1  | -127.5 | 22. |  | 3.8013 |
| 41 | -8.1   | -129.3 | 22. |  | 3.8013 |
| 42 | 6.9    | -129.4 | 22. |  | 3.8013 |
| 43 | 21.9   | -127.7 | 22. |  | 3.8013 |
| 44 | 36.5   | -124.3 | 22. |  | 3.8013 |
| 45 | 50.7   | -119.3 | 22. |  | 3.8013 |
| 46 | 64.2   | -112.6 | 22. |  | 3.8013 |
| 47 | 76.8   | -104.4 | 22. |  | 3.8013 |
| 48 | 88.4   | -94.8  | 22. |  | 3.8013 |
| 49 | 98.8   | -83.9  | 22. |  | 3.8013 |
| 50 | 107.9  | -71.8  | 22. |  | 3.8013 |
| 51 | 115.5  | -58.8  | 22. |  | 3.8013 |
| 52 | 121.5  | -45.   | 22. |  | 3.8013 |
| 53 | 125.9  | -30.6  | 22. |  | 3.8013 |
| 54 | 128.6  | -15.8  | 22. |  | 3.8013 |

#### SOLLECITAZIONI AGENTI

Sforzi normali applicati in  $z= 0.$  ;  $y= 0.$  (baricentro CLS)  
 Convenzioni: N + trazione; Mz + fib.inferiori tese; My + fib.sinistra  
 tese.

| N. | N       | Mz | My       | Sollecitaz. ultima |
|----|---------|----|----------|--------------------|
| 1  | -986020 |    | 67998000 | 16438000           |
| 2  | -853100 |    | 94247000 | 0                  |

#### RISULTATI

Piani di equilibrio ( $\epsilon = \mu_z * y + \mu_y * z + \lambda$ ):

| Sol. | $\mu_z$       |  | $\mu_y$       |  | $\lambda$     |
|------|---------------|--|---------------|--|---------------|
| 1    | -.00000087895 |  | -.00000021258 |  | -.00003450705 |
| 2    | -.00000200193 |  | .00000000014  |  | .00003018966  |

Tensioni massime sui materiali:

| sol | Cls  | vert. | S cls | Ve | Acciaio lento     |
|-----|------|-------|-------|----|-------------------|
|     |      |       |       |    | ferro S ferri  Ve |
| 1   | 1- 1 |       | -55.1 | si | 12  -818.2 si     |
| 2   | 1- 1 |       | -86.4 | si | 42  1562.1 si     |

## CALCOLO PILA 44 carr Sx

### GEOMETRIA DELLA PILA

Di seguito si riportano i principali parametri geometrici della pila e degli impalcati ad essa appoggiati:

#### **### ZATTERA**

|  |      |   |
|--|------|---|
| Altezza $h_{zattera}$                  | 2.00 | m |
| Dimensione longitudinale $L_{long}$    | 6.20 | m |
| Dimensione trasversale $L_{trasv}$     | 9.20 | m |
| Profondità intradosso zattera dal p.c. | 4.83 | 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 $h_{bagg}$   | 0.45  | m |
| Pulvino $h_{pulvino}$ | 2.53  | m |
| Fusto pila $h_{pila}$ | 13.27 | m |

#### ***Sezioni in pianta***

|                                    |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|
| Baggiolo $A_{bagg}$                | 1.56  | $m^2$ |
| n° totale baggioli                 | 2     |       |
| Valore medio pulvino $A_{m,pl}$    | 19.52 | $m^2$ |
| Area fusto pila allo spiccato pila | 5.73  | $m^2$ |

#### ***Baricentri***

|  |      |   |
|--|------|---|
| Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino       | 1.10 | m |
| Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila | 6.64 | m |

#### ***Momenti d'inerzia***

|   |      |       |
|---|------|-------|
| Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv. | 2.61 | $m^4$ |
|---|------|-------|

#### ***Prospetti longitudinali***

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$              | 2.70  | m |
| Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino | 1.27  | m |
| Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$                 | 2.70  | m |
| Altezza fusto pila dal p.c.                          | 10.44 | m |
| Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.         | 5.22  | m |

### ### VERIFICA DI SNELLEZZA DELLA PILA

La snellezza  $\lambda$  della pila è pari a:

$$\lambda = L_0/i$$

con  $i = (J/A)^{0,5}$  raggio d'inerzia della sezione e  $L_0$  lunghezza libera d'inflessione  
Nel caso in esame risulta:

$$\lambda = 46.81$$

## **AZIONI SULLA FONDAZIONE DELLA PILA**

Le azioni caratteristiche agenti sulla spalla sono le seguenti:

### ***AZIONI VERTICALI D'ESERCIZIO***

- ### Carichi permanenti
- ### Carichi accidentali mobili (automezzi e folla)

### ***AZIONI ORIZZONTALI D'ESERCIZIO***

#### ***TRASVERSALI***

- ### Vento trasversale sull'impalcato (Imp. scarico e carico)
- ### Azione centrifuga per carichi mobili

#### ***LONGITUDINALI***

- ### Azione longitudinale di frenatura
- ### Resistenza parassita dei vincoli

### ***AZIONI SISMICHE***

- ### Sisma longitudinale e trasversale sulla pila

Le azioni verranno nel seguito distinte tra azioni trasmesse dall'impalcato agli appoggi (e quindi agenti a quota estradosso pulvino, nel baricentro di questo) e azioni derivanti dal peso proprio degli elementi della pila.

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 convenzionalmente assunto come destro, l'asse x secondo la direzione longitudinale dell'impalcato, con il verso che va da sx a dx e l'asse z orientato verso il basso.

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

## **AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO**

Riferendosi alla quota estradosso del pulvino e al baricentro dello stesso si ottengono le azioni di progetto elencate nel proseguio della presente relazione.

## AZIONI VERTICALI

### ### CARICHI PERMANENTI

Il peso proprio dell'impalcato gravante sugli appoggi della pila, come risulta dai calcoli svolti nella specifica relazione, risulta essere pari a:

$$N_{app} = 375.62 \text{ t}$$

### ### CARICHI ACCIDENTALI

Saranno ora analizzati gli effetti globali sull'impalcato trasmessi dai carichi accidentali. Per la verifica della pila, si considerano due distinte condizioni di carico: la prima che massimizza il carico verticale N e la seconda che massimizza il momento trasversale  $M_t$ .

Si ricavano per ciascuna disposizione di carichi accidentali i valori del carico verticale e del momento trasversale totali, rispetto al baricentro del pulvino (quota estradosso)

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

Si ricavano di seguito per ciascuna disposizione di carichi accidentali i valori del carico verticale e del momento trasversale totali, rispetto all'estradosso del pulvino e al baricentro dello stesso, ricordando che si assumono i momenti antiorari positivi, nel riferimento cartesiano assunto.

*DISP. 1* Max carico verticale N

In totale per la disposizione 1 si ha:

$$\begin{array}{ll} N & 259.91 \text{ t} \\ M_t & 140.79 \text{ t*m} \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{ll} N & 173.28 \text{ t} \\ M_t & 281.57 \text{ t*m} \end{array}$$

## AZIONI ORIZZONTALI

### ### AZIONI TRASVERSALI

#### Vento trasversale sull'impalcato

Si considera il seguente carico di riferimento :

$$q_{\text{vento}} = 0.025 \text{ kg/cm}^2$$

Vengono analizzate due distinte situazioni di carico:

- 1) Vento trasversale con impalcato scarico
- 2) Vento trasversale con impalcato carico

Per la condizione di impalcato carico, si dovrà applicare il coefficiente moltiplicativi  $K_w$  pari a 0,6:

La forza orizzontale  $H_t$  e il momento trasversale  $M_t$  risultano pari a

(1) Impalcato scarico

| $H_t$<br>(t) | $M_t$<br>(t*m) |
|--------------|----------------|
| 19.42        | 21.84          |

(2) Impalcato carico

| $H_t$<br>(t) | $M_t$<br>(t*m) |
|--------------|----------------|
| 38.52        | 91.96          |

### ### AZIONI LONGITUDINALI

#### Frenamento

Tale forza è pari al maggiore dei due valori  $H_{f1,a}$  pari a 1/10 della singola colonna di carico più pesante per ciascuna carreggiata e  $H_{f1,b}$  pari al 20% del carico  $q_{1,a}$  che può interessare la struttura:

$$\begin{aligned} \text{n}^\circ \text{ campate collegate} & \quad 6 \\ \text{lunghezza complessiva campate collegate} & \quad 171 \quad \text{m} \\ H_{f1,a} & = 0,10 * (3 * 20 + 3 * (\text{lunghezza compless. campate collegate} - 9)) = \quad 54.6 \quad \text{t} \\ H_{f1,b} & = 0,20 * (2 * 20 * (1 + 0,5)) = \quad 12 \quad \text{t} \quad \text{(2 colonne di carico)} \end{aligned}$$

La forza complessiva di frenatura  $H_f$ , divisa per i punti fissi di vincolo, è dunque pari a:

$$H_f = 13.65 \quad \text{t}$$

#### Resistenza parassita dei vincoli

Gli appoggi sono in acciaio e PTFE, ed il coefficiente di attrito assunto è pari a  $k_{att} = 0,03$ .

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 11.27 \quad \text{t}$$

### AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO IN CONDIZIONI DI SISMA

Le azioni sismiche si dividono in azioni orizzontali e azioni verticali  
Per tutte le azioni sismiche si fa riferimento all'analisi statica equivalente.

#### Forza sismica orizzontale (analisi statica)

$$H_s = K_h * W_h$$

dove

$$K_h = C * R * \varepsilon * \beta * I$$

$W_h$

$S$

$$C = (S - 2) / 100$$

$$R = 1.00$$

$$\varepsilon = 1.20$$

$$\beta = 1.20$$

$$I = 1.20$$

CARICHI PERMANENTI

grado di sismicità

coefficiente di intensità sismica

coefficiente di risposta ( $T_0 < 0.8 \text{ s}$ )

coefficiente di fondazione

coefficiente di struttura ISOSTATICA

coefficiente di protezione sismica

**Forza sismica verticale (analisi statica)**

$$N_s = K_v * W_v$$

dove

$$K_v = m * C * I$$

$W_v$  CARICHI PERMANENTI  
 $S$  grado di sismicità  
 $C = (S - 2) / 100$  coefficiente di intensità sismica  
 $m = 2.00$  coefficiente verticale  
 $I = 1.20$  coefficiente di protezione sismica

| S | C    | $K_h$  | $K_v$  |
|---|------|--------|--------|
| 9 | 0.07 | 0.1210 | 0.1680 |

Rispetto all'asse dell'impalcato, il sisma può essere trasversale o longitudinale.

**### SISMA TRASVERSALE - Analisi statica**

Per il sisma trasversale i carichi permanenti  $W_h$  e  $W_v$  si riducono al peso dell'impalcato sulla pila  $N_{app}$

$$W = W_h = W_v = N_{app}$$

Per il sisma trasversale si calcola, oltre alla forza orizzontale risultante, anche il momento trasversale risultante di tale forza rispetto agli appoggi.

Indicando con  $h_{bar,p}$  l'altezza del baricentro dei carichi permanenti (punto dove risulta applicata la forza sismica orizzontale) rispetto alla quota di estradosso del pulvino, si ha per il momento trasversale dovuto al sisma

$$M_{s,t} = H_{s,t} * h_{bar,p}$$

mentre indicando con  $e_l$  l'eccentricità dell'asse appoggi rispetto al baricentro del pulvino e con  $\Delta N_{s,t}$  la forza sismica verticale, si ha per il momento longitudinale  $M_{s,i}$ :

$$M_{s,i} = -e_l * \Delta N_{s,t}$$

$$h_{bar,p} = 1.02 \text{ m}$$

| W<br>(t) | Orizzont.        |                    | Vert.                   |
|----------|------------------|--------------------|-------------------------|
|          | $H_{s,t}$<br>(t) | $M_{s,t}$<br>(t*m) | $\Delta N_{s,t}$<br>(t) |
| 539.41   | 65.25            | 66.23              | 90.62                   |

### ### SISMA LONGITUDINALE - Analisi statica

Per il sisma longitudinale i carichi permanenti  $W_h$  sono pari al peso degli impalcati del viadotto collegati tra loro a partire da entrambi gli appoggi fissi:

$$W_h = \sum N_{imp}$$

mentre i carichi permanenti  $W_v$  sono pari al peso dell'impalcato sugli appoggi  $N_{app}$

$$W_v = N_{app}$$

Come da normativa, non si considera presente il sovraccarico mobile sull'impalcato.

Il punto di applicazione della forza sull'impalcato è posto ad un'altezza rispetto all'estradosso pulvino pari a  $h_{sism,l}$

| $W_h$ | $h_{sism,l}$ |
|-------|--------------|
| (t)   |              |
| 539   | 1.02         |

| $H_{s,l}$ | $M_{s,l}$ |
|-----------|-----------|
| (t)       | (t*m)     |
| 65.25     | -66.23    |

Indicando con  $e_l$  l'eccentricità dell'asse appoggi rispetto al baricentro del pulvino e con  $\Delta N_{s,t}$  la forza sismica verticale, si ha per il momento longitudinale  $M_{s,l}$ :

$$M_{s,l} = -e_l \cdot \Delta N_{s,t}$$

| $W$    | $\Delta N_{s,t}$ |
|--------|------------------|
| (t)    | (t)              |
| 539.41 | 90.62            |

### COMBINAZIONI DI CARICO DELLE AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

In accordo con quanto contenuto nel D.M. 4.5.90 si individuano quattro gruppi di carico.

|                   | Azione gruppo | COEFFICIENTI MOLTIPLICATIVI |             |       |       |       |              |
|-------------------|---------------|-----------------------------|-------------|-------|-------|-------|--------------|
|                   |               | Perm.                       | Acc. dinam. | Fren. | Vento | Sisma | Attrito app. |
| Viadotto scarico  | A I           | 1.00                        | 0.00        | 0.00  | 1.00  | 0.00  | 1.00         |
| C.N.E.+ vento     | A II          | 1.00                        | 1.00        | 0.00  | 0.60  | 0.00  | 1.00         |
| C.N.E.+ frenatura | A III         | 1.00                        | 1.00        | 1.00  | 0.20  | 0.00  | 1.00         |
| Cond. sismica     | A V           | 1.00                        | 0.00        | 0.00  | 0.00  | 1.00  | 0.00         |

In precedenza, per ciò che attiene alla disposizione dei carichi accidentali, si sono esaminate 4 distinte condizioni di carico.

Correlando allora questi carichi accidentali con le altre azioni esterne, avremo le seguenti combinazioni.

| COMB. | AZ. GR. | CARICHI  | Az.prev. |
|-------|---------|--|----------|
| 1     | A I     | Perm. + Vento (1) * 1.0 + Attr. * 1.0                              | Imp. sc. |
| 2     | A II    | Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) * 0.6 + Attr. * 1.0               | Ven. tr. |
| 3     | A II    | Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) * 0.6 + Attr. * 1.0               | Ven. tr. |
| 4     | A III   | Perm. + Acc. DISP. 1 + Frenat. * 1 + Vento (3) * 0.2 + Attr. * 1.0 | Frenat.  |
| 5     | A III   | Perm. + Acc. DISP. 2 + Frenat. * 1 + Vento (3) * 0.2 + Attr. * 1.0 | Frenat.  |
| 6     | A V     | Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale positiva              | Sism. T  |
| 7     | A V     | Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale negativa              | Sism. T  |
| 8     | A V     | Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale positiva            | Sism. L  |
| 9     | A V     | Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale negativa            | Sism. L  |

Si determinano allora le azioni di progetto riferite alla quota degli appoggi.

COMB. 1 Perm. + Vento (1) \* 1.0 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto    | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|-----------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti      | 375.62   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Vento (1) * 1.0 | 0.00     | 0.00                  | 19.42                 | 0.00                    | 21.84                   |
| Attrito * 1.00  | 0.00     | 11.27                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT             | 375.62   | 11.27                 | 19.42                 | 0.00                    | 21.84                   |

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 0.6 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 375.62   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 1     | 259.91   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 140.79                  |
| Vento (3) * 0.60 | 0.00     | 0.00                  | 23.11                 | 0.00                    | 55.17                   |
| Attrito * 1.00   | 0.00     | 11.27                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT              | 635.54   | 11.27                 | 23.11                 | 0.00                    | 195.96                  |

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 0.6 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 375.62   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 2     | 173.28   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 281.57                  |
| Vento (3) * 0.60 | 0.00     | 0.00                  | 23.11                 | 0.00                    | 55.17                   |
| Attrito * 1.00   | 0.00     | 11.27                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT              | 548.90   | 11.27                 | 23.11                 | 0.00                    | 336.75                  |

COMB. 4 Perm. + Acc. DISP. 1 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 375.62   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 1     | 259.91   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 140.79                  |
| Frenat.*1        | 0.00     | 13.65                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Vento (3) * 0.20 | 0.00     | 0.00                  | 7.70                  | 0.00                    | 18.39                   |
| Attrito * 1.00   | 0.00     | 11.27                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT              | 635.54   | 24.92                 | 7.70                  | 0.00                    | 159.18                  |

COMB. 5 Perm. + Acc. DISP. 2 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 375.62   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 2     | 173.28   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 281.57                  |
| Frenat.*1        | 0.00     | 13.65                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Vento (3) * 0.20 | 0.00     | 0.00                  | 7.70                  | 0.00                    | 18.39                   |
| Attrito * 1.00   | 0.00     | 11.27                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT              | 548.90   | 24.92                 | 7.70                  | 0.00                    | 299.96                  |

COMB. 6 Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale positiva

| Az. progetto        | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|---------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti          | 375.62   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. trasv. | 0.00     | 0.00                  | 65.25                 | 0.00                    | 66.23                   |
| Sisma vert. +       | 90.62    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                 | 466.24   | 0.00                  | 65.25                 | 0.00                    | 66.23                   |

COMB. 7 Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale negativa

| Az. progetto        | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|---------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti          | 375.62   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. trasv. | 0.00     | 0.00                  | 65.25                 | 0.00                    | 66.23                   |
| Sisma vert. -       | -90.62   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                 | 285.00   | 0.00                  | 65.25                 | 0.00                    | 66.23                   |

COMB. 8 Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale positiva

| Az. progetto       | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|--------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti         | 375.62   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. long. | 0.00     | 65.25                 | 0.00                  | -66.23                  | 0.00                    |
| Sisma vert. +      | 90.62    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                | 466.24   | 65.25                 | 0.00                  | -66.23                  | 0.00                    |

COMB. 9 Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale negativa

| Az. progetto       | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|--------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti         | 375.62   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. long. | 0.00     | 65.25                 | 0.00                  | -66.23                  | 0.00                    |
| Sisma vert. -      | -90.62   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                | 285.00   | 65.2                  | 0.00                  | -66.2                   | 0.00                    |

Si riepilogano ora tutte le combinazioni esaminate, avendo l'accortezza di separare gli effetti del sisma orizzontale e di quello verticale per la verifica delle strutture che fa la pila in oggetto. Difatti per questi elementi verrà applicata la regola che prescrive la composizione quadratica delle due azioni.

| AZIONI A QUOTA ESTRADOSSO PULVINO |          |                       |                       |                         |                         | Eserc. |
|-----------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------|
| COMB.                             | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |        |
| 1                                 | 375.62   | 11.27                 | 19.42                 | 0.00                    | 21.84                   |        |
| 2                                 | 635.54   | 11.27                 | 23.11                 | 0.00                    | 195.96                  |        |
| 3                                 | 548.90   | 11.27                 | 23.11                 | 0.00                    | 336.75                  |        |
| 4                                 | 635.54   | 24.92                 | 7.70                  | 0.00                    | 159.18                  |        |
| 5                                 | 548.90   | 24.92                 | 7.70                  | 0.00                    | 299.96                  |        |

|                                       |     |        |       |       |        |       |                 |
|---------------------------------------|-----|--------|-------|-------|--------|-------|-----------------|
| Perm.<br>Vert. +<br>Vert. -<br>Orizz. | 6.7 | 375.62 | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  | Sisma<br>Trasv. |
|                                       | 6   | 90.62  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |                 |
|                                       | 7   | -90.62 | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |                 |
|                                       | 7.8 | 0.00   | 0.00  | 65.25 | 0.00   | 66.23 |                 |
| Perm.<br>Vert. +<br>Vert. -<br>Orizz. | 8.9 | 375.62 | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  | Sisma<br>Long.  |
|                                       | 8   | 90.62  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |                 |
|                                       | 9   | -90.62 | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |                 |
|                                       | 8.9 | 0.00   | 65.25 | 0.00  | -66.23 | 0.00  |                 |

## AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA PILA IN CONDIZIONI NORMALI

Ricordando la geometria della pila delineata nel cap. 4, e indicando con  $e_{v,N}$  le altezze del baricentro rispettivamente di pulvino e fusto pila rispetto all'estradosso della zattera, si ha:

|            | <b>N<br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> |
|------------|------------------|-------------------------------------|
| Pulvino    | 123.46           | 14.37                               |
| Fusto pila | 189.96           | 6.64                                |
|            | 313.42           | 9.68                                |

## AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA PILA IN CONDIZIONI DI SISMA

Si ricorda che risulta:

| <b>S</b> | <b>C</b> | <b><math>K_h</math></b> | <b><math>K_v</math></b> |
|----------|----------|-------------------------|-------------------------|
| 9        | 0.070    | 0.1210                  | 0.1680                  |

Le azioni si calcolano riportate a quota estradosso zattera.

### **### SISMA LONGITUDINALE**

Risulta

|            | <b><math>H_l</math><br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> | <b><math>M_l</math><br/>(t*m)</b> |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Pulvino    | 14.93                           | 14.37                               | -214.60                           |
| Fusto pila | 22.98                           | 6.64                                | -152.46                           |
|            | 37.91                           |                                     | -367.06                           |

### **### SISMA TRASVERSALE**

Risulta

|            | <b><math>H_t</math><br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> | <b><math>M_t</math><br/>(t*m)</b> |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Pulvino    | 14.93                           | 14.37                               | 214.60                            |
| Fusto pila | 22.98                           | 6.64                                | 152.46                            |
|            | 37.91                           |                                     | 367.06                            |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dalla pila alla zattera, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti nel baricentro della pila, quota estradosso zattera, si ha:

*Az. progetto*

|                                   | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|-----------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Peso proprio pila (fusto+pulvino) | 313.42           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Sisma long. orizzontale           | 0.00             | 37.91                        | 0.00                         | -367.06                        | 0.00                           |
| Sisma trasv. orizzontale          | 0.00             | 0.00                         | 37.91                        | 0.00                           | 367.06                         |
| Sisma vert. + Incr. peso          | 52.66            | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Sisma vert. - Decr. peso          | -52.66           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |

## AZIONI DOVUTE AL VENTO

La pressione di riferimento esercitata dal vento, come già visto sopra, è pari a

$$q_{\text{vento}} = 0.025 \text{ kg/cm}^2$$

### ### VENTO TRASVERSALE

La sezione resistente  $A_r$  della pila è pari all'area del prospetto longitudinale del fusto pila e del pulvino

$$A_r = 35.02 \text{ m}^2$$

La risultante della pressione del vento è applicata ad una distanza  $h_{\text{vento}}$  dall'estradosso della zattera pari a:

$$h_{\text{vento}} = 9.32 \text{ m}$$

Risulta dunque, calcolando il momento trasversale  $M_t$  rispetto alla quota di estradosso della zattera

| $q_{\text{vento}}$<br>(t/m <sup>2</sup> ) | $A_r$<br>(m <sup>2</sup> ) | $H_t$<br>(t) | $h_{\text{vento}}$<br>(m) | $M_t$<br>(t*m) |
|---|----------------------------|--------------|---------------------------|----------------|
| 0.25                                      | 35.02                      | 8.75         | 9.32                      | 81.55          |

## COMBINAZIONI DI CARICO DI TUTTE LE AZIONI AGENTI SULLA ZATTERA

Per poter sommare le azioni provenienti dall'impalcato a quelle dovute al peso proprio, è necessario riportare innanzitutto le azioni trasmesse dall'impalcato al baricentro della pila, quota estradosso zattera, rispetto a dove sono state calcolate le azioni relative al peso proprio.

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.

$$e_v = -15.80 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

| Azioni impalcato rispetto baric. pila (estradosso zattera) |          |                       |                       |                         |                         |                          |
|--|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| COMB.  | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
| 1  | 375.62   | 11.27                 | 19.42                 | -178.05                 | 328.64                  | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2  | 635.54   | 11.27                 | 23.11                 | -178.05                 | 561.09                  |                          |
| 3  | 548.90   | 11.27                 | 23.11                 | -178.05                 | 701.88                  |                          |
| 4  | 635.54   | 24.92                 | 7.70                  | -393.72                 | 280.89                  |                          |
| 5  | 548.90   | 24.92                 | 7.70                  | -393.72                 | 421.68                  |                          |

|                |     |        |       |       |          |         |                 |
|----------------|-----|--------|-------|-------|----------|---------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6.7 | 375.62 | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 90.62  | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -90.62 | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 7.8 | 0.00   | 0.00  | 65.25 | 0.00     | 1097.13 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8.9 | 375.62 | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 90.62  | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -90.62 | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8.9 | 0.00   | 65.25 | 0.00  | -1097.13 | 0.00    |                 |

Si sommano ora le azioni provenienti dall'impalcato a quelle derivanti dal peso proprio degli elementi della pila (fusto+pulvino), dal vento trasversale sugli elementi della pila e dal sisma orizzontale, trasversale e longitudinale.

| Azioni totali rispetto baric. pila (estradosso zattera) |          |                       |                       |                         |                         |                          |
|---|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| COMB.   | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
| 1   | 689.05   | 11.27                 | 28.17                 | -178.05                 | 410.19                  | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2   | 948.96   | 11.27                 | 28.36                 | -178.05                 | 610.02                  |                          |
| 3   | 862.32   | 11.27                 | 28.36                 | -178.05                 | 750.81                  |                          |
| 4   | 948.96   | 24.92                 | 12.96                 | -393.72                 | 329.82                  |                          |
| 5   | 862.32   | 24.92                 | 12.96                 | -393.72                 | 470.61                  |                          |

|                |     |         |        |        |           |          |                 |
|----------------|-----|---------|--------|--------|-----------|----------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6.7 | 689.05  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 143.28  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -143.28 | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 6.7 | 0.00    | 0.00   | 103.16 | 0.00      | 1 464.19 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8.9 | 689.05  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 143.28  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -143.28 | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8.9 | 0.00    | 103.16 | 0.00   | -1 464.19 | 0.00     |                 |

**AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA ZATTERA E DEL TERRENO PORTATO  
IN CONDIZIONI NORMALI**

Ricordando la geometria della zattera delineata nel cap. 4, e indicando con  $e_{v,N}$  l'altezza del baricentro della zattera e del terreno portato rispetto all'intradosso della zattera stessa, si ha:

Peso specifico terreno portato  $\gamma_t = 1.80 \text{ t/m}^3$

|                 | <b>N<br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> |
|-----------------|------------------|-------------------------------------|
| Zattera         | 285.20           | 1.00                                |
| Terreno portato | 261.39           | 3.42                                |
|                 | 546.59           | 2.15                                |

**AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA ZATTERA E DEL TERRENO PORTATO  
IN CONDIZIONI DI SISMA**

Ricordando che l'insieme zattera di fondazione-pali è una struttura intelaiata, e dunque iperstatica, si assume per il coeff. di struttura

$\beta = 1$

da cui si trova

| <b>S</b> | <b>C</b> | <b><math>K_h</math></b> | <b><math>K_v</math></b> |
|----------|----------|-------------------------|-------------------------|
| 9        | 0.07     | 0.1008                  | 0.1680                  |

Le azioni si calcolano riportate a quota intradosso zattera.

**### SISMA LONGITUDINALE**

Risulta

|                 | <b><math>H_l</math><br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> | <b><math>M_l</math><br/>(t*m)</b> |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Zattera         | 28.75                           | 1.00                                | -28.75                            |
| Terreno portato | 26.35                           | 3.42                                | -89.98                            |
|                 | 55.10                           |                                     | -118.73                           |

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

|                 | <b>H<sub>t</sub></b><br><b>(t)</b> | <b>e<sub>v,N</sub></b><br><b>(m)</b> | <b>M<sub>t</sub></b><br><b>(t*m)</b> |
|-----------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Zattera         | 28.75                              | 1.00                                 | 28.75                                |
| Terreno portato | 26.35                              | 3.42                                 | 89.98                                |
|                 | 55.10                              |                                      | 118.73                               |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dalla sola zattera + terreno portato alla palificata, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti nel baricentro della pila, quota intradosso zattera, si ha:

*Az. progetto*

|  | <b>N</b><br><b>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub></b><br><b>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub></b><br><b>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub></b><br><b>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub></b><br><b>(t*m)</b> |
|--|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Peso proprio zattera + terreno portato | 546.59                 | 0.00                               | 0.00                               | 0.00                                 | 0.00                                 |
| Sisma long. orizzontale                | 0.00                   | 55.10                              | 0.00                               | -118.73                              | 0.00                                 |
| Sisma trasv. orizzontale               | 0.00                   | 0.00                               | 55.10                              | 0.00                                 | 118.73                               |
| Sisma vert. + Incr. peso               | 91.83                  | 0.00                               | 0.00                               | 0.00                                 | 0.00                                 |
| Sisma vert. - Decr. peso               | -91.83                 | 0.00                               | 0.00                               | 0.00                                 | 0.00                                 |

## COMBINAZIONI DI CARICO DI TUTTE LE AZIONI AGENTI SULLA PALIFICATA

Ricordando che l'insieme zattera di fondazione-pali è una struttura intelaiata, e dunque iperstatica, si deve assumere per le sollecitazioni sismiche orizzontali trasmesse alla zattera dall'impalcato e dalla pila il coeff. di struttura

$$\beta = 1$$

Pertanto le sollecitazioni sismiche orizzontali trasmesse dall'impalcato e dalla pila, calcolate allo spiccato della pila con il coeff. di struttura  $\beta=1,2$  relativo alle strutture isostatiche, vanno divise per un fattore 1,2.

Si ha dunque

| Azioni totali rispetto baric. pila (estradosso zattera) $\beta=1$ |          |                       |                       |                         |                         |                          |
|---|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| COMB.   | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
| 1   | 689.05   | 11.27                 | 28.17                 | -178.05                 | 410.19                  | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2   | 948.96   | 11.27                 | 28.36                 | -178.05                 | 610.02                  |                          |
| 3   | 862.32   | 11.27                 | 28.36                 | -178.05                 | 750.81                  |                          |
| 4   | 948.96   | 24.92                 | 12.96                 | -393.72                 | 329.82                  |                          |
| 5   | 862.32   | 24.92                 | 12.96                 | -393.72                 | 470.61                  |                          |
| <i>Perm.</i>  | 6.7      | 689.05                | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    | Sisma<br>Trasv.          |
| <i>Vert. +</i>  | 6        | 143.28                | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                          |
| <i>Vert. -</i>  | 7        | -143.28               | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                          |
| <i>Orizz.</i>   | 7.8      | 0.00                  | 0.00                  | 85.97                   | 0.00                    |                          |
| <i>Perm.</i>  | 8.9      | 689.05                | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    | Sisma<br>Long.           |
| <i>Vert. +</i>  | 8        | 143.28                | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                          |
| <i>Vert. -</i>  | 9        | -143.28               | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                          |
| <i>Orizz.</i>   | 8.9      | 0.00                  | 85.97                 | 0.00                    | -1 220.16               |                          |

Per la verifica della fondazione, si riportano infine tutte le azioni alla quota di intradosso della zattera, con il baricentro in pianta coincidente con quello della pila.

$$N = N_{imp+pila} + N_{zattera+terreno}$$

$$H_l = H_{l,imp+pila} + H_{l,zattera+terreno}$$

$$H_t = H_{t,imp+pila} + H_{t,zattera+terreno}$$

$$M_l = M_{l,imp+pila} - H_{l,imp+pila} * h_{zattera} + M_{l,zattera+terreno}$$

$$M_t = M_{t,imp+pila} + H_{t,imp+pila} * h_{zattera} + M_{t,zattera+terreno}$$

con

$$h_{zattera} = 2.00 \quad m$$

| Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera) |            |                      |                      |                      |                      |                          |
|---|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|   | <b>N</b>   | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b>  | <b>(t)</b> | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                          |
| 1   | 1 235.64   | 11.27                | 28.17                | -200.58              | 466.53               | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2   | 1 495.55   | 11.27                | 28.36                | -200.58              | 666.75               |                          |
| 3   | 1 408.92   | 11.27                | 28.36                | -200.58              | 807.53               |                          |
| 4   | 1 495.55   | 24.92                | 12.96                | -443.55              | 355.73               |                          |
| 5   | 1 408.92   | 24.92                | 12.96                | -443.55              | 496.52               |                          |

|                |     |          |        |        |           |          |                 |
|----------------|-----|----------|--------|--------|-----------|----------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6.7 | 1 235.64 | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 235.10   | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -235.10  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 7.8 | 0.00     | 0.00   | 141.06 | 0.00      | 1 510.82 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8.9 | 1 235.64 | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 235.10   | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -235.10  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8.9 | 0.00     | 141.06 | 0.00   | -1 510.82 | 0.00     |                 |

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 6$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

| X    | Y    | Z    |
|------|------|------|
| 6.20 | 9.20 | 2.00 |

Area fondazione  $57.04 \text{ m}^2$

Baric. zattera 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.

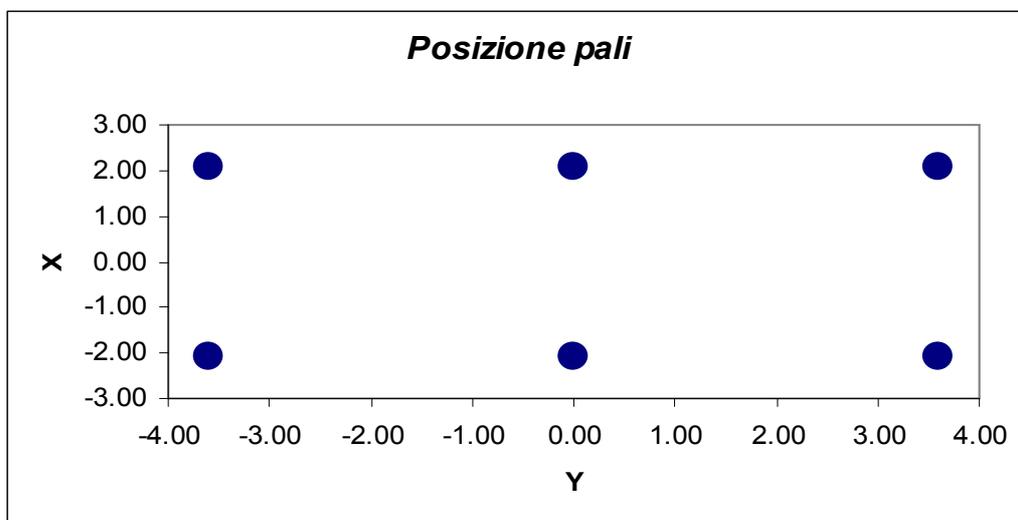
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

| $J_l$ | $J_t$ |
|-------|-------|
| 26.46 | 51.84 |

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

| Pali | X<br>(m) | Y<br>(m) | $X_{Gi}$<br>(m) | $Y_{Gi}$<br>(m) | $W_l$<br>(m) | $W_t$<br>(m) |
|------|----------|----------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|
| 1    | 2.10     | 3.60     | 2.10            | 3.60            | 12.60        | 14.40        |
| 2    | 2.10     | 0.00     | 2.10            | 0.00            | 12.60        | Infinito     |
| 3    | 2.10     | -3.60    | 2.10            | -3.60           | 12.60        | -14.40       |
| 4    | -2.10    | 3.60     | -2.10           | 3.60            | -12.60       | 14.40        |
| 5    | -2.10    | 0.00     | -2.10           | 0.00            | -12.60       | Infinito     |
| 6    | -2.10    | -3.60    | -2.10           | -3.60           | -12.60       | -14.40       |
| 7    |          |          |                 |                 |              |              |
| 8    |          |          |                 |                 |              |              |
| 9    |          |          |                 |                 |              |              |
| 10   |          |          |                 |                 |              |              |
| 11   |          |          |                 |                 |              |              |
| 12   |          |          |                 |                 |              |              |
| 13   |          |          |                 |                 |              |              |
| 14   |          |          |                 |                 |              |              |
| 15   |          |          |                 |                 |              |              |
| 16   |          |          |                 |                 |              |              |
| 17   |          |          |                 |                 |              |              |
| 18   |          |          |                 |                 |              |              |
| 19   |          |          |                 |                 |              |              |
| 20   |          |          |                 |                 |              |              |

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:

$$M_l = M_l + (N * e_{l,pali})$$

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

|                                       |     | Azioni totali rispetto baricentro palificata |                      |                      |                      |                      |                 |
|---------------------------------------|-----|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
|                                       |     | <b>N</b>                                     | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                 |
| <b>COMB.</b>                          |     | <b>(t)</b>                                   | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                 |
|                                       | 1   | 1 235.64                                     | 11.27                | 28.17                | -200.58              | 466.53               | Eserc.          |
|                                       | 2   | 1 495.55                                     | 11.27                | 28.36                | -200.58              | 666.75               |                 |
|                                       | 3   | 1 408.92                                     | 11.27                | 28.36                | -200.58              | 807.53               |                 |
|                                       | 4   | 1 495.55                                     | 24.92                | 12.96                | -443.55              | 355.73               |                 |
|                                       | 5   | 1 408.92                                     | 24.92                | 12.96                | -443.55              | 496.52               |                 |
| Perm.<br>Vert. +<br>Vert. -<br>Orizz. | 6.7 | 1 235.64                                     | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | Sisma<br>Trasv. |
|                                       | 6   | 235.10                                       | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |                 |
|                                       | 7   | -235.10                                      | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |                 |
|                                       | 7.8 | 0.00   | 0.00                 | 141.06               | 0.00                 | 1 510.82             |                 |
| Perm.<br>Vert. +<br>Vert. -<br>Orizz. | 8.9 | 1 235.64                                     | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | Sisma<br>Long.  |
|                                       | 8   | 235.10                                       | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |                 |
|                                       | 9   | -235.10                                      | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |                 |
|                                       | 8.9 | 0.00   | 141.06               | 0.00                 | -1 510.82            | 0.00                 |                 |

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

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

Per le combinazioni di carico sismiche lo sforzo assiale in testa ai pali si otterrà dalla combinazione quadratica delle componenti verticali e orizzontali dell'azione sismica, pari a:

$$N_{palo} = (N + \alpha_N (N_v^{\beta_N} + N_o^{\beta_N})^{1/\beta_N}) / n^{\circ} \text{ pali} + (M_l + \alpha_M (M_{l,v}^{\beta_M} + M_{l,o}^{\beta_M})^{1/\beta_M}) / W_l + (M_t + \alpha_M (M_{t,v}^{\beta_M} + M_{t,o}^{\beta_M})^{1/\beta_M}) / W_t$$

dove i generici  $\alpha_i = 1$  e  $\beta_i = 1$  se le sollecitazioni i-esime del sisma verticale e orizzontale hanno segni differenti (oppure una delle due è nulla), mentre  $\alpha_i$  ha il segno delle sollecitazioni i-esime e  $\beta_i = 2$  se le stesse hanno lo stesso segno.

**Sollecitazioni sui pali di fondazione (t)**

| Combinazioni di carico |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PALI                   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| 1                      | 254.3 | 311.5 | 306.8 | 309.2 | 304.5 | 350.0 | 271.7 | 365.0 | 286.7 |
| 2                      | 221.9 | 265.2 | 250.7 | 284.5 | 270.0 | 245.1 | 166.8 | 365.0 | 286.7 |
| 3                      | 189.5 | 218.9 | 194.7 | 259.8 | 235.5 | 140.2 | 61.8  | 365.0 | 286.7 |
| 4                      | 222.4 | 279.6 | 275.0 | 238.8 | 234.1 | 350.0 | 271.7 | 125.2 | 46.9  |
| 5                      | 190.0 | 233.3 | 218.9 | 214.1 | 199.6 | 245.1 | 166.8 | 125.2 | 46.9  |
| 6                      | 157.6 | 187.0 | 162.8 | 189.4 | 165.1 | 140.2 | 61.8  | 125.2 | 46.9  |
| 7                      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 8                      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 9                      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 10                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 11                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 12                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 13                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 14                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 15                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 16                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 17                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 18                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 19                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 20                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{max}$  365.0 t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{min}$  46.9 t

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

| Sollecitazioni a quota intradosso zattera |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|
| COMB.                                     | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) |
| 1   | 11.3                  | 28.2                  |
| 2   | 11.3                  | 28.4                  |
| 3   | 11.3                  | 28.4                  |
| 4   | 24.9                  | 13.0                  |
| 5   | 24.9                  | 13.0                  |
| 6   | 0.0                   | 141.1                 |
| 7   | 0.0                   | 141.1                 |
| 8   | 141.1                 | 0.0                   |
| 9   | 141.1                 | 0.0                   |

| T <sub>l</sub><br>(t) | T <sub>t</sub><br>(t) | T <sub>max</sub><br>(t) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1.88                  | 4.70                  | 5.06                    |
| 1.88                  | 4.73                  | 5.09                    |
| 1.88                  | 4.73                  | 5.09                    |
| 4.15                  | 2.16                  | 4.68                    |
| 4.15                  | 2.16                  | 4.68                    |
| 0.00                  | 23.51                 | 23.51                   |
| 0.00                  | 23.51                 | 23.51                   |
| 23.51                 | 0.00                  | 23.51                   |
| 23.51                 | 0.00                  | 23.51                   |

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 23.51 \text{ t}$

| PALI  |                  |       |
|-------|------------------|-------|
| SISM  |                  | ESER  |
| 365.0 | N <sub>max</sub> | 311.5 |
| 46.9  | N <sub>min</sub> | 157.6 |
| 23.5  | T <sub>max</sub> | 5.1   |

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<sub>0</sub> lunghezza elastica del palo

Ponendo

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 120.0 \text{ cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_0 = 4.248 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 49.939 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 365.0 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 46.9 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 53.50 \text{ cm} \qquad \text{Copriferro} = 6.5 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 90.4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Coeff. omogeneizzazione } n = 15.0$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile cls} = 122.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

#### **Verifica con sforzo normale massimo**

Centro di pressione interno al nocciolo centrale d'inerzia (Piccola eccentricità)

$$\text{Area ideale} = 1.27 \text{ m}^2$$

$$\text{Momento d'inerzia della sezione ideale} = 2.07\text{E}+07 \text{ m}^4$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 43.27 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione min di compressione Cls} = 14.37 \text{ kg/cm}^2$$

#### **Verifica con sforzo normale minimo**

Centro di pressione esterno al nocciolo centrale d'inerzia (Grande eccentricità)

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 146.53 \text{ }^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 42.72 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 46.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 1151.30 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

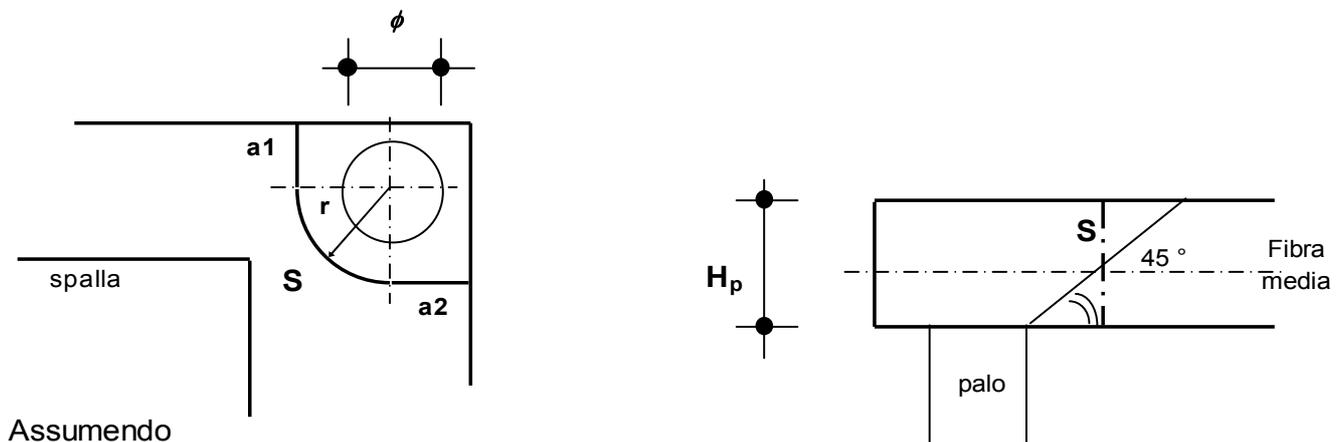
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

Si verifica lo sforzo tangenziale sulla porzione di angolo della zattera di fondazione più sollecitata dal carico assiale presente sui pali.

E' analizzata la reazione esercitata dal palo di angolo più sollecitato (vedi par. 6.01):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 365.03 \text{ t}$$

Si ipotizza una distribuzione a 45° del carico sullo spessore della zattera e si assume una superficie resistente al taglio definita dall'intersezione del cono a 45° di detta distribuzione con la fibra media:



Assumendo

$$a_1 = 1.00 \text{ m}$$

$$a_2 = 1.00 \text{ m}$$

$$r = 1.60 \text{ m}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a_1 + \pi \cdot r / 2 + a_2) = 9.03 \text{ m}^2$$

La tensione tangenziale  $\tau_{cls}$  nel calcestruzzo è poi pari a

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 4.04 \text{ kg/cm}^2$$

Tale valore va confrontato con i valori  $\tau_{c0}$  e  $\tau_{c1}$  di normativa, che per un calcestruzzo di fondazione è pari a:

$$R_{ck} \text{ fondazione} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{c0} = 7.33333 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{c1} = 21.1429 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA FUSTO PILA

Tipo verifica : tensioni ammissibili - pressoflessione deviata.

Unità di misura: Kgf; cm; Kgf / cm<sup>2</sup>; Kgf x cm; d in mm;  
deformazioni\*1000.

Simboli:

Vert. = contorno\_vertice del CLS;                    d = diametro;  
S       = Sigma (tensioni sui materiali);  
Ve      = colonna che indica se la verifica e' soddisfatta.

### MATERIALI

Calcestruzzo: Rck = 400. ; E = 360000. ; Samm= 122.5 .  
Acciaio : Tipo= FeB44k ; Samm= 2600. ; n=15 .

### SEZIONE

L'asse Z e' rivolto verso destra, l'asse Y e' rivolto verso l'alto.

Tipo sezione: CIRCOLARE

Cls:

Acciaio lento:

| vert. | Z     | Y     | ferro | Z     | Y     | d[mm] | Af[cm <sup>2</sup> ] |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| 1_1   | 0.    | 135.  | 1     | 129.6 | 0.    | 26.   | 5.3093               |
| 1_2   | 135.  | 0.    | 2     | 129.2 | 10.   | 26.   | 5.3093               |
| 1_3   | 0.    | -135. | 3     | 128.  | 20.   | 26.   | 5.3093               |
| 1_4   | -135. | 0.    | 4     | 126.1 | 29.9  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 5     | 123.4 | 39.5  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 6     | 120.  | 49.   | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 7     | 115.8 | 58.1  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 8     | 111.  | 66.9  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 9     | 105.5 | 75.3  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 10    | 99.3  | 83.2  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 11    | 92.6  | 90.7  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 12    | 85.3  | 97.6  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 13    | 77.5  | 103.9 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 14    | 69.2  | 109.6 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 15    | 60.5  | 114.6 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 16    | 51.5  | 118.9 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 17    | 42.1  | 122.6 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 18    | 32.5  | 125.5 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 19    | 22.7  | 127.6 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 20    | 12.7  | 129.  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 21    | 2.7   | 129.6 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 22    | -7.3  | 129.4 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 23    | -17.3 | 128.4 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 24    | -27.2 | 126.7 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 25    | -36.9 | 124.2 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 26    | -46.4 | 121.  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 27    | -55.7 | 117.  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 28    | -64.6 | 112.4 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 29    | -73.1 | 107.  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 30    | -81.1 | 101.1 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 31    | -88.7 | 94.5  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 32    | -95.8 | 87.3  | 26.   | 5.3093               |

|    |        |        |     |        |
|----|--------|--------|-----|--------|
| 33 | -102.2 | 79.6   | 26. | 5.3093 |
| 34 | -108.1 | 71.5   | 26. | 5.3093 |
| 35 | -113.3 | 62.9   | 26. | 5.3093 |
| 36 | -117.8 | 54.    | 26. | 5.3093 |
| 37 | -121.7 | 44.7   | 26. | 5.3093 |
| 38 | -124.8 | 35.1   | 26. | 5.3093 |
| 39 | -127.1 | 25.4   | 26. | 5.3093 |
| 40 | -128.7 | 15.4   | 26. | 5.3093 |
| 41 | -129.5 | 5.4    | 26. | 5.3093 |
| 42 | -129.5 | -4.6   | 26. | 5.3093 |
| 43 | -128.8 | -14.6  | 26. | 5.3093 |
| 44 | -127.3 | -24.6  | 26. | 5.3093 |
| 45 | -125.  | -34.3  | 26. | 5.3093 |
| 46 | -121.9 | -43.9  | 26. | 5.3093 |
| 47 | -118.2 | -53.2  | 26. | 5.3093 |
| 48 | -113.7 | -62.2  | 26. | 5.3093 |
| 49 | -108.5 | -70.8  | 26. | 5.3093 |
| 50 | -102.7 | -79.   | 26. | 5.3093 |
| 51 | -96.3  | -86.7  | 26. | 5.3093 |
| 52 | -89.3  | -93.9  | 26. | 5.3093 |
| 53 | -81.8  | -100.5 | 26. | 5.3093 |
| 54 | -73.7  | -106.6 | 26. | 5.3093 |
| 55 | -65.3  | -112.  | 26. | 5.3093 |
| 56 | -56.4  | -116.7 | 26. | 5.3093 |
| 57 | -47.2  | -120.7 | 26. | 5.3093 |
| 58 | -37.7  | -124.  | 26. | 5.3093 |
| 59 | -28.   | -126.5 | 26. | 5.3093 |
| 60 | -18.1  | -128.3 | 26. | 5.3093 |
| 61 | -8.1   | -129.3 | 26. | 5.3093 |
| 62 | 1.9    | -129.6 | 26. | 5.3093 |
| 63 | 11.9   | -129.1 | 26. | 5.3093 |
| 64 | 21.9   | -127.7 | 26. | 5.3093 |
| 65 | 31.7   | -125.7 | 26. | 5.3093 |
| 66 | 41.3   | -122.8 | 26. | 5.3093 |
| 67 | 50.7   | -119.3 | 26. | 5.3093 |
| 68 | 59.8   | -115.  | 26. | 5.3093 |
| 69 | 68.5   | -110.  | 26. | 5.3093 |
| 70 | 76.8   | -104.4 | 26. | 5.3093 |
| 71 | 84.7   | -98.1  | 26. | 5.3093 |
| 72 | 92.    | -91.3  | 26. | 5.3093 |
| 73 | 98.8   | -83.9  | 26. | 5.3093 |
| 74 | 105.   | -76.   | 26. | 5.3093 |
| 75 | 110.6  | -67.6  | 26. | 5.3093 |
| 76 | 115.5  | -58.8  | 26. | 5.3093 |
| 77 | 119.7  | -49.7  | 26. | 5.3093 |
| 78 | 123.2  | -40.3  | 26. | 5.3093 |
| 79 | 125.9  | -30.6  | 26. | 5.3093 |
| 80 | 127.9  | -20.8  | 26. | 5.3093 |
| 81 | 129.1  | -10.8  | 26. | 5.3093 |

SOLLECITAZIONI AGENTI

Sforzi normali applicati in  $z= 0.$  ;  $y= 0.$  (baricentro CLS)  
 Convenzioni: N + trazione; Mz + fib.inferiori tese; My + fib.sinistra  
 tese.

| N. | N         | Mz        | My       | Sollecitaz. ultima |
|----|-----------|-----------|----------|--------------------|
|    | calcolata |           |          |                    |
| 1  | -948960   | 61002000  | 17805000 |                    |
| 2  | -832320   | 146419000 | 0        |                    |

RISULTATI

Piani di equilibrio ( $\epsilon = \mu_z * y + \mu_y * z + \lambda$ ):

| Sol. | $\mu_z$        | $\mu_y$        | $\lambda$      |
|------|----------------|----------------|----------------|
| 1    | -0.00000063967 | -0.00000018688 | -0.00003691074 |
| 2    | -0.00000288258 | 0.00000000053  | 0.00007523966  |

Tensioni massime sui materiali:

| sol | Cls   |       |    | Acciaio lento |         |    |
|-----|-------|-------|----|---------------|---------|----|
|     | vert. | S cls | Ve | ferro         | S ferri | Ve |
| 1   | 1- 1  | -44.4 | si | 18            | -665.5  | si |
| 2   | 1- 1  | -113. | si | 62            | 2423.4  | si |

## CALCOLO PILA 36 carr Dx

### GEOMETRIA DELLA PILA

Di seguito si riportano i principali parametri geometrici della pila e degli impalcati ad essa appoggiati:

#### **### ZATTERA**

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Altezza $h_{zattera}$                  | 2.50  | m |
| Dimensione longitudinale $L_{long}$    | 7.70  | m |
| Dimensione trasversale $L_{trasv}$     | 10.20 | m |
| Profondità intradosso zattera dal p.c. | 3.71  | 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 $h_{bagg}$   | 0.42  | m |
| Pulvino $h_{pulvino}$ | 3.13  | m |
| Fusto pila $h_{pila}$ | 20.37 | m |

#### **Sezioni in pianta**

|                                    |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|
| Baggiolo $A_{bagg}$                | 1.56  | $m^2$ |
| n° totale baggioli                 | 2     |       |
| Valore medio pulvino $A_{m,pl}$    | 30.62 | $m^2$ |
| Area fusto pila allo spiccato pila | 9.62  | $m^2$ |

#### **Baricentri**

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino       | 1.39  | m |
| Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila | 10.19 | m |

#### **Momenti d'inerzia**

|   |      |       |
|---|------|-------|
| Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv. | 7.37 | $m^4$ |
|---|------|-------|

#### **Prospetti longitudinali**

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$              | 3.50  | m |
| Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino | 1.57  | m |
| Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$                 | 3.50  | m |
| Altezza fusto pila dal p.c.                          | 19.16 | m |
| Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.         | 9.58  | m |

### ### VERIFICA DI SNELLEZZA DELLA PILA

La snellezza  $\lambda$  della pila è pari a:

$$\lambda = L_0/i$$

con  $i = (J/A)^{0,5}$  raggio d'inerzia della sezione e  $L_0$  lunghezza libera d'inflessione  
Nel caso in esame risulta:

$$\lambda = 53.71$$

## **AZIONI SULLA FONDAZIONE DELLA PILA**

Le azioni caratteristiche agenti sulla spalla sono le seguenti:

### ***AZIONI VERTICALI D'ESERCIZIO***

- ### Carichi permanenti
- ### Carichi accidentali mobili (automezzi e folla)

### ***AZIONI ORIZZONTALI D'ESERCIZIO***

#### ***TRASVERSALI***

- ### Vento trasversale sull'impalcato (Imp. scarico e carico)
- ### Azione centrifuga per carichi mobili

#### ***LONGITUDINALI***

- ### Azione longitudinale di frenatura
- ### Resistenza parassita dei vincoli

### ***AZIONI SISMICHE***

- ### Sisma longitudinale e trasversale sulla pila

Le azioni verranno nel seguito distinte tra azioni trasmesse dall'impalcato agli appoggi (e quindi agenti a quota estradosso pulvino, nel baricentro di questo) e azioni derivanti dal peso proprio degli elementi della pila.

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 convenzionalmente assunto come destro, l'asse x secondo la direzione longitudinale dell'impalcato, con il verso che va da sx a dx e l'asse z orientato verso il basso.

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

## **AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO**

Riferendosi alla quota estradosso del pulvino e al baricentro dello stesso si ottengono le azioni di progetto elencate nel proseguio della presente relazione.

## AZIONI VERTICALI

### ### CARICHI PERMANENTI

Il peso proprio dell'impalcato gravante sugli appoggi della pila, come risulta dai calcoli svolti nella specifica relazione, risulta essere pari a:

$$N_{app} = 703.96 \text{ t}$$

### ### CARICHI ACCIDENTALI

Saranno ora analizzati gli effetti globali sull'impalcato trasmessi dai carichi accidentali. Per la verifica della pila, si considerano due distinte condizioni di carico: la prima che massimizza il carico verticale N e la seconda che massimizza il momento trasversale  $M_t$ .

Si ricavano per ciascuna disposizione di carichi accidentali i valori del carico verticale e del momento trasversale totali, rispetto al baricentro del pulvino (quota estradosso)

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

Si ricavano di seguito per ciascuna disposizione di carichi accidentali i valori del carico verticale e del momento trasversale totali, rispetto all'estradosso del pulvino e al baricentro dello stesso, ricordando che si assumono i momenti antiorari positivi, nel riferimento cartesiano assunto.

*DISP. 1* Max carico verticale N

In totale per la disposizione 1 si ha:

$$\begin{array}{l} N \quad 355.52 \text{ t} \\ M_t \quad 570.51 \text{ t*m} \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{l} N \quad 288.26 \text{ t} \\ M_t \quad 780.69 \text{ t*m} \end{array}$$

## AZIONI ORIZZONTALI

### ### AZIONI TRASVERSALI

#### Vento trasversale sull'impalcato

Si considera il seguente carico di riferimento :

$$q_{\text{vento}} = 0.025 \text{ kg/cm}^2$$

Vengono analizzate due distinte situazioni di carico:

- 1) Vento trasversale con impalcato scarico
- 2) Vento trasversale con impalcato carico

Per la condizione di impalcato carico, si dovrà applicare il coefficiente moltiplicativi  $K_w$  pari a 0,6:

La forza orizzontale  $H_t$  e il momento trasversale  $M_t$  risultano pari a

(1) Impalcato scarico

| $H_t$<br>(t) | $M_t$<br>(t*m) |
|--------------|----------------|
| 33.22        | 49.00          |

(2) Impalcato carico

| $H_t$<br>(t) | $M_t$<br>(t*m) |
|--------------|----------------|
| 67.00        | 145.43         |

### **### AZIONI LONGITUDINALI**

#### **Frenamento**

Tale forza è pari al maggiore dei due valori  $H_{f1,a}$  pari a 1/10 della singola colonna di carico più pesante per ciascuna carreggiata e  $H_{f1,b}$  pari al 20% del carico  $q_{1,a}$  che può interessare la struttura:

$$\begin{aligned} \text{n}^\circ \text{ campate collegate} & \quad 5 \\ \text{lunghezza complessiva campate collegate} & \quad 182 \quad \text{m} \\ H_{f1,a} & = 0,10 * (3 * 20 + 3 * (\text{lunghezza compless. campate collegate} - 9)) = \quad 57.9 \quad \text{t} \\ H_{f1,b} & = 0,20 * (3 * 20 * (1 + 0,5 + 0.35)) = \quad 22.2 \quad \text{t} \quad (3 \text{ colonne di carico}) \end{aligned}$$

La forza complessiva di frenatura  $H_f$ , divisa per i punti fissi di vincolo, è dunque pari a:

$$H_f = 14.475 \quad \text{t}$$

#### **Resistenza parassita dei vincoli**

Gli appoggi sono in acciaio e PTFE, ed il coefficiente di attrito assunto è pari a  $k_{att} = 0,03$ .

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 21.12 \quad \text{t}$$

### **AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO IN CONDIZIONI DI SISMA**

Le azioni sismiche si dividono in azioni orizzontali e azioni verticali  
Per tutte le azioni sismiche si fa riferimento all'analisi statica equivalente.

#### **Forza sismica orizzontale (analisi statica)**

$$H_s = K_h * W_h$$

dove

$$K_h = C * R * \varepsilon * \beta * I$$

$W_h$

$S$

$$C = (S - 2) / 100$$

$$R = 1.00$$

$$\varepsilon = 1.20$$

$$\beta = 1.20$$

$$I = 1.20$$

CARICHI PERMANENTI

grado di sismicità

coefficiente di intensità sismica

coefficiente di risposta ( $T_0 < 0.8 \text{ s}$ )

coefficiente di fondazione

coefficiente di struttura ISOSTATICA

coefficiente di protezione sismica

**Forza sismica verticale (analisi statica)**

$$N_s = K_v * W_v$$

dove

$$K_v = m * C * I$$

$W_v$  CARICHI PERMANENTI  
 $S$  grado di sismicità  
 $C = (S - 2) / 100$  coefficiente di intensità sismica  
 $m = 2.00$  coefficiente verticale  
 $I = 1.20$  coefficiente di protezione sismica

| S | C    | $K_h$  | $K_v$  |
|---|------|--------|--------|
| 9 | 0.07 | 0.1210 | 0.1680 |

Rispetto all'asse dell'impalcato, il sisma può essere trasversale o longitudinale.

**### SISMA TRASVERSALE - Analisi statica**

Per il sisma trasversale i carichi permanenti  $W_h$  e  $W_v$  si riducono al peso dell'impalcato sulla pila  $N_{app}$

$$W = W_h = W_v = N_{app}$$

Per il sisma trasversale si calcola, oltre alla forza orizzontale risultante, anche il momento trasversale risultante di tale forza rispetto agli appoggi.

Indicando con  $h_{bar,p}$  l'altezza del baricentro dei carichi permanenti (punto dove risulta applicata la forza sismica orizzontale) rispetto alla quota di estradosso del pulvino, si ha per il momento trasversale dovuto al sisma

$$M_{s,t} = H_{s,t} * h_{bar,p}$$

mentre indicando con  $e_l$  l'eccentricità dell'asse appoggi rispetto al baricentro del pulvino e con  $\Delta N_{s,t}$  la forza sismica verticale, si ha per il momento longitudinale  $M_{s,i}$ :

$$M_{s,i} = -e_l * \Delta N_{s,t}$$

$$h_{bar,p} = 1.04 \text{ m}$$

| W<br>(t) | Orizzont.        |                    | Vert.                   |
|----------|------------------|--------------------|-------------------------|
|          | $H_{s,t}$<br>(t) | $M_{s,t}$<br>(t*m) | $\Delta N_{s,t}$<br>(t) |
| 693.94   | 83.94            | 86.88              | 116.58                  |

### ### SISMA LONGITUDINALE - Analisi statica

Per il sisma longitudinale i carichi permanenti  $W_h$  sono pari al peso degli impalcati del viadotto collegati tra loro a partire da entrambi gli appoggi fissi:

$$W_h = \sum N_{imp}$$

mentre i carichi permanenti  $W_v$  sono pari al peso dell'impalcato sugli appoggi  $N_{app}$

$$W_v = N_{app}$$

Come da normativa, non si considera presente il sovraccarico mobile sull'impalcato.

Il punto di applicazione della forza sull'impalcato è posto ad un'altezza rispetto all'estradosso pulvino pari a  $h_{sism,l}$

| $W_h$ | $h_{sism,l}$ |
|-------|--------------|
| (t)   |              |
| 694   | 1.04         |

| $H_{s,l}$ | $M_{s,l}$ |
|-----------|-----------|
| (t)       | (t*m)     |
| 83.94     | -86.88    |

Indicando con  $e_l$  l'eccentricità dell'asse appoggi rispetto al baricentro del pulvino e con  $\Delta N_{s,t}$  la forza sismica verticale, si ha per il momento longitudinale  $M_{s,l}$ :

$$M_{s,l} = -e_l \cdot \Delta N_{s,t}$$

| $W$    | $\Delta N_{s,t}$ |
|--------|------------------|
| (t)    | (t)              |
| 693.94 | 116.58           |

### COMBINAZIONI DI CARICO DELLE AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

In accordo con quanto contenuto nel D.M. 4.5.90 si individuano quattro gruppi di carico.

|                   | Azione gruppo | COEFFICIENTI MOLTIPLICATIVI |             |       |       |       |              |
|-------------------|---------------|-----------------------------|-------------|-------|-------|-------|--------------|
|                   |               | Perm.                       | Acc. dinam. | Fren. | Vento | Sisma | Attrito app. |
| Viadotto scarico  | A I           | 1.00                        | 0.00        | 0.00  | 1.00  | 0.00  | 1.00         |
| C.N.E.+ vento     | A II          | 1.00                        | 1.00        | 0.00  | 0.60  | 0.00  | 1.00         |
| C.N.E.+ frenatura | A III         | 1.00                        | 1.00        | 1.00  | 0.20  | 0.00  | 1.00         |
| Cond. sismica     | A V           | 1.00                        | 0.00        | 0.00  | 0.00  | 1.00  | 0.00         |

In precedenza, per ciò che attiene alla disposizione dei carichi accidentali, si sono esaminate 4 distinte condizioni di carico.

Correlando allora questi carichi accidentali con le altre azioni esterne, avremo le seguenti combinazioni.

| COMB. | AZ. GR. | CARICHI  | Az. prev. |
|-------|---------|--|-----------|
| 1     | A I     | Perm. + Vento (1) * 1.0 + Attr. * 1.0                              | Imp. sc.  |
| 2     | A II    | Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) * 0.6 + Attr. * 1.0               | Ven. tr.  |
| 3     | A II    | Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) * 0.6 + Attr. * 1.0               | Ven. tr.  |
| 4     | A III   | Perm. + Acc. DISP. 1 + Frenat. * 1 + Vento (3) * 0.2 + Attr. * 1.0 | Frenat.   |
| 5     | A III   | Perm. + Acc. DISP. 2 + Frenat. * 1 + Vento (3) * 0.2 + Attr. * 1.0 | Frenat.   |
| 6     | A V     | Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale positiva              | Sism. T   |
| 7     | A V     | Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale negativa              | Sism. T   |
| 8     | A V     | Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale positiva            | Sism. L   |
| 9     | A V     | Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale negativa            | Sism. L   |

Si determinano allora le azioni di progetto riferite alla quota degli appoggi.

COMB. 1 Perm. + Vento (1) \* 1.0 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto    | N<br>(t) | H <sub>I</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>I</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|-----------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti      | 703.96   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Vento (1) * 1.0 | 0.00     | 0.00                  | 33.22                 | 0.00                    | 49.00                   |
| Attrito * 1.00  | 0.00     | 21.12                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT             | 703.96   | 21.12                 | 33.22                 | 0.00                    | 49.00                   |

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 0.6 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t) | H <sub>I</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>I</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 703.96   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 1     | 355.52   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 570.51                  |
| Vento (3) * 0.60 | 0.00     | 0.00                  | 40.20                 | 0.00                    | 87.26                   |
| Attrito * 1.00   | 0.00     | 21.12                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT              | 1059.48  | 21.12                 | 40.20                 | 0.00                    | 657.77                  |

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 0.6 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t) | H <sub>I</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>I</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 703.96   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 2     | 288.26   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 780.69                  |
| Vento (3) * 0.60 | 0.00     | 0.00                  | 40.20                 | 0.00                    | 87.26                   |
| Attrito * 1.00   | 0.00     | 21.12                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT              | 992.22   | 21.12                 | 40.20                 | 0.00                    | 867.95                  |

COMB. 4 Perm. + Acc. DISP. 1 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 703.96   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 1     | 355.52   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 570.51                  |
| Frenat.*1        | 0.00     | 14.48                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Vento (3) * 0.20 | 0.00     | 0.00                  | 13.40                 | 0.00                    | 29.09                   |
| Attrito * 1.00   | 0.00     | 21.12                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT              | 1059.48  | 35.59                 | 13.40                 | 0.00                    | 599.59                  |

COMB. 5 Perm. + Acc. DISP. 2 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 703.96   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 2     | 288.26   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 780.69                  |
| Frenat.*1        | 0.00     | 14.48                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Vento (3) * 0.20 | 0.00     | 0.00                  | 13.40                 | 0.00                    | 29.09                   |
| Attrito * 1.00   | 0.00     | 21.12                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT              | 992.22   | 35.59                 | 13.40                 | 0.00                    | 809.78                  |

COMB. 6 Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale positiva

| Az. progetto        | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|---------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti          | 703.96   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. trasv. | 0.00     | 0.00                  | 83.94                 | 0.00                    | 86.88                   |
| Sisma vert. +       | 116.58   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                 | 820.54   | 0.00                  | 83.94                 | 0.00                    | 86.88                   |

COMB. 7 Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale negativa

| Az. progetto        | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|---------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti          | 703.96   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. trasv. | 0.00     | 0.00                  | 83.94                 | 0.00                    | 86.88                   |
| Sisma vert. -       | -116.58  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                 | 587.38   | 0.00                  | 83.94                 | 0.00                    | 86.88                   |

COMB. 8

Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale positiva

| Az. progetto       | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|--------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti         | 703.96   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. long. | 0.00     | 83.94                 | 0.00                  | -86.88                  | 0.00                    |
| Sisma vert. +      | 116.58   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                | 820.54   | 83.94                 | 0.00                  | -86.88                  | 0.00                    |

COMB. 9

Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale negativa

| Az. progetto       | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|--------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti         | 703.96   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. long. | 0.00     | 83.94                 | 0.00                  | -86.88                  | 0.00                    |
| Sisma vert. -      | -116.58  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                | 587.38   | 83.9                  | 0.00                  | -86.9                   | 0.00                    |

Si riepilogano ora tutte le combinazioni esaminate, avendo l'accortezza di separare gli effetti del sisma orizzontale e di quello verticale per la verifica delle strutture che fa la pila in oggetto. Difatti per questi elementi verrà applicata la regola che prescrive la composizione quadratica delle due azioni.

| AZIONI A QUOTA ESTRADOSSO PULVINO |          |                       |                       |                         |                         |        |
|-----------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------|
| COMB.                             | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |        |
| 1                                 | 703.96   | 21.12                 | 33.22                 | 0.00                    | 49.00                   | Eserc. |
| 2                                 | 1059.48  | 21.12                 | 40.20                 | 0.00                    | 657.77                  |        |
| 3                                 | 992.22   | 21.12                 | 40.20                 | 0.00                    | 867.95                  |        |
| 4                                 | 1059.48  | 35.59                 | 13.40                 | 0.00                    | 599.59                  |        |
| 5                                 | 992.22   | 35.59                 | 13.40                 | 0.00                    | 809.78                  |        |

|         |     |         |       |       |        |       |                 |
|---------|-----|---------|-------|-------|--------|-------|-----------------|
| Perm.   | 6.7 | 703.96  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  | Sisma<br>Trasv. |
| Vert. + | 6   | 116.58  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |                 |
| Vert. - | 7   | -116.58 | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |                 |
| Orizz.  | 7.8 | 0.00    | 0.00  | 83.94 | 0.00   | 86.88 |                 |
| Perm.   | 8.9 | 703.96  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  | Sisma<br>Long.  |
| Vert. + | 8   | 116.58  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |                 |
| Vert. - | 9   | -116.58 | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |                 |
| Orizz.  | 8.9 | 0.00    | 83.94 | 0.00  | -86.88 | 0.00  |                 |

## AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA PILA IN CONDIZIONI NORMALI

Ricordando la geometria della pila delineata nel cap. 4, e indicando con  $e_{v,N}$  le altezze del baricentro rispettivamente di pulvino e fusto pila rispetto all'estradosso della zattera, si ha:

|            | <b>N<br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> |
|------------|------------------|-------------------------------------|
| Pulvino    | 239.60           | 21.76                               |
| Fusto pila | 489.95           | 10.19                               |
|            | 729.55           | 13.99                               |

## AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA PILA IN CONDIZIONI DI SISMA

Si ricorda che risulta:

| <b>S</b> | <b>C</b> | <b><math>K_h</math></b> | <b><math>K_v</math></b> |
|----------|----------|-------------------------|-------------------------|
| 9        | 0.070    | 0.1210                  | 0.1680                  |

Le azioni si calcolano riportate a quota estradosso zattera.

### **### SISMA LONGITUDINALE**

Risulta

|            | <b><math>H_l</math><br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> | <b><math>M_l</math><br/>(t*m)</b> |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Pulvino    | 28.98                           | 21.76                               | -630.74                           |
| Fusto pila | 59.26                           | 10.19                               | -603.61                           |
|            | 88.25                           |                                     | -1234.35                          |

### **### SISMA TRASVERSALE**

Risulta

|            | <b><math>H_t</math><br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> | <b><math>M_t</math><br/>(t*m)</b> |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Pulvino    | 28.98                           | 21.76                               | 630.74                            |
| Fusto pila | 59.26                           | 10.19                               | 603.61                            |
|            | 88.25                           |                                     | 1234.35                           |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dalla pila alla zattera, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti nel baricentro della pila, quota estradosso zattera, si ha:

*Az. progetto*

|                                   | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|-----------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Peso proprio pila (fusto+pulvino) | 729.55           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Sisma long. orizzontale           | 0.00             | 88.25                        | 0.00                         | -1 234.35                      | 0.00                           |
| Sisma trasv. orizzontale          | 0.00             | 0.00                         | 88.25                        | 0.00                           | 1 234.35                       |
| Sisma vert. + Incr. peso          | 122.56           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Sisma vert. - Decr. peso          | -122.56          | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |

## AZIONI DOVUTE AL VENTO

La pressione di riferimento esercitata dal vento, come già visto sopra, è pari a

$$q_{\text{vento}} = 0.025 \text{ kg/cm}^2$$

### ### VENTO TRASVERSALE

La sezione resistente  $A_r$  della pila è pari all'area del prospetto longitudinale del fusto pila e del pulvino

$$A_r = 78.02 \text{ m}^2$$

La risultante della pressione del vento è applicata ad una distanza  $h_{\text{vento}}$  dall'estradosso della zattera pari a:

$$h_{\text{vento}} = 12.36 \text{ m}$$

Risulta dunque, calcolando il momento trasversale  $M_t$  rispetto alla quota di estradosso della zattera

| $q_{\text{vento}}$<br>(t/m <sup>2</sup> ) | $A_r$<br>(m <sup>2</sup> ) | $H_t$<br>(t) | $h_{\text{vento}}$<br>(m) | $M_t$<br>(t*m) |
|---|----------------------------|--------------|---------------------------|----------------|
| 0.25                                      | 78.02                      | 19.50        | 12.36                     | 240.97         |

## COMBINAZIONI DI CARICO DI TUTTE LE AZIONI AGENTI SULLA ZATTERA

Per poter sommare le azioni provenienti dall'impalcato a quelle dovute al peso proprio, è necessario riportare innanzitutto le azioni trasmesse dall'impalcato al baricentro della pila, quota estradosso zattera, rispetto a dove sono state calcolate le azioni relative al peso proprio.

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.

$$e_v = -23.50 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

|              |   | Azioni impalcato rispetto baric. pila (estradosso zattera) |                      |                      |                      |                      |                          |
|--------------|---|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|              |   | <b>N</b>   | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b> |   | <b>(t)</b>   | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                          |
|              | 1 | 703.96   | 21.12                | 33.22                | -496.29              | 829.63               | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|              | 2 | 1059.48  | 21.12                | 40.20                | -496.29              | 1602.46              |                          |
|              | 3 | 992.22   | 21.12                | 40.20                | -496.29              | 1812.65              |                          |
|              | 4 | 1059.48  | 35.59                | 13.40                | -836.46              | 914.49               |                          |
|              | 5 | 992.22   | 35.59                | 13.40                | -836.46              | 1124.68              |                          |

|                |     |         |       |       |          |         |                 |
|----------------|-----|---------|-------|-------|----------|---------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6.7 | 703.96  | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 116.58  | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -116.58 | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 7.8 | 0.00    | 0.00  | 83.94 | 0.00     | 2059.45 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8.9 | 703.96  | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 116.58  | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -116.58 | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8.9 | 0.00    | 83.94 | 0.00  | -2059.45 | 0.00    |                 |

Si sommano ora le azioni provenienti dall'impalcato a quelle derivanti dal peso proprio degli elementi della pila (fusto+pulvino), dal vento trasversale sugli elementi della pila e dal sisma orizzontale, trasversale e longitudinale.

|              |   | Azioni totali rispetto baric. pila (estradosso zattera) |                      |                      |                      |                      |                          |
|--------------|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|              |   | <b>N</b>  | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b> |   | <b>(t)</b>  | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                          |
|              | 1 | 1 433.51  | 21.12                | 52.72                | -496.29              | 1 070.59             | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|              | 2 | 1 789.03  | 21.12                | 51.90                | -496.29              | 1 747.04             |                          |
|              | 3 | 1 721.77  | 21.12                | 51.90                | -496.29              | 1 957.23             |                          |
|              | 4 | 1 789.03  | 35.59                | 25.10                | -836.46              | 1 059.07             |                          |
|              | 5 | 1 721.77  | 35.59                | 25.10                | -836.46              | 1 269.26             |                          |

|                |     |          |        |        |           |          |                 |
|----------------|-----|----------|--------|--------|-----------|----------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6.7 | 1 433.51 | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 239.15   | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -239.15  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 6.7 | 0.00     | 0.00   | 172.19 | 0.00      | 3 293.79 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8.9 | 1 433.51 | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 239.15   | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -239.15  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8.9 | 0.00     | 172.19 | 0.00   | -3 293.79 | 0.00     |                 |

**AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA ZATTERA E DEL TERRENO PORTATO  
IN CONDIZIONI NORMALI**

Ricordando la geometria della zattera delineata nel cap. 4, e indicando con  $e_{v,N}$  l'altezza del baricentro della zattera e del terreno portato rispetto all'intradosso della zattera stessa, si ha:

Peso specifico terreno portato  $\gamma_t = 1.80 \text{ t/m}^3$

|                 | <b>N<br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> |
|-----------------|------------------|-------------------------------------|
| Zattera         | 490.88           | 1.25                                |
| Terreno portato | 150.11           | 3.11                                |
|                 | 640.98           | 1.68                                |

**AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA ZATTERA E DEL TERRENO PORTATO  
IN CONDIZIONI DI SISMA**

Ricordando che l'insieme zattera di fondazione-pali è una struttura intelaiata, e dunque iperstatica, si assume per il coeff. di struttura

$$\beta = 1$$

da cui si trova

| <b>S</b> | <b>C</b> | <b><math>K_h</math></b> | <b><math>K_v</math></b> |
|----------|----------|-------------------------|-------------------------|
| 9        | 0.07     | 0.1008                  | 0.1680                  |

Le azioni si calcolano riportate a quota intradosso zattera.

**### SISMA LONGITUDINALE**

Risulta

|                 | <b><math>H_l</math><br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> | <b><math>M_l</math><br/>(t*m)</b> |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Zattera         | 49.48                           | 1.25                                | -61.85                            |
| Terreno portato | 15.13                           | 3.11                                | -46.98                            |
|                 | 64.61                           |                                     | -108.83                           |

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

|                 | <b>H<sub>t</sub></b><br><b>(t)</b> | <b>e<sub>v,N</sub></b><br><b>(m)</b> | <b>M<sub>t</sub></b><br><b>(t*m)</b> |
|-----------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Zattera         | 49.48                              | 1.25                                 | 61.85                                |
| Terreno portato | 15.13                              | 3.11                                 | 46.98                                |
|                 | 64.61                              |                                      | 108.83                               |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dalla sola zattera + terreno portato alla palificata, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti nel baricentro della pila, quota intradosso zattera, si ha:

*Az. progetto*

|  | <b>N</b><br><b>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub></b><br><b>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub></b><br><b>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub></b><br><b>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub></b><br><b>(t*m)</b> |
|--|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Peso proprio zattera + terreno portato | 640.98                 | 0.00                               | 0.00                               | 0.00                                 | 0.00                                 |
| Sisma long. orizzontale                | 0.00                   | 64.61                              | 0.00                               | -108.83                              | 0.00                                 |
| Sisma trasv. orizzontale               | 0.00                   | 0.00                               | 64.61                              | 0.00                                 | 108.83                               |
| Sisma vert. + Incr. peso               | 107.68                 | 0.00                               | 0.00                               | 0.00                                 | 0.00                                 |
| Sisma vert. - Decr. peso               | -107.68                | 0.00                               | 0.00                               | 0.00                                 | 0.00                                 |

## COMBINAZIONI DI CARICO DI TUTTE LE AZIONI AGENTI SULLA PALIFICATA

Ricordando che l'insieme zattera di fondazione-pali è una struttura intelaiata, e dunque iperstatica, si deve assumere per le sollecitazioni sismiche orizzontali trasmesse alla zattera dall'impalcato e dalla pila il coeff. di struttura

$$\beta = 1$$

Pertanto le sollecitazioni sismiche orizzontali trasmesse dall'impalcato e dalla pila, calcolate allo spiccato della pila con il coeff. di struttura  $\beta=1,2$  relativo alle strutture isostatiche, vanno divise per un fattore 1,2.

Si ha dunque

|                |     | Azioni totali rispetto baric. pila (estradosso zattera) $\beta=1$ |                       |                       |                         |                         |                          |
|----------------|-----|---|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| COMB.          |     | N<br>(t)  | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
|                | 1   | 1 433.51  | 21.12                 | 52.72                 | -496.29                 | 1 070.59                | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|                | 2   | 1 789.03  | 21.12                 | 51.90                 | -496.29                 | 1 747.04                |                          |
|                | 3   | 1 721.77  | 21.12                 | 51.90                 | -496.29                 | 1 957.23                |                          |
|                | 4   | 1 789.03  | 35.59                 | 25.10                 | -836.46                 | 1 059.07                |                          |
|                | 5   | 1 721.77  | 35.59                 | 25.10                 | -836.46                 | 1 269.26                |                          |
| <i>Perm.</i>   | 6.7 | 1 433.51  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    | Sisma<br>Trasv.          |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 239.15  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                          |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -239.15   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                          |
| <i>Orizz.</i>  | 7.8 | 0.00  | 0.00                  | 143.49                | 0.00                    | 2 744.83                |                          |
| <i>Perm.</i>   | 8.9 | 1 433.51  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    | Sisma<br>Long.           |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 239.15  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                          |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -239.15   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                          |
| <i>Orizz.</i>  | 8.9 | 0.00  | 143.49                | 0.00                  | -2 744.83               | 0.00                    |                          |

Per la verifica della fondazione, si riportano infine tutte le azioni alla quota di intradosso della zattera, con il baricentro in pianta coincidente con quello della pila.

$$N = N_{\text{imp+pila}} + N_{\text{zattera+terreno}}$$

$$H_i = H_{i,\text{imp+pila}} + H_{i,\text{zattera+terreno}}$$

$$H_t = H_{t,\text{imp+pila}} + H_{t,\text{zattera+terreno}}$$

$$M_i = M_{i,\text{imp+pila}} - H_{i,\text{imp+pila}} * h_{\text{zattera}} + M_{i,\text{zattera+terreno}}$$

$$M_t = M_{t,\text{imp+pila}} + H_{t,\text{imp+pila}} * h_{\text{zattera}} + M_{t,\text{zattera+terreno}}$$

con

$$h_{\text{zattera}} = 2.50 \quad \text{m}$$

| Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera) |                  |                              |                              |                                |                                |                          |
|---|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| <b>COMB.</b>  | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |                          |
| 1   | 2 074.49         | 21.12                        | 52.72                        | -549.09                        | 1 202.40                       | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2   | 2 430.01         | 21.12                        | 51.90                        | -549.09                        | 1 876.80                       |                          |
| 3   | 2 362.75         | 21.12                        | 51.90                        | -549.09                        | 2 086.98                       |                          |
| 4   | 2 430.01         | 35.59                        | 25.10                        | -925.44                        | 1 121.83                       |                          |
| 5   | 2 362.75         | 35.59                        | 25.10                        | -925.44                        | 1 332.01                       |                          |

|                |     |          |        |        |           |          |                 |
|----------------|-----|----------|--------|--------|-----------|----------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6.7 | 2 074.49 | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 346.83   | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -346.83  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 7.8 | 0.00     | 0.00   | 208.10 | 0.00      | 3 212.38 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8.9 | 2 074.49 | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 346.83   | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -346.83  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8.9 | 0.00     | 208.10 | 0.00   | -3 212.38 | 0.00     |                 |

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 8$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

| X    | Y     | Z    |
|------|-------|------|
| 7.70 | 10.20 | 2.50 |

Area fondazione  $78.54 \text{ m}^2$

Baric. zattera 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.

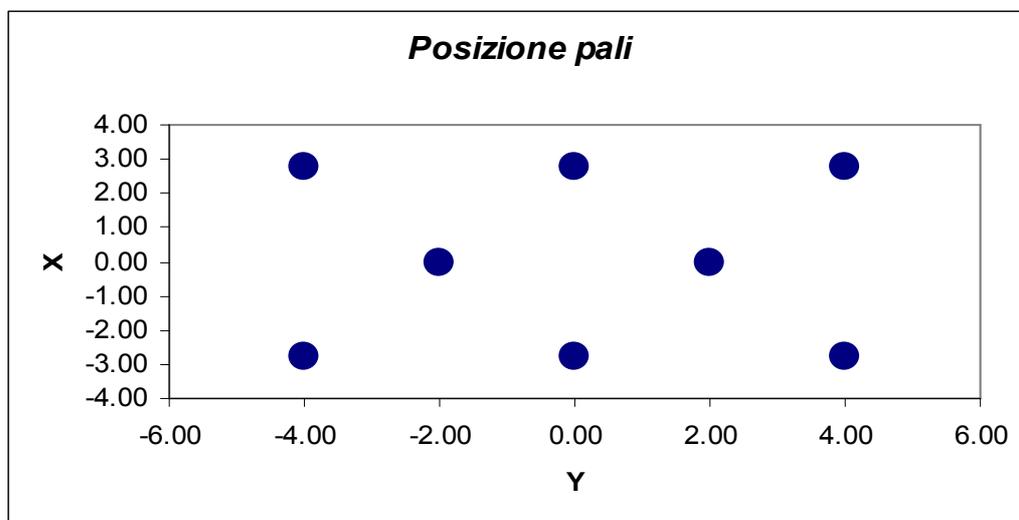
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

| $J_l$  | $J_t$ |
|--------|-------|
| 45.375 | 72    |

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

| Pali | X<br>(m) | Y<br>(m) | $X_{Gi}$<br>(m) | $Y_{Gi}$<br>(m) | $W_l$<br>(m) | $W_t$<br>(m) |
|------|----------|----------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|
| 1    | 2.75     | 4.00     | 2.75            | 4.00            | 16.50        | 18.00        |
| 2    | 2.75     | 0.00     | 2.75            | 0.00            | 16.50        | Infinito     |
| 3    | 2.75     | -4.00    | 2.75            | -4.00           | 16.50        | -18.00       |
| 4    | 0.00     | 2.00     | 0.00            | 2.00            | Infinito     | 36.00        |
| 5    | 0.00     | -2.00    | 0.00            | -2.00           | Infinito     | -36.00       |
| 6    | -2.75    | 4.00     | -2.75           | 4.00            | -16.50       | 18.00        |
| 7    | -2.75    | 0.00     | -2.75           | 0.00            | -16.50       | Infinito     |
| 8    | -2.75    | -4.00    | -2.75           | -4.00           | -16.50       | -18.00       |
| 9    |          |          |                 |                 |              |              |
| 10   |          |          |                 |                 |              |              |
| 11   |          |          |                 |                 |              |              |
| 12   |          |          |                 |                 |              |              |
| 13   |          |          |                 |                 |              |              |
| 14   |          |          |                 |                 |              |              |
| 15   |          |          |                 |                 |              |              |
| 16   |          |          |                 |                 |              |              |
| 17   |          |          |                 |                 |              |              |
| 18   |          |          |                 |                 |              |              |
| 19   |          |          |                 |                 |              |              |
| 20   |          |          |                 |                 |              |              |

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:

$$M_l = M_l + (N * e_{l,pali})$$

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

|                |     | Azioni totali rispetto baricentro palificata |                      |                      |                      |                      |                 |
|----------------|-----|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
|                |     | <b>N</b>                                     | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                 |
| <b>COMB.</b>   |     | <b>(t)</b>                                   | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                 |
|                | 1   | 2 074.49                                     | 21.12                | 52.72                | -549.09              | 1 202.40             | Eserc.          |
|                | 2   | 2 430.01                                     | 21.12                | 51.90                | -549.09              | 1 876.80             |                 |
|                | 3   | 2 362.75                                     | 21.12                | 51.90                | -549.09              | 2 086.98             |                 |
|                | 4   | 2 430.01                                     | 35.59                | 25.10                | -925.44              | 1 121.83             |                 |
|                | 5   | 2 362.75                                     | 35.59                | 25.10                | -925.44              | 1 332.01             |                 |
| <i>Perm.</i>   | 6.7 | 2 074.49                                     | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 346.83                                       | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -346.83                                      | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 7.8 | 0.00   | 0.00                 | 208.10               | 0.00                 | 3 212.38             |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8.9 | 2 074.49                                     | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 346.83                                       | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -346.83                                      | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8.9 | 0.00   | 208.10               | 0.00                 | -3 212.38            | 0.00                 |                 |

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

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

Per le combinazioni di carico sismiche lo sforzo assiale in testa ai pali si otterrà dalla combinazione quadratica delle componenti verticali e orizzontali dell'azione sismica, pari a:

$$N_{palo} = (N + \alpha_N (N_v^{\beta_N} + N_o^{\beta_N})^{1/\beta_N}) / n^\circ \text{ pali} + (M_l + \alpha_M (M_{l,v}^{\beta_M} + M_{l,o}^{\beta_M})^{1/\beta_M}) / W_l + (M_t + \alpha_M (M_{t,v}^{\beta_M} + M_{t,o}^{\beta_M})^{1/\beta_M}) / W_t$$

dove i generici  $\alpha_i = 1$  e  $\beta_i = 1$  se le sollecitazioni i-esime del sisma verticale e orizzontale hanno segni differenti (oppure una delle due è nulla), mentre  $\alpha_i$  ha il segno delle sollecitazioni i-esime e  $\beta_i = 2$  se le stesse hanno lo stesso segno.

### Sollecitazioni sui pali di fondazione (t)

| Combinazioni di carico |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PALI                   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| 1                      | 359.4 | 441.3 | 444.6 | 422.2 | 425.4 | 481.1 | 394.4 | 497.4 | 410.6 |
| 2                      | 292.6 | 337.0 | 328.6 | 359.8 | 351.4 | 302.7 | 216.0 | 497.4 | 410.6 |
| 3                      | 225.8 | 232.8 | 212.7 | 297.5 | 277.4 | 124.2 | 37.5  | 497.4 | 410.6 |
| 4                      | 292.7 | 355.9 | 353.3 | 334.9 | 332.3 | 391.9 | 305.2 | 302.7 | 216.0 |
| 5                      | 225.9 | 251.6 | 237.4 | 272.6 | 258.3 | 213.4 | 126.7 | 302.7 | 216.0 |
| 6                      | 292.8 | 374.7 | 378.0 | 310.0 | 313.3 | 481.1 | 394.4 | 108.0 | 21.3  |
| 7                      | 226.0 | 270.5 | 262.1 | 247.7 | 239.3 | 302.7 | 216.0 | 108.0 | 21.3  |
| 8                      | 159.2 | 166.2 | 146.1 | 185.3 | 165.3 | 124.2 | 37.5  | 108.0 | 21.3  |
| 9                      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 10                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 11                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 12                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 13                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 14                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 15                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 16                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 17                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 18                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 19                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 20                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{max}$     497.4    t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{min}$     21.3    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 |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|
| COMB.                                     | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) |
| 1   | 21.1                  | 52.7                  |
| 2   | 21.1                  | 51.9                  |
| 3   | 21.1                  | 51.9                  |
| 4   | 35.6                  | 25.1                  |
| 5   | 35.6                  | 25.1                  |
| 6   | 0.0                   | 208.1                 |
| 7   | 0.0                   | 208.1                 |
| 8   | 208.1                 | 0.0                   |
| 9   | 208.1                 | 0.0                   |

| T <sub>l</sub><br>(t) | T <sub>t</sub><br>(t) | T <sub>max</sub><br>(t) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 2.64                  | 6.59                  | 7.10                    |
| 2.64                  | 6.49                  | 7.00                    |
| 2.64                  | 6.49                  | 7.00                    |
| 4.45                  | 3.14                  | 5.44                    |
| 4.45                  | 3.14                  | 5.44                    |
| 0.00                  | 26.01                 | 26.01                   |
| 0.00                  | 26.01                 | 26.01                   |
| 26.01                 | 0.00                  | 26.01                   |
| 26.01                 | 0.00                  | 26.01                   |

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 26.01 \text{ t}$

| PALI  |                  |       |
|-------|------------------|-------|
| SISM  |                  | ESER  |
| 497.4 | N <sub>max</sub> | 444.6 |
| 21.3  | N <sub>min</sub> | 146.1 |
| 26.0  | T <sub>max</sub> | 7.1   |

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<sub>0</sub> lunghezza elastica del palo

Ponendo

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} = \text{diametro del palo} &= 150.0 \text{ cm} \\ K_w = \text{modulo di Winkler del terreno} &= 2\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} = \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} &= 360\,000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_0 = 5.022 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 65.32 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 497.4 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 21.3 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 68.50 \text{ cm} \qquad \text{Copriferro} = 6.5 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 90.4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Coeff. omogeneizzazione } n = 15.0$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile cls} = 122.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

#### **Verifica con sforzo normale massimo**

Centro di pressione interno al nocciolo centrale d'inerzia (Piccola eccentricità)

$$\text{Area ideale} = 1.90 \text{ m}^2$$

$$\text{Momento d'inerzia della sezione ideale} = 4.38\text{E}+07 \text{ m}^4$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 37.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione min di compressione Cls} = 14.95 \text{ kg/cm}^2$$

#### **Verifica con sforzo normale minimo**

Centro di pressione esterno al nocciolo centrale d'inerzia (Grande eccentricità)

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 125.49 \text{ }^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 40.66 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 39.05 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 1481.70 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

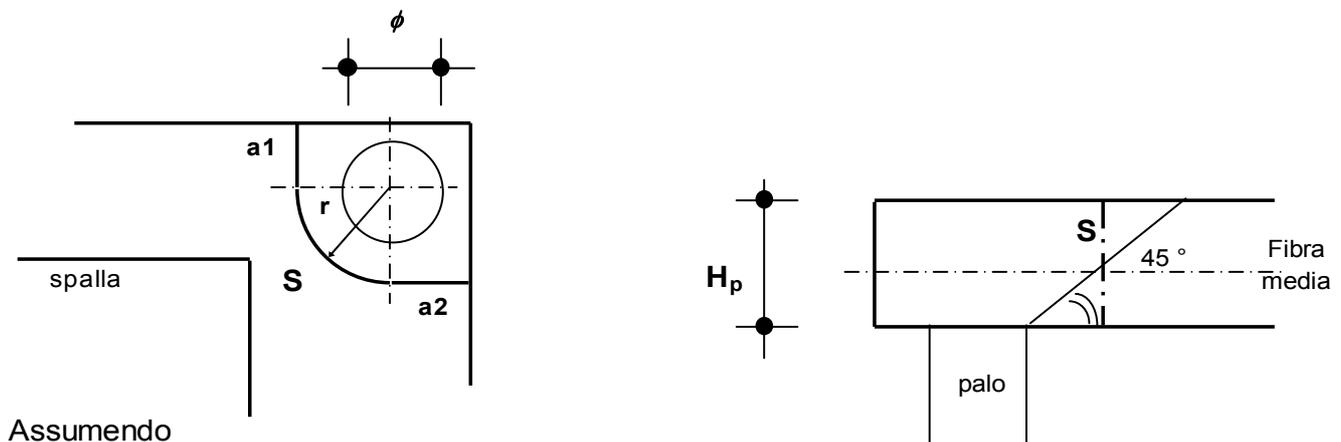
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

Si verifica lo sforzo tangenziale sulla porzione di angolo della zattera di fondazione più sollecitata dal carico assiale presente sui pali.

E' analizzata la reazione esercitata dal palo di angolo più sollecitato (vedi par. 6.01):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 497.36 \text{ t}$$

Si ipotizza una distribuzione a 45° del carico sullo spessore della zattera e si assume una superficie resistente al taglio definita dall'intersezione del cono a 45° di detta distribuzione con la fibra media:



$$a1 = 1.00 \text{ m}$$

$$a2 = 1.00 \text{ m}$$

$$r = 2.00 \text{ m}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r / 2 + a2) = 12.85 \text{ m}^2$$

La tensione tangenziale  $\tau_{cls}$  nel calcestruzzo è poi pari a

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 3.87 \text{ kg/cm}^2$$

Tale valore va confrontato con i valori  $\tau_{c0}$  e  $\tau_{c1}$  di normativa, che per un calcestruzzo di fondazione è pari a:

$$R_{ck} \text{ fondazione} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{c0} = 7.33333 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{c1} = 21.1429 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA FUSTO PILA

Tipo verifica : tensioni ammissibili - pressoflessione deviata.  
Unità di misura: Kgf; cm; Kgf / cm<sup>2</sup>; Kgf x cm; d in mm;  
deformazioni\*1000.

Simboli:

Vert. = contorno\_vertice del CLS;                    d = diametro;  
S       = Sigma (tensioni sui materiali);  
Ve       = colonna che indica se la verifica e' soddisfatta.

### MATERIALI

Calcestruzzo: Rck = 400. ; E = 360000. ; Samm= 122.5 .  
Acciaio : Tipo= FeB44k ; Samm= 2600. ; n=15 .

### SEZIONE

L'asse Z e' rivolto verso destra, l'asse Y e' rivolto verso l'alto.  
Tipo sezione: CIRCOLARE

Cls:

Acciaio lento:

| vert. | Z     | Y     | ferro | Z     | Y     | d[mm] | Af[cm <sup>2</sup> ] |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| 1_1   | 0.    | 175.  | 1     | 169.  | 0.    | 26.   | 5.3093               |
| 1_2   | 175.  | 0.    | 2     | 168.6 | 11.8  | 26.   | 5.3093               |
| 1_3   | 0.    | -175. | 3     | 167.4 | 23.5  | 26.   | 5.3093               |
| 1_4   | -175. | 0.    | 4     | 165.3 | 35.1  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 5     | 162.5 | 46.6  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 6     | 158.8 | 57.8  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 7     | 154.4 | 68.7  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 8     | 149.2 | 79.3  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 9     | 143.3 | 89.6  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 10    | 136.7 | 99.3  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 11    | 129.5 | 108.6 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 12    | 121.6 | 117.4 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 13    | 113.1 | 125.6 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 14    | 104.  | 133.2 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 15    | 94.5  | 140.1 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 16    | 84.5  | 146.4 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 17    | 74.1  | 151.9 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 18    | 63.3  | 156.7 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 19    | 52.2  | 160.7 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 20    | 40.9  | 164.  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 21    | 29.3  | 166.4 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 22    | 17.7  | 168.1 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 23    | 5.9   | 168.9 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 24    | -5.9  | 168.9 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 25    | -17.7 | 168.1 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 26    | -29.3 | 166.4 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 27    | -40.9 | 164.  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 28    | -52.2 | 160.7 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 29    | -63.3 | 156.7 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 30    | -74.1 | 151.9 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 31    | -84.5 | 146.4 | 26.   | 5.3093               |

|    |  |        |  |        |  |     |  |        |  |
|----|--|--------|--|--------|--|-----|--|--------|--|
| 32 |  | -94.5  |  | 140.1  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 33 |  | -104.  |  | 133.2  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 34 |  | -113.1 |  | 125.6  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 35 |  | -121.6 |  | 117.4  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 36 |  | -129.5 |  | 108.6  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 37 |  | -136.7 |  | 99.3   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 38 |  | -143.3 |  | 89.6   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 39 |  | -149.2 |  | 79.3   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 40 |  | -154.4 |  | 68.7   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 41 |  | -158.8 |  | 57.8   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 42 |  | -162.5 |  | 46.6   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 43 |  | -165.3 |  | 35.1   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 44 |  | -167.4 |  | 23.5   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 45 |  | -168.6 |  | 11.8   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 46 |  | -169.  |  | 0.     |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 47 |  | -168.6 |  | -11.8  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 48 |  | -167.4 |  | -23.5  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 49 |  | -165.3 |  | -35.1  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 50 |  | -162.5 |  | -46.6  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 51 |  | -158.8 |  | -57.8  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 52 |  | -154.4 |  | -68.7  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 53 |  | -149.2 |  | -79.3  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 54 |  | -143.3 |  | -89.6  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 55 |  | -136.7 |  | -99.3  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 56 |  | -129.5 |  | -108.6 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 57 |  | -121.6 |  | -117.4 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 58 |  | -113.1 |  | -125.6 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 59 |  | -104.  |  | -133.2 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 60 |  | -94.5  |  | -140.1 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 61 |  | -84.5  |  | -146.4 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 62 |  | -74.1  |  | -151.9 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 63 |  | -63.3  |  | -156.7 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 64 |  | -52.2  |  | -160.7 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 65 |  | -40.9  |  | -164.  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 66 |  | -29.3  |  | -166.4 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 67 |  | -17.7  |  | -168.1 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 68 |  | -5.9   |  | -168.9 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 69 |  | 5.9    |  | -168.9 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 70 |  | 17.7   |  | -168.1 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 71 |  | 29.3   |  | -166.4 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 72 |  | 40.9   |  | -164.  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 73 |  | 52.2   |  | -160.7 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 74 |  | 63.3   |  | -156.7 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 75 |  | 74.1   |  | -151.9 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 76 |  | 84.5   |  | -146.4 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 77 |  | 94.5   |  | -140.1 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 78 |  | 104.   |  | -133.2 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 79 |  | 113.1  |  | -125.6 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 80 |  | 121.6  |  | -117.4 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 81 |  | 129.5  |  | -108.6 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 82 |  | 136.7  |  | -99.3  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 83 |  | 143.3  |  | -89.6  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 84 |  | 149.2  |  | -79.3  |  | 26. |  | 5.3093 |  |

|     |  |        |  |        |  |     |  |        |  |
|-----|--|--------|--|--------|--|-----|--|--------|--|
| 85  |  | 154.4  |  | -68.7  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 86  |  | 158.8  |  | -57.8  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 87  |  | 162.5  |  | -46.6  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 88  |  | 165.3  |  | -35.1  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 89  |  | 167.4  |  | -23.5  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 90  |  | 168.6  |  | -11.8  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 91  |  | 163.4  |  | 5.7    |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 92  |  | 161.   |  | 28.4   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 93  |  | 155.5  |  | 50.5   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 94  |  | 147.   |  | 71.7   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 95  |  | 135.5  |  | 91.4   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 96  |  | 121.5  |  | 109.4  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 97  |  | 105.1  |  | 125.2  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 98  |  | 86.6   |  | 138.7  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 99  |  | 66.5   |  | 149.4  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 100 |  | 45.1   |  | 157.2  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 101 |  | 22.8   |  | 161.9  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 102 |  | 0.     |  | 163.5  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 103 |  | -22.8  |  | 161.9  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 104 |  | -45.1  |  | 157.2  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 105 |  | -66.5  |  | 149.4  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 106 |  | -86.6  |  | 138.7  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 107 |  | -105.1 |  | 125.2  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 108 |  | -121.5 |  | 109.4  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 109 |  | -135.5 |  | 91.4   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 110 |  | -147.  |  | 71.7   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 111 |  | -155.5 |  | 50.5   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 112 |  | -161.  |  | 28.4   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 113 |  | -163.4 |  | 5.7    |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 114 |  | -162.6 |  | -17.1  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 115 |  | -158.6 |  | -39.6  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 116 |  | -151.6 |  | -61.2  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 117 |  | -141.6 |  | -81.7  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 118 |  | -128.8 |  | -100.7 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 119 |  | -113.6 |  | -117.6 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 120 |  | -96.1  |  | -132.3 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 121 |  | -76.8  |  | -144.4 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 122 |  | -55.9  |  | -153.6 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 123 |  | -34.   |  | -159.9 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 124 |  | -11.4  |  | -163.1 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 125 |  | 11.4   |  | -163.1 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 126 |  | 34.    |  | -159.9 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 127 |  | 55.9   |  | -153.6 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 128 |  | 76.8   |  | -144.4 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 129 |  | 96.1   |  | -132.3 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 130 |  | 113.6  |  | -117.6 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 131 |  | 128.8  |  | -100.7 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 132 |  | 141.6  |  | -81.7  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 133 |  | 151.6  |  | -61.2  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 134 |  | 158.6  |  | -39.6  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 135 |  | 162.6  |  | -17.1  |  | 26. |  | 5.3093 |  |

SOLLECITAZIONI AGENTI

Sforzi normali applicati in z= 0. ; y= 0. (baricentro CLS)  
 Convenzioni: N + trazione; Mz + fib.inferiori tese; My + fib.sinistra  
 tese.

| N.        | N        | Mz        | My       | Sollecitaz. ultima |
|-----------|----------|-----------|----------|--------------------|
| calcolata |          |           |          |                    |
| 1         | -1789030 | 174704000 | 49629600 |                    |
| 2         | -1672660 | 329379000 | 0        |                    |

#### RISULTATI

Piani di equilibrio ( $\epsilon = \mu_z * y + \mu_y * z + \lambda$ ):

| Sol. | $\mu_z$       | $\mu_y$       | $\lambda$     |
|------|---------------|---------------|---------------|
| 1    | -.00000072392 | -.00000020565 | -.00003481064 |
| 2    | -.00000215905 | 0.            | .00005505203  |

Tensioni massime sui materiali:

| sol | Cls   |        |    | Acciaio lento |         |    |
|-----|-------|--------|----|---------------|---------|----|
|     | vert. | S cls  | Ve | ferro         | S ferri | Ve |
| 1   | 1- 1  | -58.1  | si | 20            | -874.4  | si |
| 2   | 1- 1  | -116.2 | si | 68            | 2266.4  | si |

## CALCOLO PILA 38 carr Dx

### GEOMETRIA DELLA PILA

Di seguito si riportano i principali parametri geometrici della pila e degli impalcati ad essa appoggiati:

#### **### ZATTERA**

|  |      |   |
|--|------|---|
| Altezza $h_{zattera}$                  | 2.00 | m |
| Dimensione longitudinale $L_{long}$    | 6.20 | m |
| Dimensione trasversale $L_{trasv}$     | 9.20 | m |
| Profondità intradosso zattera dal p.c. | 3.60 | 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 $h_{bagg}$   | 0.42  | m |
| Pulvino $h_{pulvino}$ | 2.98  | m |
| Fusto pila $h_{pila}$ | 10.52 | m |

#### ***Sezioni in pianta***

|                                    |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|
| Baggiolo $A_{bagg}$                | 1.56  | $m^2$ |
| n° totale baggioli                 | 2     |       |
| Valore medio pulvino $A_{m,pl}$    | 25.13 | $m^2$ |
| Area fusto pila allo spiccato pila | 7.07  | $m^2$ |

#### ***Baricentri***

|  |      |   |
|--|------|---|
| Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino       | 1.28 | m |
| Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila | 5.26 | m |

#### ***Momenti d'inerzia***

|   |      |       |
|---|------|-------|
| Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv. | 3.98 | $m^4$ |
|---|------|-------|

#### ***Prospetti longitudinali***

|  |      |   |
|--|------|---|
| Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$              | 3.00 | m |
| Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino | 1.49 | m |
| Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$                 | 3.00 | m |
| Altezza fusto pila dal p.c.                          | 8.92 | m |
| Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.         | 4.46 | m |

### ### VERIFICA DI SNELLEZZA DELLA PILA

La snellezza  $\lambda$  della pila è pari a:

$$\lambda = L_0/i$$

con  $i = (J/A)^{0,5}$  raggio d'inerzia della sezione e  $L_0$  lunghezza libera d'inflessione  
Nel caso in esame risulta:

$$\lambda = 36.00$$

## **AZIONI SULLA FONDAZIONE DELLA PILA**

Le azioni caratteristiche agenti sulla spalla sono le seguenti:

### ***AZIONI VERTICALI D'ESERCIZIO***

- ### Carichi permanenti
- ### Carichi accidentali mobili (automezzi e folla)

### ***AZIONI ORIZZONTALI D'ESERCIZIO***

#### *TRASVERSALI*

- ### Vento trasversale sull'impalcato (Imp. scarico e carico)
- ### Azione centrifuga per carichi mobili

#### *LONGITUDINALI*

- ### Azione longitudinale di frenatura
- ### Resistenza parassita dei vincoli

### ***AZIONI SISMICHE***

- ### Sisma longitudinale e trasversale sulla pila

Le azioni verranno nel seguito distinte tra azioni trasmesse dall'impalcato agli appoggi (e quindi agenti a quota estradosso pulvino, nel baricentro di questo) e azioni derivanti dal peso proprio degli elementi della pila.

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 convenzionalmente assunto come destro, l'asse x secondo la direzione longitudinale dell'impalcato, con il verso che va da sx a dx e l'asse z orientato verso il basso.

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

## **AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO**

Riferendosi alla quota estradosso del pulvino e al baricentro dello stesso si ottengono le azioni di progetto elencate nel proseguio della presente relazione.

## AZIONI VERTICALI

### ### CARICHI PERMANENTI

Il peso proprio dell'impalcato gravante sugli appoggi della pila, come risulta dai calcoli svolti nella specifica relazione, risulta essere pari a:

$$N_{app} = 554.25 \text{ t}$$

### ### CARICHI ACCIDENTALI

Saranno ora analizzati gli effetti globali sull'impalcato trasmessi dai carichi accidentali. Per la verifica della pila, si considerano due distinte condizioni di carico: la prima che massimizza il carico verticale N e la seconda che massimizza il momento trasversale  $M_t$ .

Si ricavano per ciascuna disposizione di carichi accidentali i valori del carico verticale e del momento trasversale totali, rispetto al baricentro del pulvino (quota estradosso)

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

Si ricavano di seguito per ciascuna disposizione di carichi accidentali i valori del carico verticale e del momento trasversale totali, rispetto all'estradosso del pulvino e al baricentro dello stesso, ricordando che si assumono i momenti antiorari positivi, nel riferimento cartesiano assunto.

*DISP. 1* Max carico verticale N

In totale per la disposizione 1 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 342.06 & t \\ M_t & 548.91 & t*m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 277.35 & t \\ M_t & 751.14 & t*m \end{array}$$

## AZIONI ORIZZONTALI

### ### AZIONI TRASVERSALI

#### Vento trasversale sull'impalcato

Si considera il seguente carico di riferimento :

$$q_{\text{vento}} = 0.025 \text{ kg/cm}^2$$

Vengono analizzate due distinte situazioni di carico:

- 1) Vento trasversale con impalcato scarico
- 2) Vento trasversale con impalcato carico

Per la condizione di impalcato carico, si dovrà applicare il coefficiente moltiplicativi  $K_w$  pari a 0,6:

La forza orizzontale  $H_t$  e il momento trasversale  $M_t$  risultano pari a

(1) Impalcato scarico

| $H_t$<br>(t) | $M_t$<br>(t*m) |
|--------------|----------------|
| 26.66        | 39.33          |

(2) Impalcato carico

| $H_t$<br>(t) | $M_t$<br>(t*m) |
|--------------|----------------|
| 53.78        | 116.73         |

### **### AZIONI LONGITUDINALI**

#### **Frenamento**

Tale forza è pari al maggiore dei due valori  $H_{f1,a}$  pari a 1/10 della singola colonna di carico più pesante per ciascuna carreggiata e  $H_{f1,b}$  pari al 20% del carico  $q_{1,a}$  che può interessare la struttura:

$$\begin{aligned} \text{n° campate collegate} & \quad 5 \\ \text{lunghezza complessiva campate collegate} & \quad 182 \quad \text{m} \\ H_{f1,a} & = 0,10 * (3 * 20 + 3 * (\text{lunghezza compless. campate collegate} - 9)) = \quad 57.9 \quad \text{t} \\ H_{f1,b} & = 0,20 * (3 * 20 * (1 + 0,5 + 0,35)) = \quad 22.2 \quad \text{t} \quad (3 \text{ colonne di carico}) \end{aligned}$$

La forza complessiva di frenatura  $H_f$ , divisa per i punti fissi di vincolo, è dunque pari a:

$$H_f = 14.475 \quad \text{t}$$

#### **Resistenza parassita dei vincoli**

Gli appoggi sono in acciaio e PTFE, ed il coefficiente di attrito assunto è pari a  $k_{att} = 0,03$ .

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 16.63 \quad \text{t}$$

### **AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO IN CONDIZIONI DI SISMA**

Le azioni sismiche si dividono in azioni orizzontali e azioni verticali  
Per tutte le azioni sismiche si fa riferimento all'analisi statica equivalente.

#### **Forza sismica orizzontale (analisi statica)**

$$H_s = K_h * W_h$$

dove

$$K_h = C * R * \varepsilon * \beta * I$$

$W_h$

S

$$C = (S - 2) / 100$$

$$R = 1.00$$

$$\varepsilon = 1.20$$

$$\beta = 1.20$$

$$I = 1.20$$

CARICHI PERMANENTI

grado di sismicità

coefficiente di intensità sismica

coefficiente di risposta ( $T_0 < 0.8 \text{ s}$ )

coefficiente di fondazione

coefficiente di struttura ISOSTATICA

coefficiente di protezione sismica

### Forza sismica verticale (analisi statica)

$$N_s = K_v * W_v$$

dove

$$K_v = m * C * I$$

$W_v$

CARICHI PERMANENTI

S

grado di sismicità

$$C = (S - 2) / 100$$

coefficiente di intensità sismica

$$m = 2.00$$

coefficiente verticale

$$I = 1.20$$

coefficiente di protezione sismica

| S | C    | $K_h$  | $K_v$  |
|---|------|--------|--------|
| 9 | 0.07 | 0.1210 | 0.1680 |

Rispetto all'asse dell'impalcato, il sisma può essere trasversale o longitudinale.

### ### SISMA TRASVERSALE - Analisi statica

Per il sisma trasversale i carichi permanenti  $W_h$  e  $W_v$  si riducono al peso dell'impalcato sulla pila

$N_{app}$

$$W = W_h = W_v = N_{app}$$

Per il sisma trasversale si calcola, oltre alla forza orizzontale risultante, anche il momento trasversale risultante di tale forza rispetto agli appoggi.

Indicando con  $h_{bar,p}$  l'altezza del baricentro dei carichi permanenti (punto dove risulta applicata la forza sismica orizzontale) rispetto alla quota di estradosso del pulvino, si ha per il momento trasversale dovuto al sisma

$$M_{s,t} = H_{s,t} * h_{bar,p}$$

mentre indicando con  $e_l$  l'eccentricità dell'asse appoggi rispetto al baricentro del pulvino e con  $\Delta N_{s,t}$  la forza sismica verticale, si ha per il momento longitudinale  $M_{s,l}$ :

$$M_{s,l} = -e_l * \Delta N_{s,t}$$

$$h_{bar,p} = 1.04 \text{ m}$$

| W<br>(t) | Orizzont.        |                    | Vert.                   |
|----------|------------------|--------------------|-------------------------|
|          | $H_{s,t}$<br>(t) | $M_{s,t}$<br>(t*m) | $\Delta N_{s,t}$<br>(t) |
| 693.94   | 83.94            | 86.88              | 116.58                  |

### ### SISMA LONGITUDINALE - Analisi statica

Per il sisma longitudinale i carichi permanenti  $W_h$  sono pari al peso degli impalcati del viadotto collegati tra loro a partire da entrambi gli appoggi fissi:

$$W_h = \sum N_{imp}$$

mentre i carichi permanenti  $W_v$  sono pari al peso dell'impalcato sugli appoggi  $N_{app}$

$$W_v = N_{app}$$

Come da normativa, non si considera presente il sovraccarico mobile sull'impalcato.

Il punto di applicazione della forza sull'impalcato è posto ad un'altezza rispetto all'estradosso pulvino pari a  $h_{sism,l}$

| $W_h$ | $h_{sism,l}$ |
|-------|--------------|
| (t)   |              |
| 694   | 1.04         |

| $H_{s,l}$ | $M_{s,l}$ |
|-----------|-----------|
| (t)       | (t*m)     |
| 83.94     | -86.88    |

Indicando con  $e_l$  l'eccentricità dell'asse appoggi rispetto al baricentro del pulvino e con  $\Delta N_{s,t}$  la forza sismica verticale, si ha per il momento longitudinale  $M_{s,l}$ :

$$M_{s,l} = -e_l \cdot \Delta N_{s,t}$$

| $W$    | $\Delta N_{s,t}$ |
|--------|------------------|
| (t)    | (t)              |
| 693.94 | 116.58           |

### COMBINAZIONI DI CARICO DELLE AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

In accordo con quanto contenuto nel D.M. 4.5.90 si individuano quattro gruppi di carico.

|                   | Azione gruppo | COEFFICIENTI MOLTIPLICATIVI |             |       |       |       |              |
|-------------------|---------------|-----------------------------|-------------|-------|-------|-------|--------------|
|                   |               | Perm.                       | Acc. dinam. | Fren. | Vento | Sisma | Attrito app. |
| Viadotto scarico  | A I           | 1.00                        | 0.00        | 0.00  | 1.00  | 0.00  | 1.00         |
| C.N.E.+ vento     | A II          | 1.00                        | 1.00        | 0.00  | 0.60  | 0.00  | 1.00         |
| C.N.E.+ frenatura | A III         | 1.00                        | 1.00        | 1.00  | 0.20  | 0.00  | 1.00         |
| Cond. sismica     | A V           | 1.00                        | 0.00        | 0.00  | 0.00  | 1.00  | 0.00         |

In precedenza, per ciò che attiene alla disposizione dei carichi accidentali, si sono esaminate 4 distinte condizioni di carico.

Correlando allora questi carichi accidentali con le altre azioni esterne, avremo le seguenti combinazioni.

| COMB. | AZ. GR. | CARICHI  | Az.prev. |
|-------|---------|--|----------|
| 1     | A I     | Perm. + Vento (1) * 1.0 + Attr. * 1.0                              | Imp. sc. |
| 2     | A II    | Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) * 0.6 + Attr. * 1.0               | Ven. tr. |
| 3     | A II    | Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) * 0.6 + Attr. * 1.0               | Ven. tr. |
| 4     | A III   | Perm. + Acc. DISP. 1 + Frenat. * 1 + Vento (3) * 0.2 + Attr. * 1.0 | Frenat.  |
| 5     | A III   | Perm. + Acc. DISP. 2 + Frenat. * 1 + Vento (3) * 0.2 + Attr. * 1.0 | Frenat.  |
| 6     | A V     | Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale positiva              | Sism. T  |
| 7     | A V     | Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale negativa              | Sism. T  |
| 8     | A V     | Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale positiva            | Sism. L  |
| 9     | A V     | Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale negativa            | Sism. L  |

Si determinano allora le azioni di progetto riferite alla quota degli appoggi.

COMB. 1 Perm. + Vento (1) \* 1.0 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto    | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|-----------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti      | 554.25   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Vento (1) * 1.0 | 0.00     | 0.00                  | 26.66                 | 0.00                    | 39.33                   |
| Attrito * 1.00  | 0.00     | 16.63                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT             | 554.25   | 16.63                 | 26.66                 | 0.00                    | 39.33                   |

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 0.6 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 554.25   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 1     | 342.06   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 548.91                  |
| Vento (3) * 0.60 | 0.00     | 0.00                  | 32.27                 | 0.00                    | 70.04                   |
| Attrito * 1.00   | 0.00     | 16.63                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT              | 896.31   | 16.63                 | 32.27                 | 0.00                    | 618.95                  |

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 0.6 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 554.25   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 2     | 277.35   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 751.14                  |
| Vento (3) * 0.60 | 0.00     | 0.00                  | 32.27                 | 0.00                    | 70.04                   |
| Attrito * 1.00   | 0.00     | 16.63                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT              | 831.59   | 16.63                 | 32.27                 | 0.00                    | 821.18                  |

COMB. 4 Perm. + Acc. DISP. 1 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Permanenti       | 554.25           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Acc. disp. 1     | 342.06           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 548.91                         |
| Frenat.*1        | 0.00             | 14.48                        | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Vento (3) * 0.20 | 0.00             | 0.00                         | 10.76                        | 0.00                           | 23.35                          |
| Attrito * 1.00   | 0.00             | 16.63                        | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| <b>TOT</b>       | <b>896.31</b>    | <b>31.10</b>                 | <b>10.76</b>                 | <b>0.00</b>                    | <b>572.26</b>                  |

COMB. 5 Perm. + Acc. DISP. 2 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Permanenti       | 554.25           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Acc. disp. 2     | 277.35           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 751.14                         |
| Frenat.*1        | 0.00             | 14.48                        | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Vento (3) * 0.20 | 0.00             | 0.00                         | 10.76                        | 0.00                           | 23.35                          |
| Attrito * 1.00   | 0.00             | 16.63                        | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| <b>TOT</b>       | <b>831.59</b>    | <b>31.10</b>                 | <b>10.76</b>                 | <b>0.00</b>                    | <b>774.49</b>                  |

COMB. 6 Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale positiva

| Az. progetto        | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Permanenti          | 554.25           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Sisma orizz. trasv. | 0.00             | 0.00                         | 83.94                        | 0.00                           | 86.88                          |
| Sisma vert. +       | 116.58           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| <b>TOT</b>          | <b>670.83</b>    | <b>0.00</b>                  | <b>83.94</b>                 | <b>0.00</b>                    | <b>86.88</b>                   |

COMB. 7 Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale negativa

| Az. progetto        | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Permanenti          | 554.25           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Sisma orizz. trasv. | 0.00             | 0.00                         | 83.94                        | 0.00                           | 86.88                          |
| Sisma vert. -       | -116.58          | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| <b>TOT</b>          | <b>437.66</b>    | <b>0.00</b>                  | <b>83.94</b>                 | <b>0.00</b>                    | <b>86.88</b>                   |

COMB. 8 Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale positiva

| Az. progetto       | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|--------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti         | 554.25   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. long. | 0.00     | 83.94                 | 0.00                  | -86.88                  | 0.00                    |
| Sisma vert. +      | 116.58   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                | 670.83   | 83.94                 | 0.00                  | -86.88                  | 0.00                    |

COMB. 9 Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale negativa

| Az. progetto       | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|--------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti         | 554.25   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. long. | 0.00     | 83.94                 | 0.00                  | -86.88                  | 0.00                    |
| Sisma vert. -      | -116.58  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                | 437.66   | 83.9                  | 0.00                  | -86.9                   | 0.00                    |

Si riepilogano ora tutte le combinazioni esaminate, avendo l'accortezza di separare gli effetti del sisma orizzontale e di quello verticale per la verifica delle strutture che fa la pila in oggetto. Difatti per questi elementi verrà applicata la regola che prescrive la composizione quadratica delle due azioni.

| AZIONI A QUOTA ESTRADOSSO PULVINO |          |                       |                       |                         |                         | CONDIZIONE               |
|-----------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| COMB.                             | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
| 1                                 | 554.25   | 16.63                 | 26.66                 | 0.00                    | 39.33                   | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2                                 | 896.31   | 16.63                 | 32.27                 | 0.00                    | 618.95                  |                          |
| 3                                 | 831.59   | 16.63                 | 32.27                 | 0.00                    | 821.18                  |                          |
| 4                                 | 896.31   | 31.10                 | 10.76                 | 0.00                    | 572.26                  |                          |
| 5                                 | 831.59   | 31.10                 | 10.76                 | 0.00                    | 774.49                  |                          |

|                                       |     |         |       |       |        |       |                 |
|---------------------------------------|-----|---------|-------|-------|--------|-------|-----------------|
| Perm.<br>Vert. +<br>Vert. -<br>Orizz. | 6.7 | 554.25  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  | Sisma<br>Trasv. |
|                                       | 6   | 116.58  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |                 |
|                                       | 7   | -116.58 | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |                 |
|                                       | 7.8 | 0.00    | 0.00  | 83.94 | 0.00   | 86.88 |                 |
| Perm.<br>Vert. +<br>Vert. -<br>Orizz. | 8.9 | 554.25  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  | Sisma<br>Long.  |
|                                       | 8   | 116.58  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |                 |
|                                       | 9   | -116.58 | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  |                 |
|                                       | 8.9 | 0.00    | 83.94 | 0.00  | -86.88 | 0.00  |                 |

## AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA PILA IN CONDIZIONI NORMALI

Ricordando la geometria della pila delineata nel cap. 4, e indicando con  $e_{v,N}$  le altezze del baricentro rispettivamente di pulvino e fusto pila rispetto all'estradosso della zattera, si ha:

|            | <b>N<br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> |
|------------|------------------|-------------------------------------|
| Pulvino    | 187.22           | 11.80                               |
| Fusto pila | 185.91           | 5.26                                |
|            | 373.13           | 8.54                                |

## AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA PILA IN CONDIZIONI DI SISMA

Si ricorda che risulta:

| <b>S</b> | <b>C</b> | <b><math>K_h</math></b> | <b><math>K_v</math></b> |
|----------|----------|-------------------------|-------------------------|
| 9        | 0.070    | 0.1210                  | 0.1680                  |

Le azioni si calcolano riportate a quota estradosso zattera.

### **### SISMA LONGITUDINALE**

Risulta

|            | <b><math>H_l</math><br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> | <b><math>M_l</math><br/>(t*m)</b> |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Pulvino    | 22.65                           | 11.80                               | -267.22                           |
| Fusto pila | 22.49                           | 5.26                                | -118.29                           |
|            | 45.13                           |                                     | -385.51                           |

### **### SISMA TRASVERSALE**

Risulta

|            | <b><math>H_t</math><br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> | <b><math>M_t</math><br/>(t*m)</b> |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Pulvino    | 22.65                           | 11.80                               | 267.22                            |
| Fusto pila | 22.49                           | 5.26                                | 118.29                            |
|            | 45.13                           |                                     | 385.51                            |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dalla pila alla zattera, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti nel baricentro della pila, quota estradosso zattera, si ha:

*Az. progetto*

|                                   | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|-----------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Peso proprio pila (fusto+pulvino) | 373.13           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Sisma long. orizzontale           | 0.00             | 45.13                        | 0.00                         | -385.51                        | 0.00                           |
| Sisma trasv. orizzontale          | 0.00             | 0.00                         | 45.13                        | 0.00                           | 385.51                         |
| Sisma vert. + Incr. peso          | 62.69            | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Sisma vert. - Decr. peso          | -62.69           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |

## AZIONI DOVUTE AL VENTO

La pressione di riferimento esercitata dal vento, come già visto sopra, è pari a

$$q_{\text{vento}} = 0.025 \text{ kg/cm}^2$$

### ### VENTO TRASVERSALE

La sezione resistente  $A_r$  della pila è pari all'area del prospetto longitudinale del fusto pila e del pulvino

$$A_r = 35.70 \text{ m}^2$$

La risultante della pressione del vento è applicata ad una distanza  $h_{\text{vento}}$  dall'estradosso della zattera pari a:

$$h_{\text{vento}} = 7.55 \text{ m}$$

Risulta dunque, calcolando il momento trasversale  $M_t$  rispetto alla quota di estradosso della zattera

| $q_{\text{vento}}$<br>(t/m <sup>2</sup> ) | $A_r$<br>(m <sup>2</sup> ) | $H_t$<br>(t) | $h_{\text{vento}}$<br>(m) | $M_t$<br>(t*m) |
|---|----------------------------|--------------|---------------------------|----------------|
| 0.25                                      | 35.70                      | 8.93         | 7.55                      | 67.38          |

## COMBINAZIONI DI CARICO DI TUTTE LE AZIONI AGENTI SULLA ZATTERA

Per poter sommare le azioni provenienti dall'impalcato a quelle dovute al peso proprio, è necessario riportare innanzitutto le azioni trasmesse dall'impalcato al baricentro della pila, quota estradosso zattera, rispetto a dove sono state calcolate le azioni relative al peso proprio.

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.

$$e_v = -13.50 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

|              |   | Azioni impalcato rispetto baric. pila (estradosso zattera) |                      |                      |                      |                      |                          |
|--------------|---|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|              |   | <b>N</b>   | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b> |   | <b>(t)</b>   | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                          |
|              | 1 | 554.25   | 16.63                | 26.66                | -224.47              | 399.27               | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|              | 2 | 896.31   | 16.63                | 32.27                | -224.47              | 1054.55              |                          |
|              | 3 | 831.59   | 16.63                | 32.27                | -224.47              | 1256.78              |                          |
|              | 4 | 896.31   | 31.10                | 10.76                | -419.88              | 717.46               |                          |
|              | 5 | 831.59   | 31.10                | 10.76                | -419.88              | 919.69               |                          |

|                |     |         |       |       |          |         |                 |
|----------------|-----|---------|-------|-------|----------|---------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6.7 | 554.25  | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 116.58  | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -116.58 | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 7.8 | 0.00    | 0.00  | 83.94 | 0.00     | 1220.06 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8.9 | 554.25  | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 116.58  | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -116.58 | 0.00  | 0.00  | 0.00     | 0.00    |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8.9 | 0.00    | 83.94 | 0.00  | -1220.06 | 0.00    |                 |

Si sommano ora le azioni provenienti dall'impalcato a quelle derivanti dal peso proprio degli elementi della pila (fusto+pulvino), dal vento trasversale sugli elementi della pila e dal sisma orizzontale, trasversale e longitudinale.

|              |   | Azioni totali rispetto baric. pila (estradosso zattera) |                      |                      |                      |                      |                          |
|--------------|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|              |   | <b>N</b>  | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b> |   | <b>(t)</b>  | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                          |
|              | 1 | 927.38  | 16.63                | 35.59                | -224.47              | 466.66               | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|              | 2 | 1 269.44  | 16.63                | 37.62                | -224.47              | 1 094.98             |                          |
|              | 3 | 1 204.72  | 16.63                | 37.62                | -224.47              | 1 297.21             |                          |
|              | 4 | 1 269.44  | 31.10                | 16.11                | -419.88              | 757.89               |                          |
|              | 5 | 1 204.72  | 31.10                | 16.11                | -419.88              | 960.12               |                          |

|                |     |         |        |        |           |          |                 |
|----------------|-----|---------|--------|--------|-----------|----------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6.7 | 927.38  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 179.27  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -179.27 | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 6.7 | 0.00    | 0.00   | 129.07 | 0.00      | 1 605.57 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8.9 | 927.38  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 179.27  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -179.27 | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8.9 | 0.00    | 129.07 | 0.00   | -1 605.57 | 0.00     |                 |

**AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA ZATTERA E DEL TERRENO PORTATO  
IN CONDIZIONI NORMALI**

Ricordando la geometria della zattera delineata nel cap. 4, e indicando con  $e_{v,N}$  l'altezza del baricentro della zattera e del terreno portato rispetto all'intradosso della zattera stessa, si ha:

Peso specifico terreno portato  $\gamma_t = 1.80 \text{ t/m}^3$

|                 | <b>N<br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> |
|-----------------|------------------|-------------------------------------|
| Zattera         | 285.20           | 1.00                                |
| Terreno portato | 143.92           | 2.80                                |
|                 | 429.12           | 1.60                                |

**AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO DELLA ZATTERA E DEL TERRENO PORTATO  
IN CONDIZIONI DI SISMA**

Ricordando che l'insieme zattera di fondazione-pali è una struttura intelaiata, e dunque iperstatica, si assume per il coeff. di struttura

$$\beta = 1$$

da cui si trova

| <b>S</b> | <b>C</b> | <b><math>K_h</math></b> | <b><math>K_v</math></b> |
|----------|----------|-------------------------|-------------------------|
| 9        | 0.07     | 0.1008                  | 0.1680                  |

Le azioni si calcolano riportate a quota intradosso zattera.

**### SISMA LONGITUDINALE**

Risulta

|                 | <b><math>H_l</math><br/>(t)</b> | <b><math>e_{v,N}</math><br/>(m)</b> | <b><math>M_l</math><br/>(t*m)</b> |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Zattera         | 28.75                           | 1.00                                | -28.75                            |
| Terreno portato | 14.51                           | 2.80                                | -40.62                            |
|                 | 43.25                           |                                     | -69.37                            |

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

|                 | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>v,N</sub><br/>(m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|-----------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Zattera         | 28.75                        | 1.00                           | 28.75                          |
| Terreno portato | 14.51                        | 2.80                           | 40.62                          |
|                 | 43.25                        |                                | 69.37                          |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dalla sola zattera + terreno portato alla palificata, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti nel baricentro della pila, quota intradosso zattera, si ha:

*Az. progetto*

|  | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|--|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Peso proprio zattera + terreno portato | 429.12           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Sisma long. orizzontale                | 0.00             | 43.25                        | 0.00                         | -69.37                         | 0.00                           |
| Sisma trasv. orizzontale               | 0.00             | 0.00                         | 43.25                        | 0.00                           | 69.37                          |
| Sisma vert. + Incr. peso               | 72.09            | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Sisma vert. - Decr. peso               | -72.09           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |

## COMBINAZIONI DI CARICO DI TUTTE LE AZIONI AGENTI SULLA PALIFICATA

Ricordando che l'insieme zattera di fondazione-pali è una struttura intelaiata, e dunque iperstatica, si deve assumere per le sollecitazioni sismiche orizzontali trasmesse alla zattera dall'impalcato e dalla pila il coeff. di struttura

$$\beta = 1$$

Pertanto le sollecitazioni sismiche orizzontali trasmesse dall'impalcato e dalla pila, calcolate allo spiccato della pila con il coeff. di struttura  $\beta=1,2$  relativo alle strutture isostatiche, vanno divise per un fattore 1,2.

Si ha dunque

| Azioni totali rispetto baric. pila (estradosso zattera) $\beta=1$ |          |                       |                       |                         |                         |                          |
|---|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| COMB.   | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
| 1   | 927.38   | 16.63                 | 35.59                 | -224.47                 | 466.66                  | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2   | 1 269.44 | 16.63                 | 37.62                 | -224.47                 | 1 094.98                |                          |
| 3   | 1 204.72 | 16.63                 | 37.62                 | -224.47                 | 1 297.21                |                          |
| 4   | 1 269.44 | 31.10                 | 16.11                 | -419.88                 | 757.89                  |                          |
| 5   | 1 204.72 | 31.10                 | 16.11                 | -419.88                 | 960.12                  |                          |
| <i>Perm.</i>  | 6.7      | 927.38                | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    | Sisma<br>Trasv.          |
| <i>Vert. +</i>  | 6        | 179.27                | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                          |
| <i>Vert. -</i>  | 7        | -179.27               | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                          |
| <i>Orizz.</i>   | 7.8      | 0.00                  | 0.00                  | 107.56                  | 0.00                    |                          |
| <i>Perm.</i>  | 8.9      | 927.38                | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    | Sisma<br>Long.           |
| <i>Vert. +</i>  | 8        | 179.27                | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                          |
| <i>Vert. -</i>  | 9        | -179.27               | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                          |
| <i>Orizz.</i>   | 8.9      | 0.00                  | 107.56                | 0.00                    | -1 337.97               |                          |

Per la verifica della fondazione, si riportano infine tutte le azioni alla quota di intradosso della zattera, con il baricentro in pianta coincidente con quello della pila.

$$N = N_{\text{imp+pila}} + N_{\text{zattera+terreno}}$$

$$H_i = H_{i,\text{imp+pila}} + H_{i,\text{zattera+terreno}}$$

$$H_t = H_{t,\text{imp+pila}} + H_{t,\text{zattera+terreno}}$$

$$M_i = M_{i,\text{imp+pila}} - H_{i,\text{imp+pila}} * h_{\text{zattera}} + M_{i,\text{zattera+terreno}}$$

$$M_t = M_{t,\text{imp+pila}} + H_{t,\text{imp+pila}} * h_{\text{zattera}} + M_{t,\text{zattera+terreno}}$$

con

$$h_{\text{zattera}} = 2.00 \quad \text{m}$$

| Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera) |            |                      |                      |                      |                      |                          |
|---|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|   | <b>N</b>   | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b>  | <b>(t)</b> | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                          |
| 1   | 1 356.50   | 16.63                | 35.59                | -257.72              | 537.83               | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2   | 1 698.56   | 16.63                | 37.62                | -257.72              | 1 170.22             |                          |
| 3   | 1 633.84   | 16.63                | 37.62                | -257.72              | 1 372.45             |                          |
| 4   | 1 698.56   | 31.10                | 16.11                | -482.09              | 790.11               |                          |
| 5   | 1 633.84   | 31.10                | 16.11                | -482.09              | 992.34               |                          |

|                |     |          |        |        |           |          |                 |
|----------------|-----|----------|--------|--------|-----------|----------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6.7 | 1 356.50 | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 251.36   | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -251.36  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 7.8 | 0.00     | 0.00   | 150.82 | 0.00      | 1 622.46 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8.9 | 1 356.50 | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 251.36   | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -251.36  | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8.9 | 0.00     | 150.82 | 0.00   | -1 622.46 | 0.00     |                 |

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 6$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

| X    | Y    | Z    |
|------|------|------|
| 6.20 | 9.20 | 2.00 |

Area fondazione 57.04 m<sup>2</sup>

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

Baricentro palificata

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

| X <sub>G</sub> | Y <sub>G</sub> |
|----------------|----------------|
| 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.

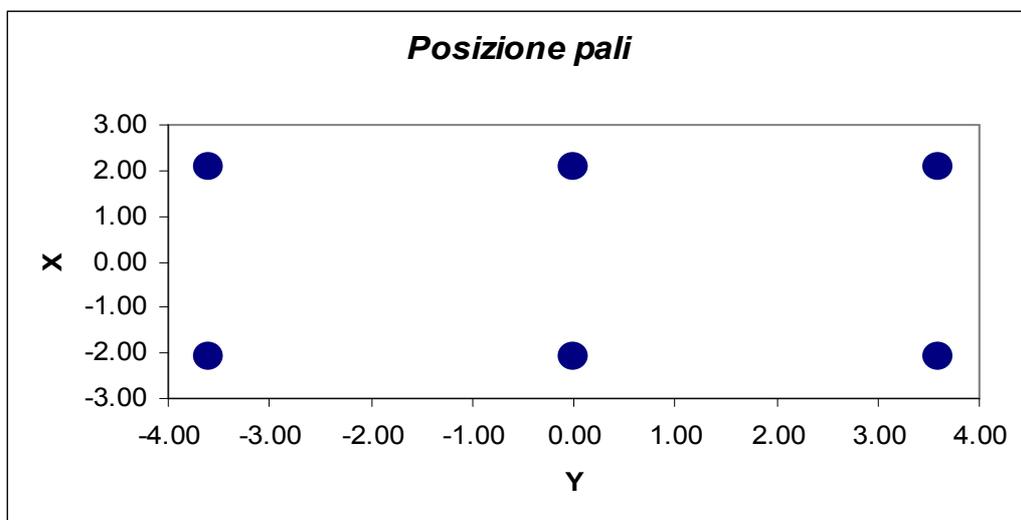
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata (m<sup>2</sup>)

| J <sub>I</sub> | J <sub>t</sub> |
|----------------|----------------|
| 26.46          | 51.84          |

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

| Pali | X<br>(m) | Y<br>(m) | $X_{Gi}$<br>(m) | $Y_{Gi}$<br>(m) | $W_l$<br>(m) | $W_t$<br>(m) |
|------|----------|----------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|
| 1    | 2.10     | 3.60     | 2.10            | 3.60            | 12.60        | 14.40        |
| 2    | 2.10     | 0.00     | 2.10            | 0.00            | 12.60        | Infinito     |
| 3    | 2.10     | -3.60    | 2.10            | -3.60           | 12.60        | -14.40       |
| 4    | -2.10    | 3.60     | -2.10           | 3.60            | -12.60       | 14.40        |
| 5    | -2.10    | 0.00     | -2.10           | 0.00            | -12.60       | Infinito     |
| 6    | -2.10    | -3.60    | -2.10           | -3.60           | -12.60       | -14.40       |
| 7    |          |          |                 |                 |              |              |
| 8    |          |          |                 |                 |              |              |
| 9    |          |          |                 |                 |              |              |
| 10   |          |          |                 |                 |              |              |
| 11   |          |          |                 |                 |              |              |
| 12   |          |          |                 |                 |              |              |
| 13   |          |          |                 |                 |              |              |
| 14   |          |          |                 |                 |              |              |
| 15   |          |          |                 |                 |              |              |
| 16   |          |          |                 |                 |              |              |
| 17   |          |          |                 |                 |              |              |
| 18   |          |          |                 |                 |              |              |
| 19   |          |          |                 |                 |              |              |
| 20   |          |          |                 |                 |              |              |

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:

$$Ml = M_l + (N * e_{l,pali})$$

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

| Azioni totali rispetto baricentro palificata |          |                       |                       |                         |                         |                 |
|--|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| COMB.  | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                 |
| 1  | 1 356.50 | 16.63                 | 35.59                 | -257.72                 | 537.83                  | Eserc.          |
| 2  | 1 698.56 | 16.63                 | 37.62                 | -257.72                 | 1 170.22                |                 |
| 3  | 1 633.84 | 16.63                 | 37.62                 | -257.72                 | 1 372.45                |                 |
| 4  | 1 698.56 | 31.10                 | 16.11                 | -482.09                 | 790.11                  |                 |
| 5  | 1 633.84 | 31.10                 | 16.11                 | -482.09                 | 992.34                  |                 |
| Perm.  | 6.7      | 1 356.50              | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    | Sisma<br>Trasv. |
| Vert. +                                      | 6        | 251.36                | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                 |
| Vert. -                                      | 7        | -251.36               | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                 |
| Orizz.                                       | 7.8      | 0.00                  | 0.00                  | 150.82                  | 1 622.46                |                 |
| Perm.  | 8.9      | 1 356.50              | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    | Sisma<br>Long.  |
| Vert. +                                      | 8        | 251.36                | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                 |
| Vert. -                                      | 9        | -251.36               | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |                 |
| Orizz.                                       | 8.9      | 0.00                  | 150.82                | 0.00                    | -1 622.46               |                 |

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

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

Per le combinazioni di carico sismiche lo sforzo assiale in testa ai pali si otterrà dalla combinazione quadratica delle componenti verticali e orizzontali dell'azione sismica, pari a:

$$N_{palo} = (N + \alpha_N (N_v^{\beta_N} + N_o^{\beta_N})^{1/\beta_N}) / n^\circ \text{ pali} + (M_l + \alpha_M (M_{l,v}^{\beta_M} + M_{l,o}^{\beta_M})^{1/\beta_M}) / W_l + (M_t + \alpha_M (M_{t,v}^{\beta_M} + M_{t,o}^{\beta_M})^{1/\beta_M}) / W_t$$

dove i generici  $\alpha_i = 1$  e  $\beta_i = 1$  se le sollecitazioni i-esime del sisma verticale e orizzontale hanno segni differenti (oppure una delle due è nulla), mentre  $\alpha_i$  ha il segno delle sollecitazioni i-esime e  $\beta_i = 2$  se le stesse hanno lo stesso segno.

**Sollecitazioni sui pali di fondazione (t)**

| <b>Combinazioni di carico</b> |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>PALI</b>                   | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> |
| 1                             | 283.9    | 384.8    | 388.1    | 376.2    | 379.5    | 380.6    | 296.9    | 396.7    | 313.0    |
| 2                             | 246.5    | 303.5    | 292.8    | 321.4    | 310.6    | 268.0    | 184.2    | 396.7    | 313.0    |
| 3                             | 209.2    | 222.3    | 197.5    | 266.5    | 241.7    | 155.3    | 71.5     | 396.7    | 313.0    |
| 4                             | 243.0    | 343.9    | 347.2    | 299.7    | 303.0    | 380.6    | 296.9    | 139.2    | 55.4     |
| 5                             | 205.6    | 262.6    | 251.9    | 244.8    | 234.0    | 268.0    | 184.2    | 139.2    | 55.4     |
| 6                             | 168.3    | 181.4    | 156.5    | 190.0    | 165.1    | 155.3    | 71.5     | 139.2    | 55.4     |
| 7                             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 8                             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 9                             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 10                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 11                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 12                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 13                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 14                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 15                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 16                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 17                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 18                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 19                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 20                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{max}$  396.7 t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{min}$  55.4 t

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

| Sollecitazioni a quota intradosso zattera |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|
| COMB.                                     | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) |
| 1   | 16.6                  | 35.6                  |
| 2   | 16.6                  | 37.6                  |
| 3   | 16.6                  | 37.6                  |
| 4   | 31.1                  | 16.1                  |
| 5   | 31.1                  | 16.1                  |
| 6   | 0.0                   | 150.8                 |
| 7   | 0.0                   | 150.8                 |
| 8   | 150.8                 | 0.0                   |
| 9   | 150.8                 | 0.0                   |

| T <sub>l</sub><br>(t) | T <sub>t</sub><br>(t) | T <sub>max</sub><br>(t) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 2.77                  | 5.93                  | 6.55                    |
| 2.77                  | 6.27                  | 6.86                    |
| 2.77                  | 6.27                  | 6.86                    |
| 5.18                  | 2.69                  | 5.84                    |
| 5.18                  | 2.69                  | 5.84                    |
| 0.00                  | 25.14                 | 25.14                   |
| 0.00                  | 25.14                 | 25.14                   |
| 25.14                 | 0.00                  | 25.14                   |
| 25.14                 | 0.00                  | 25.14                   |

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 25.14$  t

| PALI  |                  |       |
|-------|------------------|-------|
| SISM  |                  | ESER  |
| 396.7 | N <sub>max</sub> | 388.1 |
| 55.4  | N <sub>min</sub> | 156.5 |
| 25.1  | T <sub>max</sub> | 6.9   |

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

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 150.0 \text{ cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_0 = 5.022 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 63.119 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 396.7 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 55.4 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 68.50 \text{ cm} \qquad \text{Copriferro} = 6.5 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 90.4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Coeff. omogeneizzazione } n = 15.0$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile cls} = 122.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

#### **Verifica con sforzo normale massimo**

Centro di pressione interno al nocciolo centrale d'inerzia (Piccola eccentricità)

$$\text{Area ideale} = 1.90 \text{ m}^2$$

$$\text{Momento d'inerzia della sezione ideale} = 4.38\text{E}+07 \text{ m}^4$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 31.66 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione min di compressione Cls} = 10.04 \text{ kg/cm}^2$$

#### **Verifica con sforzo normale minimo**

Centro di pressione esterno al nocciolo centrale d'inerzia (Grande eccentricità)

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 141.90 \text{ }^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 50.52 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 35.36 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 976.10 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

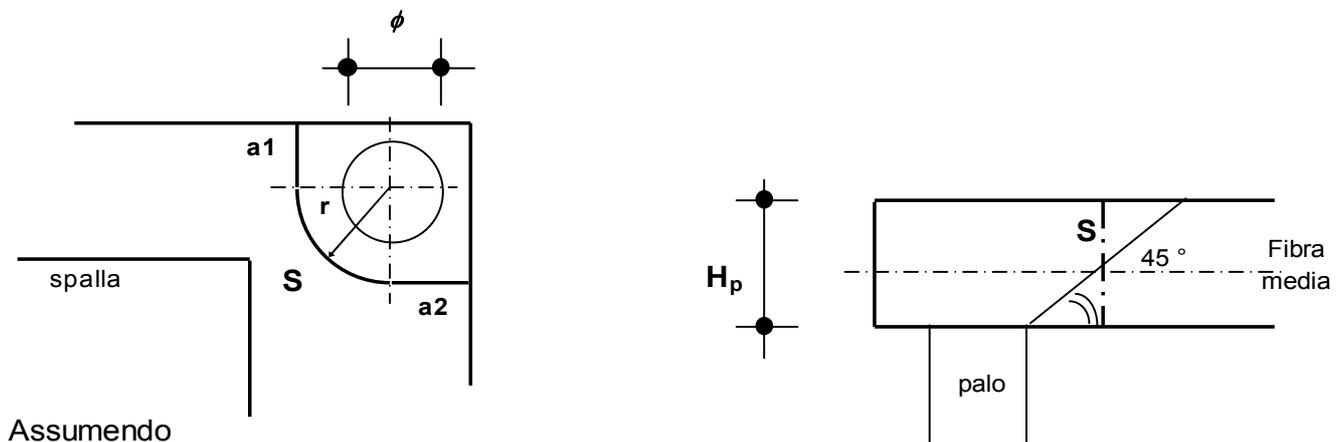
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

Si verifica lo sforzo tangenziale sulla porzione di angolo della zattera di fondazione più sollecitata dal carico assiale presente sui pali.

E' analizzata la reazione esercitata dal palo di angolo più sollecitato (vedi par. 6.01):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 396.74 \text{ t}$$

Si ipotizza una distribuzione a 45° del carico sullo spessore della zattera e si assume una superficie resistente al taglio definita dall'intersezione del cono a 45° di detta distribuzione con la fibra media:



$$a1 = 1.00 \text{ m}$$

$$a2 = 1.00 \text{ m}$$

$$r = 1.75 \text{ m}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r / 2 + a2) = 9.50 \text{ m}^2$$

La tensione tangenziale  $\tau_{cls}$  nel calcestruzzo è poi pari a

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 4.18 \text{ kg/cm}^2$$

Tale valore va confrontato con i valori  $\tau_{c0}$  e  $\tau_{c1}$  di normativa, che per un calcestruzzo di fondazione è pari a:

$$R_{ck} \text{ fondazione} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{c0} = 7.33333 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{c1} = 21.1429 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA FUSTO PILA

Tipo verifica : tensioni ammissibili - pressoflessione deviata.  
Unità di misura: Kgf; cm; Kgf / cm<sup>2</sup>; Kgf x cm; d in mm;  
deformazioni\*1000.

Simboli:

Vert. = contorno\_vertice del CLS;                    d = diametro;  
S       = Sigma (tensioni sui materiali);  
Ve      = colonna che indica se la verifica e' soddisfatta.

### MATERIALI

Calcestruzzo: Rck =        400.    ;E    = 360000.    ; Samm=        122.5 .  
Acciaio        :    Tipo= FeB44k        ; Samm=        2600.    ; n=15 .

### SEZIONE

L'asse Z e' rivolto verso destra, l'asse Y e' rivolto verso l'alto.  
Tipo sezione: CIRCOLARE

Cls:

Acciaio lento:

| vert. | Z     | Y     | ferro | Z     | Y     | d[mm] | Af[cm <sup>2</sup> ] |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| 1_1   | 0.    | 150.  | 1     | 144.6 | 0.    | 26.   | 5.3093               |
| 1_2   | 150.  | 0.    | 2     | 144.2 | 10.1  | 26.   | 5.3093               |
| 1_3   | 0.    | -150. | 3     | 143.2 | 20.1  | 26.   | 5.3093               |
| 1_4   | -150. | 0.    | 4     | 141.4 | 30.1  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 5     | 139.  | 39.9  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 6     | 135.9 | 49.5  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 7     | 132.1 | 58.8  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 8     | 127.7 | 67.9  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 9     | 122.6 | 76.6  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 10    | 117.  | 85.   | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 11    | 110.8 | 92.9  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 12    | 104.  | 100.4 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 13    | 96.8  | 107.5 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 14    | 89.   | 113.9 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 15    | 80.9  | 119.9 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 16    | 72.3  | 125.2 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 17    | 63.4  | 130.  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 18    | 54.2  | 134.1 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 19    | 44.7  | 137.5 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 20    | 35.   | 140.3 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 21    | 25.1  | 142.4 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 22    | 15.1  | 143.8 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 23    | 5.    | 144.5 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 24    | -5.   | 144.5 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 25    | -15.1 | 143.8 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 26    | -25.1 | 142.4 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 27    | -35.  | 140.3 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 28    | -44.7 | 137.5 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 29    | -54.2 | 134.1 | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 30    | -63.4 | 130.  | 26.   | 5.3093               |
|       |       |       | 31    | -72.3 | 125.2 | 26.   | 5.3093               |

|    |  |        |  |        |  |     |  |        |  |
|----|--|--------|--|--------|--|-----|--|--------|--|
| 32 |  | -80.9  |  | 119.9  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 33 |  | -89.   |  | 113.9  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 34 |  | -96.8  |  | 107.5  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 35 |  | -104.  |  | 100.4  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 36 |  | -110.8 |  | 92.9   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 37 |  | -117.  |  | 85.    |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 38 |  | -122.6 |  | 76.6   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 39 |  | -127.7 |  | 67.9   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 40 |  | -132.1 |  | 58.8   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 41 |  | -135.9 |  | 49.5   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 42 |  | -139.  |  | 39.9   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 43 |  | -141.4 |  | 30.1   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 44 |  | -143.2 |  | 20.1   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 45 |  | -144.2 |  | 10.1   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 46 |  | -144.6 |  | 0.     |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 47 |  | -144.2 |  | -10.1  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 48 |  | -143.2 |  | -20.1  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 49 |  | -141.4 |  | -30.1  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 50 |  | -139.  |  | -39.9  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 51 |  | -135.9 |  | -49.5  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 52 |  | -132.1 |  | -58.8  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 53 |  | -127.7 |  | -67.9  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 54 |  | -122.6 |  | -76.6  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 55 |  | -117.  |  | -85.   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 56 |  | -110.8 |  | -92.9  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 57 |  | -104.  |  | -100.4 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 58 |  | -96.8  |  | -107.5 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 59 |  | -89.   |  | -113.9 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 60 |  | -80.9  |  | -119.9 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 61 |  | -72.3  |  | -125.2 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 62 |  | -63.4  |  | -130.  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 63 |  | -54.2  |  | -134.1 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 64 |  | -44.7  |  | -137.5 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 65 |  | -35.   |  | -140.3 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 66 |  | -25.1  |  | -142.4 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 67 |  | -15.1  |  | -143.8 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 68 |  | -5.    |  | -144.5 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 69 |  | 5.     |  | -144.5 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 70 |  | 15.1   |  | -143.8 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 71 |  | 25.1   |  | -142.4 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 72 |  | 35.    |  | -140.3 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 73 |  | 44.7   |  | -137.5 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 74 |  | 54.2   |  | -134.1 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 75 |  | 63.4   |  | -130.  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 76 |  | 72.3   |  | -125.2 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 77 |  | 80.9   |  | -119.9 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 78 |  | 89.    |  | -113.9 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 79 |  | 96.8   |  | -107.5 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 80 |  | 104.   |  | -100.4 |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 81 |  | 110.8  |  | -92.9  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 82 |  | 117.   |  | -85.   |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 83 |  | 122.6  |  | -76.6  |  | 26. |  | 5.3093 |  |
| 84 |  | 127.7  |  | -67.9  |  | 26. |  | 5.3093 |  |

|    |       |       |     |  |        |
|----|-------|-------|-----|--|--------|
| 85 | 132.1 | -58.8 | 26. |  | 5.3093 |
| 86 | 135.9 | -49.5 | 26. |  | 5.3093 |
| 87 | 139.  | -39.9 | 26. |  | 5.3093 |
| 88 | 141.4 | -30.1 | 26. |  | 5.3093 |
| 89 | 143.2 | -20.1 | 26. |  | 5.3093 |
| 90 | 144.2 | -10.1 | 26. |  | 5.3093 |

SOLLECITAZIONI AGENTI

Sforzi normali applicati in z= 0. ; y= 0. (baricentro CLS)  
 Convenzioni: N + trazione; Mz + fib.inferiori tese; My + fib.sinistra  
 tese.

| N. | N        | Mz        | My       | Sollecitaz. ultima<br>calcolata |
|----|----------|-----------|----------|---------------------------------|
| 1  | -1269440 | 109498000 | 22447000 |                                 |
| 2  | -1106650 | 160557000 | 0        |                                 |

RISULTATI

Piani di equilibrio (eps= muz \* y +muy \* z + lam):

| Sol. | muz           | muy           | lambda       |
|------|---------------|---------------|--------------|
| 1    | -.00000086885 | -.00000017811 | -.0000325672 |
| 2    | -.00000186675 | 0.            | .00002690962 |

Tensioni massime sui materiali:

| sol | Cls   |       |    | Acciaio lento |        |    |
|-----|-------|-------|----|---------------|--------|----|
|     | vert. | S cls | Ve | ferro S       | ferri  | Ve |
| 1   | 1- 1  | -58.6 | si | 21            | -868.1 | si |
| 2   | 1- 1  | -91.1 | si | 68            | 1602.1 | si |

## CALCOLO SPALLA B – Rampa 1 (fissa)

### GEOMETRIA DELLA SPALLA

Di seguito si riportano i principali parametri geometrici della spalla:

#### *Muro frontale*

Si indica con  $B_{lm, sup}$  la larghezza longitudinale (secondo l'asse viario) in testa muro e con  $B_{tm}$  la larghezza trasversale del muro;  $H_m$  è l'altezza del muro mentre  $Pend.m$  è la pendenza della parete posteriore del muro.

| $B_{lm, sup}$<br>(m) | $Pend.m$<br>% | $B_{tm}$<br>(m) | $H_m$<br>(m) |
|----------------------|---------------|-----------------|--------------|
| 1.20                 | 0.000         | 7.50            | 4.52         |

#### *Speroni*

Si indica con  $B_{lsper}$  la larghezza longitudinale dei due speroni, con  $B_{tsper}$  la loro larghezza trasversale e con  $H_{sper}$  la loro altezza

| $B_{lsper}$<br>(m) | $B_{tsper}$<br>(m) | $H_{sper}$<br>(m) |
|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1.60               | 1.40               | 4.22              |

#### *Soletta speroni*

Si indica con  $B_{lsol}$  la larghezza longitudinale della soletta sopra gli speroni, con  $B_{tsol}$  la sua larghezza trasversale e con  $H_{sol}$  la sua altezza

| $B_{lsol}$<br>(m) | $B_{tsol}$<br>(m) | $H_{sol}$<br>(m) |
|-------------------|-------------------|------------------|
| 1.60              | 7.50              | 0.30             |

#### *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.

| $B_{lpar}$<br>(m) | $B_{tpar}$<br>(m) | $H_{par}$<br>(m) |
|-------------------|-------------------|------------------|
| 0.70              | 7.50              | 2.35             |

### *Mensola*

Si indica con  $L_{ms}$  la lunghezza della mensola, con  $B_{tms}$  la larghezza trasversale, con  $H_{ms,min}$  e  $H_{ms,max}$  rispettivamente l'altezza minima e massima delle stesse.

| $L_{ms}$<br>(m) | $B_{tms}$<br>(m) | $H_{ms,min}$<br>(m) | $H_{ms,max}$<br>(m) |
|-----------------|------------------|---------------------|---------------------|
| 0.20            | 7.50             | 0.27                | 0.27                |

### *Muri di risvolto*

Si indica con  $L_r$  la lunghezza del muro, con  $H_r$  la sua altezza, con  $S_{pt,r}$  lo spessore alla base del muro e con  $Pend._r$  la pendenza della parete posteriore del muro.

| Elem. | $S_{pt,r}$<br>(m) | $Pend._r$<br>% | $L_r$<br>(m) | $H_r$<br>(m) |
|-------|-------------------|----------------|--------------|--------------|
| Dx    | 1.00              | 0.000          | 4.20         | 6.87         |
| SX    | 1.00              | 0.000          | 4.20         | 6.87         |

### *Orecchie*

Si indica con  $L_o$  la lunghezza delle orecchie, con  $S_o$  lo spessore, con  $H_{o,min}$  e  $H_{o,max}$  rispettivamente l'altezza minima e massima delle stesse.

| Elem. | $L_o$<br>(m) | $S_o$<br>(m) | $H_{o,min}$<br>(m) | $H_{o,max}$<br>(m) |
|-------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|
| Dx    | 0.00         | 0.00         | 0.00               | 0.00               |
| Sx    | 0.00         | 0.00         | 0.00               | 0.00               |

### *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.

| $B_{lp}$<br>(m) | $B_{tp}$<br>(m) | $H_p$<br>(m) | $S_p$<br>(m) |
|-----------------|-----------------|--------------|--------------|
| 7.70            | 8.60            | 1.60         | 2.30         |

## **AZIONI SULLA SPALLA**

Le azioni caratteristiche agenti sulla spalla sono le seguenti:

### ***AZIONI VERTICALI D'ESERCIZIO***

- ### Carichi permanenti
- ### Carichi accidentali mobili (automezzi e folla)

### ***AZIONI ORIZZONTALI D'ESERCIZIO***

#### ***TRASVERSALI***

- ### Vento trasversale sull'impalcato (Imp. scarico e carico)
- ### Azione centrifuga per carichi mobili

#### ***LONGITUDINALI***

- ### Azione longitudinale di frenatura
- ### Resistenza parassita dei vincoli
- ### Spinta terreno in condizioni normali

### ***AZIONI SISMICHE***

- ### Sisma longitudinale e trasversale sulla spalla
- ### Spinta terreno incrementata in condizioni sismiche

Le azioni verranno nel seguito distinte tra azioni trasmesse dall'impalcato agli appoggi (e quindi agenti a quota appoggi e sull'asse di questi), azioni trasmesse alla spalla dal terreno retrostante il muro della stessa (riportate al filo anteriore e inferiore della platea di fondazione) e azioni derivanti dal peso proprio degli elementi della spalla.

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.

## AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO IN CONDIZIONI NORMALI

Riferendosi alla quota appoggi dell'impalcato e all'asse longitudinale dello stesso si ottengono le azioni di progetto elencate nel proseguo della presente relazione.

### AZIONI VERTICALI

#### ### CARICHI PERMANENTI

Il peso proprio dell'impalcato gravante sull'appoggio della spalla come risulta dai calcoli svolti nella specifica relazione per l'impalcato, risulta essere pari a circa :

$$N_{app} = 165.74 \text{ t}$$

#### ### CARICHI ACCIDENTALI

Saranno ora analizzati gli effetti globali sull'impalcato trasmessi dai carichi accidentali. Per la verifica delle spalle, si considerano due distinte condizioni di carico: la prima che massimizza il carico verticale e la seconda che massimizza il momento trasversale  $M_t$ .

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

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

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     | M     |
| 142.9 | 130.9 |

DISP. 2 Max momento trasversale  $M_t$

|      |       |
|------|-------|
| N    | M     |
| 95.2 | 190.5 |

## AZIONI ORIZZONTALI

### ### AZIONI TRASVERSALI

#### Vento trasversale sull'impalcato

Si considera il seguente carico di riferimento :

$$q_{\text{vento}} = 0.025 \text{ kg/cm}^2$$

Vengono analizzate due distinte situazioni di carico:

- 1) Vento trasversale con impalcato scarico
- 2) Vento trasversale con impalcato carico

Per la condizione di impalcato carico, si dovranno applicare i coefficienti moltiplicativi  $K_w$  pari a 0,2 e 0,6:

(1) Impalcato scarico

| $H_t$<br>(t) | $M_t$<br>(t*m) |
|--------------|----------------|
| 8.73         | 9.82           |

(2) Impalcato carico

|           | $H_t$<br>(t) | $M_t$<br>(t*m) |
|-----------|--------------|----------------|
| $K_w=0,6$ | 12.22        | 29.79          |
| $K_w=0,2$ | 4.07         | 9.93           |

### ### AZIONI LONGITUDINALI

#### Frenatura

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

$$h = 1.18 \text{ m}$$

Tale forza è pari al maggiore dei due valori  $H_{f1,a}$  pari a 1/10 della singola colonna di carico più pesante per ciascuna carreggiata e  $H_{f1,b}$  pari al 20% del carico che può interessare la struttura:

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 54.60 \quad t$$

e genera un momento longitudinale  $M_f$  pari a:

$$M_f = -64.155 \quad t \cdot m$$

### Resistenza parassita dei vincoli

Gli appoggi sono in acciaio e PTFE, ed il coefficiente di attrito assunto è pari a  $k_{att} = 0,03$ .

L'attrito dei vincoli risulta pari a

$$H_{vincoli} = 54.20 \quad t$$

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

$$h = 1.18 \quad m$$

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

$$M_{attr} = -63.686 \quad t \cdot m$$

### AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO IN CONDIZIONI DI SISMA

Le azioni sismiche si dividono in azioni orizzontali e azioni verticali

#### Forza sismica orizzontale

$$H_s = K_h * W_h$$

dove

$$K_h = C * R * \varepsilon * \beta * I$$

$W_h$

S

$$C = (S - 2) / 100$$

$$R = 1.00$$

$$\varepsilon = 1.20$$

$$\beta = 1.20$$

$$I = 1.20$$

CARICHI PERMANENTI

grado di sismicità

coefficiente di intensità sismica

coefficiente di risposta ( $T_0 < 0.8 \text{ s}$ )

coefficiente di fondazione

coefficiente di struttura ISOSTATICA

coefficiente di protezione sismica

## Forza sismica verticale

$$N_s = K_v * W_v$$

dove

$$K_v = m * C * I$$

$W_v$

S

$$C = (S - 2) / 100$$

$$m = 2.00$$

$$I = 1.20$$

CARICHI PERMANENTI

grado di sismicità

coefficiente di intensità sismica

coefficiente verticale

coefficiente di protezione sismica

| S | C    | $K_h$  | $K_v$  |
|---|------|--------|--------|
| 9 | 0.07 | 0.1210 | 0.1680 |

Rispetto all'asse dell'impalcato, il sisma può essere trasversale o longitudinale.

## ### SISMA TRASVERSALE

Per il sisma trasversale i carichi permanenti  $W_h$  e  $W_v$  si riducono al peso dell'impalcato sulla spalla  $N_{app}$

$$W = W_h = W_v = N_{app}$$

Per il sisma trasversale si calcola, oltre alla forza orizzontale risultante, anche il momento trasversale risultante di tale forza rispetto agli appoggi.

Indicando con  $h_{bar,p}$  l'altezza del baricentro dei carichi permanenti

(punto dove risulta applicata la forza sismica orizzontale) rispetto alla quota degli appoggi, si ha per il momento trasversale dovuto al sisma

$$M_{s,t} = H_{s,t} * h_{bar,p}$$

| W      | $h_{bar,p}$ |
|--------|-------------|
| (t)    |             |
| 165.74 | 1.18        |

| Orizzont. |           | Vert.            |
|-----------|-----------|------------------|
| $H_{s,t}$ | $M_{s,t}$ | $\Delta N_{s,t}$ |
| (t)       | (t*m)     | (t)              |
| 20.05     | 23.56     | 27.85            |

### ### SISMA LONGITUDINALE

Per il sisma longitudinale i carichi permanenti  $W_h$  sono pari al peso complessivo dell'impalcato

$$W_h = N_{imp}$$

mentre i carichi permanenti  $W_v$  sono pari al peso dell'impalcato  $N_{app}$

$$W_v = N_{app}$$

Come da normativa, non si considera presente il sovraccarico mobile sull'impalcato.

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

| $W_h$<br>(t) | $W_v$<br>(t) | $h_{sism,l}$ | Orizzont.<br>$H_{s,l}$<br>(t) | $M_{s,l}$<br>(t*m) | Vert.<br>$\Delta N_{s,t}$<br>(t) |
|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 1 972.43     | 165.74       | 1.18         | 238.59                        | -280.34            | 27.85                            |

### COMBINAZIONI DI CARICO DELLE AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

In accordo con quanto contenuto nel D.M. 4.5.90 si individuano quattro gruppi di carico.

|                   | Azione gruppo | COEFFICIENTI MOLTIPLICATIVI |             |       |       |       |              |
|-------------------|---------------|-----------------------------|-------------|-------|-------|-------|--------------|
|                   |               | Perm.                       | Acc. dinam. | Fren. | Vento | Sisma | Attrito app. |
| Viadotto scarico  | A I           | 1.00                        | 0.00        | 0.00  | 1.00  | 0.00  | 1.00         |
| C.N.E.+ vento     | A II          | 1.00                        | 1.00        | 0.00  | 0.60  | 0.00  | 1.00         |
| C.N.E.+ frenatura | A III         | 1.00                        | 1.00        | 1.00  | 0.20  | 0.00  | 1.00         |
| Cond. sismica     | A V           | 1.00                        | 0.00        | 0.00  | 0.00  | 1.00  | 0.00         |

In precedenza, per ciò che attiene alla disposizione dei carichi accidentali, si sono esaminate 2 distinte condizioni di carico, relative una al massimo carico verticale e una al massimo momento trasversale. Correlando allora questi carichi accidentali con le altre azioni esterne, avremo le seguenti combinazioni.

| COMB. | AZ. GR. | CARICHI  | Az.prev. |
|-------|---------|--|----------|
| 1     | A I     | Perm. + Vento (1) * 1.0 + Attr. * 1.0                              | Imp. sc. |
| 2     | A II    | Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (2) * 0.6 + Attr. * 1.0               | Ven. tr. |
| 3     | A II    | Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (2) * 0.6 + Attr. * 1.0               | Ven. tr. |
| 4     | A III   | Perm. + Acc. DISP. 1 + Fren. * 1.0 + Vento (2) * 0.2 + Attr. * 1.0 | Fren.    |
| 5     | A III   | Perm. + Acc. DISP. 2 + Fren. * 1.0 + Vento (2) * 0.2 + Attr. * 1.0 | Fren.    |
| 6     | A V     | Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale positiva              | Sism. T  |
| 7     | A V     | Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale negativa              | Sism. T  |
| 8     | A V     | Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale positiva            | Sism. L  |
| 9     | A V     | Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale negativa            | Sism. L  |

Si determinano allora le azioni di progetto riferite alla quota degli appoggi.

**COMB. 1**      *Perm. + Vento (1) \* 1.0 + Attr. \* 1.0*

| <i>Az. progetto</i> | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Permanenti          | 165.74           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Vento (1) * 1.0     | 0.00             | 0.00                         | 8.73                         | 0.00                           | 9.82                           |
| Attrito * 1.00      | 0.00             | 54.20                        | 0.00                         | -63.69                         | 0.00                           |
| <i>TOT</i>          | 165.74           | 54.20                        | 8.73                         | -63.69                         | 9.82                           |

**COMB. 2**      *Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (2) \* 0.6 + Attr. \* 1.0*

| <i>Az. progetto</i> | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Permanenti          | 165.74           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Acc. disp. 1        | 142.85           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 130.95                         |
| Vento (2) * 0.60    | 0.00             | 0.00                         | 12.22                        | 0.00                           | 29.79                          |
| Attrito * 1.00      | 0.00             | 54.20                        | 0.00                         | -63.69                         | 0.00                           |
| <i>TOT</i>          | 308.60           | 54.20                        | 12.22                        | -63.69                         | 160.74                         |

**COMB. 3**      *Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (2) \* 0.6 + Attr. \* 1.0*

| <i>Az. progetto</i> | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Permanenti          | 165.74           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Acc. disp. 2        | 95.23            | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 190.47                         |
| Vento (2) * 0.60    | 0.00             | 0.00                         | 12.22                        | 0.00                           | 29.79                          |
| Attrito * 1.00      | 0.00             | 54.20                        | 0.00                         | -63.69                         | 0.00                           |
| <i>TOT</i>          | 260.98           | 54.20                        | 12.22                        | -63.69                         | 220.26                         |

**COMB. 4**      *Perm. + Acc. DISP. 1 + Fren. \* 1.0 + Vento (2) \* 0.2 + Attr. \* 1.0*

| <i>Az. progetto</i> | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Permanenti          | 165.74           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Acc. disp. 1        | 142.85           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 130.95                         |
| Fren. * 1.00        | 0.00             | 54.60                        | 0.00                         | -64.16                         | 0.00                           |
| Vento (2) * 0.20    | 0.00             | 0.00                         | 4.07                         | 0.00                           | 9.93                           |
| Attrito * 1.00      | 0.00             | 54.20                        | 0.00                         | -63.69                         | 0.00                           |
| <i>TOT</i>          | 308.60           | 108.80                       | 4.07                         | -127.84                        | 140.88                         |

COMB. 5 Perm. + Acc. DISP. 2 + Fren. \* 1.0 + Vento (2) \* 0.2 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 165.74   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 2     | 95.23    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 190.47                  |
| Fren. * 1.00     | 0.00     | 54.60                 | 0.00                  | -64.16                  | 0.00                    |
| Vento (2) * 0.20 | 0.00     | 0.00                  | 4.07                  | 0.00                    | 9.93                    |
| Attrito * 1.00   | 0.00     | 54.20                 | 0.00                  | -63.69                  | 0.00                    |
| TOT              | 260.98   | 108.80                | 4.07                  | -127.84                 | 200.40                  |

COMB. 6 Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale positiva

| Az. progetto        | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|---------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti          | 165.74   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. trasv. | 0.00     | 0.00                  | 20.05                 | 0.00                    | 23.56                   |
| Sisma vert. +       | 27.85    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                 | 193.59   | 0.00                  | 20.05                 | 0.00                    | 23.56                   |

COMB. 7 Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale negativa

| Az. progetto        | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|---------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti          | 165.74   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. trasv. | 0.00     | 0.00                  | 20.05                 | 0.00                    | 23.56                   |
| Sisma vert. -       | -27.85   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                 | 137.90   | 0.00                  | 20.05                 | 0.00                    | 23.56                   |

COMB. 8 Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale positiva

| Az. progetto       | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|--------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti         | 165.74   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. long. | 0.00     | 238.59                | 0.00                  | -280.34                 | 0.00                    |
| Sisma vert. +      | 27.85    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                | 193.59   | 238.59                | 0.00                  | -280.34                 | 0.00                    |

COMB. 9 Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale negativa

| Az. progetto       | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|--------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti         | 165.74   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. long. | 0.00     | 238.59                | 0.00                  | -280.34                 | 0.00                    |
| Sisma vert. -      | -27.85   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                | 137.90   | 238.6                 | 0.00                  | -280.3                  | 0.00                    |

Si riepilogano ora tutte le combinazioni esaminate, avendo l'accortezza di separare gli effetti del sisma orizzontale e di quello verticale per la verifica delle strutture che formano la spalla in oggetto. Difatti per questi elementi verrà applicata la regola che prescrive la composizione quadratica delle due azioni.

| AZIONI A QUOTA APPOGGI IMPALCATO |          |                       |                       |                         |                         | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|----------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| COMB.                            | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
| 1                                | 165.74   | 54.20                 | 8.73                  | -63.69                  | 9.82                    |                          |
| 2                                | 308.60   | 54.20                 | 12.22                 | -63.69                  | 160.74                  |                          |
| 3                                | 260.98   | 54.20                 | 12.22                 | -63.69                  | 220.26                  |                          |
| 4                                | 308.60   | 108.80                | 4.07                  | -127.84                 | 140.88                  |                          |
| 5                                | 260.98   | 108.80                | 4.07                  | -127.84                 | 200.40                  |                          |

|         |     |        |        |       |         |       |                 |
|---------|-----|--------|--------|-------|---------|-------|-----------------|
| Perm.   | 6,7 | 165.74 | 0.00   | 0.00  | 0.00    | 0.00  | Sisma<br>Trasv. |
| Vert. + | 6   | 27.85  | 0.00   | 0.00  | 0.00    | 0.00  |                 |
| Vert. - | 7   | -27.85 | 0.00   | 0.00  | 0.00    | 0.00  |                 |
| Orizz.  | 6,7 | 0.00   | 0.00   | 20.05 | 0.00    | 23.56 |                 |
| Perm.   | 8,9 | 165.74 | 0.00   | 0.00  | 0.00    | 0.00  | Sisma<br>Long.  |
| Vert. + | 8   | 27.85  | 0.00   | 0.00  | 0.00    | 0.00  |                 |
| Vert. - | 9   | -27.85 | 0.00   | 0.00  | 0.00    | 0.00  |                 |
| Orizz.  | 8,9 | 0.00   | 238.59 | 0.00  | -280.34 | 0.00  |                 |

### AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI NORMALI

Per il calcolo delle azioni trasmesse dal terreno si assume un peso specifico del terreno  $\gamma_t$  e un angolo di attrito interno  $\phi'$  pari a:

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

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva  $K_a$  dalla relazione di Rankine come

$$K_a = 0.27099$$

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  $Pend._m$  l'inclinazione della parete posteriore del muro frontale, con  $Spt_r$ ,  $Pend._r$  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:

| $B_{lp}$<br>(m) | $B_{tp}$<br>(m) | $S_p$<br>(m) | $B_{lm,sup}$<br>(m) | $Pend._m$<br>% | $H_{m+par}$<br>(m) | $Spt_r dx$<br>(m) | $Pend._r dx$<br>% | $Spt_r sx$<br>(m) |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 7.70            | 8.60            | 2.30         | 1.20                | 0              | 6.87               | 1.00              | 0                 | 1.00              |

| $Pend._r sx$<br>% | $H_r dx$<br>(m) | $H_r sx$<br>(m) |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| 0                 | 6.87            | 6.87            |

| $Q_t$<br>(t) | $Q_s$<br>(t) | $e_{Qt}$<br>(m) | $e_{Qs}$<br>(m) |
|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 342.79       | 55.44        | 5.60            | 5.60            |

## AZIONI ORIZZONTALI

Le azioni trasmesse dal terreno alla spalla sono la spinta attiva del terreno a tergo della spalla dovuta al peso del terreno  $\gamma_t$  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):

| $B_{tp}$<br>(m) | $H_p$<br>(m) | $H_{m+par}$<br>(m) | $S_{a,t}$<br>(t) | $S_{a,s}$<br>(t) | $e_{Sa,t}$<br>(m) | $e_{Sa,s}$<br>(m) |
|-----------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 8.60            | 1.60         | 6.87               | 150.47           | 39.48            | 2.82              | 4.24              |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dal terreno alla spalla, considerate agenti al centro del filo anteriore della fondazione, si ha:

| <i>Az. progetto</i>    | <b>N</b><br>(t) | <b>H<sub>l</sub></b><br>(t) | <b>H<sub>t</sub></b><br>(t) | <b>M<sub>l</sub></b><br>(t*m) | <b>M<sub>t</sub></b><br>(t*m) |
|------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Terreno sopra platea   | 398.23          | 0.00                        | 0.00                        | 2 230.06                      | 0                             |
| Spinta della terra     | 0.00            | 150.47                      | 0.00                        | -424.84                       | 0.00                          |
| Spinta per carico acc. | 0.00            | 39.48                       | 0.00                        | -167.19                       | 0.00                          |
| <b>TOT</b>             | 398.23          | 189.95                      | 0.00                        | 1 638.03                      | 0.00                          |

## AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI DI SISMA

### ### SISMA LONGITUDINALE

In caso di sisma longitudinale orizzontale si ha incremento di spinta sismico sul terreno portato. Risulta:

$$\begin{aligned}
 C &= 0.07 & \theta &= \arctg(C) = 4.004^\circ \\
 i' = i + \theta &= 4.004^\circ \\
 \beta' = \beta + \theta &= 4.004^\circ \\
 \alpha = 90^\circ - \beta' &= 85.996^\circ \\
 \phi' &= 35^\circ
 \end{aligned}$$

Indicando con  $K_{a,s}$  il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche, si ha (vedi G. U. del 5/2/1996)

$$K_{a,s} = 0.3104$$

da cui si calcola un coefficiente orizzontale di spinta pari a

$$K_{a,s \text{ orizzontale}} = K_{a,s} \cdot \cos(\theta) = 0.3097$$

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

| S | C    | $K_h$  | $K_v$  |
|---|------|--------|--------|
| 9 | 0.07 | 0.1210 | 0.1680 |

si ha

| $B_{tp}$<br>(m) | $H_p$<br>(m) | $H_m$<br>(m) | $H_{par}$<br>(m) |
|-----------------|--------------|--------------|------------------|
| 8.60            | 1.60         | 4.52         | 2.35             |

| orizzontale             |                     |                            |                  |                   |                     | verticale               |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| $\Delta S_{a,t}$<br>(t) | $e_{Sa,t}$<br>(t*m) | $\Delta M_{Sa,t}$<br>(t*m) | $F_{iQt}$<br>(t) | $e_{FiQt}$<br>(m) | $M_{FiQt}$<br>(t*m) | $\Delta Q_{s,l}$<br>(t) |
| 21.43                   | 5.65                | -121.01                    | 41.46            | 5.04              | -208.77             | 57.59                   |

### ### 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               |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| $F_{iQt}$<br>(t) | $e_{FiQt}$<br>(m) | $M_{FiQt}$<br>(t*m) | $\Delta Q_{s,t}$<br>(t) |
| 41.46            | 5.04              | 208.77              | 57.59                   |

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<br>(t) | $H_l$<br>(t) | $H_t$<br>(t) | $M_l$<br>(t*m) | $M_t$<br>(t*m) |
|---------------------------|----------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| Peso terreno sopra platea | 342.79   | 0.00         | 0.00         | 2 230.06       | 0.00           |
| Spinta attiva terreno     | 0.00     | 189.95       | 0.00         | -592.03        | 0.00           |
| Sisma long. orizzontale   | 0.00     | 62.89        | 0.00         | -329.78        | 0.00           |
| Sisma trasv. orizzontale  | 0.00     | 0.00         | 41.46        | 0.00           | 208.77         |
| Sisma vert. + Incr. peso  | 57.59    | 0.00         | 0.00         | 322.49         | 0.00           |
| Sisma vert. +Decr. peso   | -57.59   | 0.00         | 0.00         | -322.49        | 0.00           |

### AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO IN CONDIZIONI NORMALI

Ricordando la geometria della spalla delineata nel cap. 4, e considerando tutte le azioni agenti al centro del filo anteriore della platea di fondazione, risulta, con  $e_{l,N}$ ,  $e_{t,N}$ ,  $e_{v,N}$  eccentricità longitudinale, trasversale e verticale del peso degli elementi:

|                     | N<br>(t) | $e_{l,N}$<br>(m) | $e_{t,N}$<br>(m) | $e_{v,N}$<br>(m) |
|---------------------|----------|------------------|------------------|------------------|
| Muro frontale       | 101.70   | 2.90             | 0.00             | 3.86             |
| Speroni             | 47.26    | 1.50             | 0.00             | 3.71             |
| Soletta speroni     | 9.00     | 1.50             | 0.00             | 5.67             |
| Paraghiaia          | 30.84    | 3.15             | 0.00             | 7.30             |
| Mensola             | 0.99     | 2.20             | 0.00             | 8.34             |
|                     | 189.80   | 2.52             | 0.00             | 4.49             |
| Muro di risvolto dx | 72.14    | 5.60             | 3.80             | 5.04             |
| Muro di risvolto sx | 72.14    | 5.60             | -3.80            | 5.04             |
|                     | 144.27   | 5.60             | 0.00             | 5.04             |

|             |      |      |      |      |
|-------------|------|------|------|------|
| Orecchia dx | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Orecchia sx | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|             | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

|                      |        |      |      |      |
|----------------------|--------|------|------|------|
| Platea di fondazione | 264.88 | 3.85 | 0.00 | 0.80 |
|----------------------|--------|------|------|------|

*tot*                      598.95                      3.85                      0.00                      2.99

Riassumendo

| <i>Az. progetto</i> | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Peso proprio        | 598.95           | 0.00                         | 0.00                         | 2 306.37                       | 0.00                           |

### AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO IN CONDIZIONI DI SISMA

Si ricorda che risulta:

| <b>S</b> | <b>C</b> | <b>K<sub>h</sub></b> | <b>K<sub>v</sub></b> |
|----------|----------|----------------------|----------------------|
| 9        | 0.07     | 0.1210               | 0.1680               |

### **### SISMA LONGITUDINALE**

Risulta

|                      | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>v,N</sub><br/>(m)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Muro frontale        | 12.30                        | 3.86                           | -47.48                         |
| Speroni              | 5.72                         | 3.71                           | -21.21                         |
| Soletta speroni      | 1.09                         | 5.67                           | -6.17                          |
| Paraghiaia           | 3.73                         | 7.30                           | -27.22                         |
| Mensola              | 0.12                         | 8.34                           | -1.00                          |
| Muro di risvolto dx  | 8.73                         | 5.04                           | -43.93                         |
| Muro di risvolto sx  | 8.73                         | 5.04                           | -43.93                         |
| Orecchia dx          | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Orecchia sx          | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Platea di fondazione | 32.04                        | 0.80                           | -25.63                         |
| <i>TOT</i>           | 72.45                        |                                | -216.58                        |

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

|                      | <b>H<sub>t</sub></b><br><b>(t)</b> | <b>e<sub>v,N</sub></b><br><b>(m)</b> | <b>M<sub>t</sub></b><br><b>(t*m)</b> |
|----------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Muro frontale        | 12.30                              | 3.86                                 | 47.48                                |
| Speroni              | 5.72                               | 3.71                                 | 21.21                                |
| Soletta speroni      | 1.09                               | 5.67                                 | 6.17                                 |
| Paraghiaia           | 3.73                               | 7.30                                 | 27.22                                |
| Mensola              | 0.12                               | 8.34                                 | 1.00                                 |
| Muro di risvolto dx  | 8.73                               | 5.04                                 | 43.93                                |
| Muro di risvolto sx  | 8.73                               | 5.04                                 | 43.93                                |
| Orecchia dx          | 0.00                               | 0.00                                 | 0.00                                 |
| Orecchia sx          | 0.00                               | 0.00                                 | 0.00                                 |
| Platea di fondazione | 32.04                              | 0.80                                 | 25.63                                |
| <i>TOT</i>           | 72.45                              |                                      | 216.58                               |

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

*Az. progetto*

|                          | <b>N</b><br><b>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub></b><br><b>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub></b><br><b>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub></b><br><b>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub></b><br><b>(t*m)</b> |
|--------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Peso proprio spalla      | 598.95                 | 0.00                               | 0.00                               | 2 306.37                             | 0.00                                 |
| Sisma long. orizzontale  | 0.00                   | 72.45                              | 0.00                               | -216.58                              | 0.00                                 |
| Sisma trasv. orizzontale | 0.00                   | 0.00                               | 72.45                              | 0.00                                 | 216.58                               |
| Sisma vert. + Incr. peso | 100.62                 | 0.00                               | 0.00                               | 387.47                               | 0.00                                 |
| Sisma vert. - Decr. peso | -100.62                | 0.00                               | 0.00                               | -387.47                              | 0.00                                 |

### COMBINAZIONI DI CARICO DI TUTTE LE AZIONI

Per poter sommare le azioni provenienti dall'impalcato a quelle dovute al terreno e al peso proprio, è necessario riportare innanzitutto le azioni trasmesse dall'impalcato al centro del filo anteriore della platea (quota intradosso), rispetto a dove sono state calcolate le azioni relative al terreno e al peso proprio.

Per il trasporto si introducono le eccentricità longitudinale  $e_l$  e trasversale  $e_t$ , ovvero rispettivamente la distanza tra l'asse appoggi e il filo anteriore della fondazione e la distanza tra l'asse del viadotto e l'asse trasversale della platea (distanza positiva se l'asse platea è spostato a dx rispetto all'asse viadotto). Si ha infine una eccentricità verticale  $e_v$  pari alla distanza tra la quota appoggi e la quota di intradosso della platea.

$$e_l = -1.50 \text{ m}$$

$$e_t = 0.37 \text{ m}$$

$$e_v = -6.12 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

| Azioni impalcato rispetto filo anteriore inf. platea |          |                       |                       |                         |                         | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|--|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| COMB.  | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
| 1  | 165.74   | 54.20                 | 8.73                  | -146.78                 | 123.73                  |                          |
| 2  | 308.60   | 54.20                 | 12.22                 | 67.50                   | 348.16                  |                          |
| 3  | 260.98   | 54.20                 | 12.22                 | -3.92                   | 390.31                  |                          |
| 4  | 308.60   | 108.80                | 4.07                  | -330.81                 | 278.45                  |                          |
| 5  | 260.98   | 108.80                | 4.07                  | -402.23                 | 320.59                  |                          |

|                |     |        |        |       |          |        |                 |
|----------------|-----|--------|--------|-------|----------|--------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6,7 | 165.74 | 0.00   | 0.00  | 248.62   | 60.50  | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 27.85  | 0.00   | 0.00  | 41.77    | 10.16  |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -27.85 | 0.00   | 0.00  | -41.77   | -10.16 |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 6,7 | 0.00   | 0.00   | 20.05 | 0.00     | 146.25 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8,9 | 165.74 | 0.00   | 0.00  | 248.62   | 60.50  | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 27.85  | 0.00   | 0.00  | 41.77    | 10.16  |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -27.85 | 0.00   | 0.00  | -41.77   | -10.16 |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8,9 | 0.00   | 238.59 | 0.00  | -1740.48 | 0.00   |                 |

Si sommano ora le azioni provenienti dall'impalcato a quelle derivanti dal terreno e dal peso proprio degli elementi della spalla.

| Azioni totali rispetto filo anteriore platea |            |                      |                      |                      |                      |                          |
|--|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|  | <b>N</b>   | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b>                                 | <b>(t)</b> | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                          |
| 1  | 1 162.92   | 244.15               | 8.73                 | 3 797.63             | 123.73               | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2  | 1 305.77   | 244.15               | 12.22                | 4 011.90             | 348.16               |                          |
| 3  | 1 258.16   | 244.15               | 12.22                | 3 940.48             | 390.31               |                          |
| 4  | 1 305.77   | 298.75               | 4.07                 | 3 613.60             | 278.45               |                          |
| 5  | 1 258.16   | 298.75               | 4.07                 | 3 542.17             | 320.59               |                          |

|                |     |          |        |        |           |        |                 |
|----------------|-----|----------|--------|--------|-----------|--------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6,7 | 1 107.48 | 150.47 | 0.00   | 4 193.02  | 60.50  | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 186.06   | 0.00   | 0.00   | 751.73    | 10.16  |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -186.06  | 0.00   | 0.00   | -751.73   | -10.16 |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 6,7 | 0.00     | 0.00   | 133.96 | 0.00      | 571.60 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8,9 | 1 107.48 | 150.47 | 0.00   | 4 193.02  | 60.50  | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 186.06   | 0.00   | 0.00   | 751.73    | 10.16  |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -186.06  | 0.00   | 0.00   | -751.73   | -10.16 |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8,9 | 0.00     | 373.93 | 0.00   | -2 286.85 | 0.00   |                 |

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA SPALLA

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 8$

Dimensioni platea di fondazione (m)

| X    | Y    | Z    |
|------|------|------|
| 7.70 | 8.60 | 1.60 |

Area fondazione 66.22 m<sup>2</sup>

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

Baricentro palificata

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

| X <sub>G</sub> | Y <sub>G</sub> |
|----------------|----------------|
| 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.

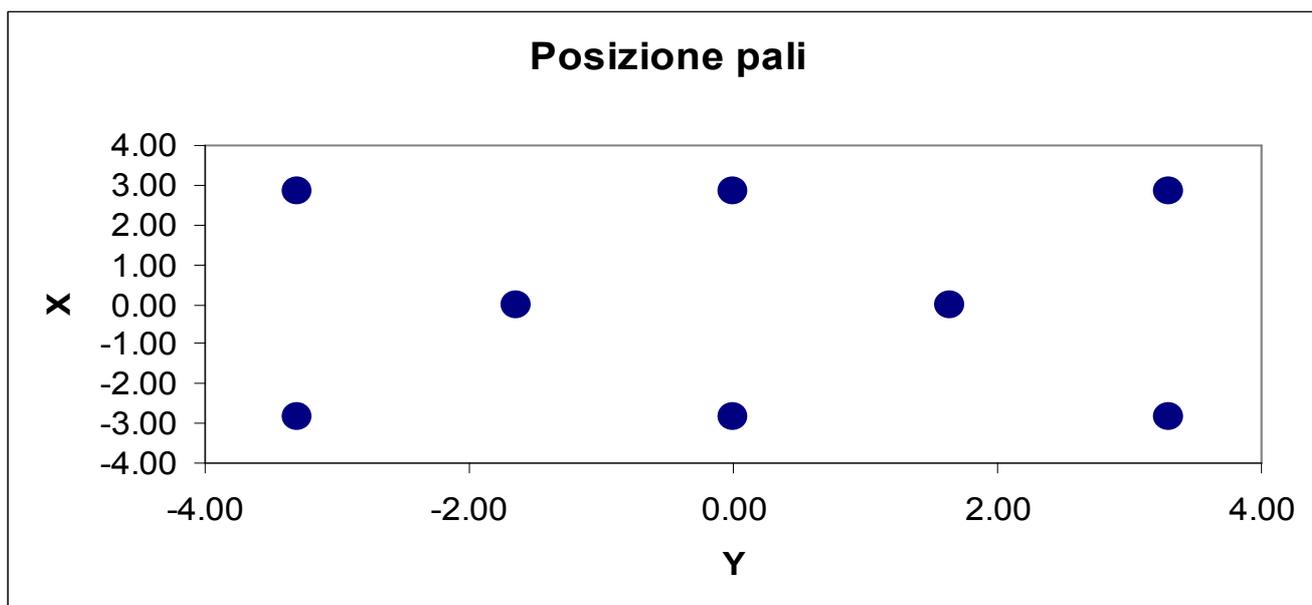
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata (m<sup>2</sup>)

| J <sub>I</sub> | J <sub>t</sub> |
|----------------|----------------|
| 48.735         | 49.005         |

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

| Pali | X<br>(m) | Y<br>(m) | $X_g$<br>(m) | $Y_g$<br>(m) | $W_l$<br>(m) | $W_t$<br>(m) |
|------|----------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1    | 2.85     | 3.30     | 2.85         | 3.30         | 17.10        | 14.85        |
| 2    | 2.85     | 0.00     | 2.85         | 0.00         | 17.10        | Infinito     |
| 3    | 2.85     | -3.30    | 2.85         | -3.30        | 17.10        | -14.85       |
| 4    | 0.00     | 1.65     | 0.00         | 1.65         | Infinito     | 29.70        |
| 5    | 0.00     | -1.65    | 0.00         | -1.65        | Infinito     | -29.70       |
| 6    | -2.85    | 3.30     | -2.85        | 3.30         | -17.10       | 14.85        |
| 7    | -2.85    | 0.00     | -2.85        | 0.00         | -17.10       | Infinito     |
| 8    | -2.85    | -3.30    | -2.85        | -3.30        | -17.10       | -14.85       |
| 9    |          |          |              |              |              |              |
| 10   |          |          |              |              |              |              |
| 11   |          |          |              |              |              |              |
| 12   |          |          |              |              |              |              |
| 13   |          |          |              |              |              |              |
| 14   |          |          |              |              |              |              |
| 15   |          |          |              |              |              |              |
| 16   |          |          |              |              |              |              |
| 17   |          |          |              |              |              |              |
| 18   |          |          |              |              |              |              |
| 19   |          |          |              |              |              |              |
| 20   |          |          |              |              |              |              |

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:

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

$$e_{i, \text{pali}} = 3.85 \text{ m}$$

|   |      | Azioni totali rispetto baricentro palificata |                      |                      |                      |                      |                          |
|---|------|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|   |      | <b>N</b>                                     | <b>H<sub>i</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>i</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b>  |      | <b>(t)</b>                                   | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                          |
|   | 1    | 1 162.92                                     | 244.15               | 8.73                 | -679.62              | 123.73               | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|   | 2    | 1 305.77                                     | 244.15               | 12.22                | -1 015.33            | 348.16               |                          |
|   | 3    | 1 258.16                                     | 244.15               | 12.22                | -903.43              | 390.31               |                          |
|   | 4    | 1 305.77                                     | 298.75               | 4.07                 | -1 413.63            | 278.45               |                          |
|   | 5    | 1 258.16                                     | 298.75               | 4.07                 | -1 301.73            | 320.59               |                          |
| <i>Perm.</i><br><i>Vert. +</i><br><i>Vert. -</i><br><i>Orizz.</i> | 6,7  | 1 107.48                                     | 150.47               | 0.00                 | -70.79               | 60.50                | Sisma<br>Trasv.          |
|   | 6    | 186.06                                       | 0.00                 | 0.00                 | 35.41                | 10.16                |                          |
|   | 7    | -186.06                                      | 0.00                 | 0.00                 | -35.41               | -10.16               |                          |
| 6,7   | 0.00 | 0.00   | 133.96               | 0.00                 | 571.60               |                      |                          |
| <i>Perm.</i><br><i>Vert. +</i><br><i>Vert. -</i><br><i>Orizz.</i> | 8,9  | 1 107.48                                     | 150.47               | 0.00                 | -70.79               | 60.50                | Sisma<br>Long.           |
|   | 8    | 186.06                                       | 0.00                 | 0.00                 | 35.41                | 10.16                |                          |
|   | 9    | -186.06                                      | 0.00                 | 0.00                 | -35.41               | -10.16               |                          |
|   | 8,9  | 0.00   | 373.93               | 0.00                 | -2 286.85            | 0.00                 |                          |

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

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

Per le combinazioni di carico sismiche lo sforzo assiale in testa ai pali si otterrà dalla combinazione quadratica delle componenti verticali e orizzontali dell'azione sismica, pari a:

$$N_{\text{palo}} = (N + \alpha_N (N_v^{\beta_N} + N_o^{\beta_N})^{1/\beta_N}) / n^\circ \text{ pali} + (M_i + \alpha_M (M_{i,v}^{\beta_M} + M_{i,o}^{\beta_M})^{1/\beta_M}) / W_i + (M_t + \alpha_{Mt} (M_{t,v}^{\beta_{Mt}} + M_{t,o}^{\beta_{Mt}})^{1/\beta_{Mt}}) / W_t$$

dove i generici  $\alpha_i = 1$  e  $\beta_i = 1$  se le sollecitazioni i-esime del sisma verticale e orizzontale hanno segni differenti (oppure una delle due è nulla), mentre  $\alpha_i$  ha il segno delle sollecitazioni i-esime e  $\beta_i = 2$  se le stesse hanno lo stesso segno.

**Sollecitazioni sui pali di fondazione (t)**

| <b>Combinazioni di carico</b> |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>PALI</b>                   | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> |
| 1                             | 193.4    | 246.0    | 236.4    | 264.6    | 255.0    | 206.3    | 163.3    | 302.3    | 256.5    |
| 2                             | 185.1    | 222.6    | 210.1    | 245.9    | 233.4    | 163.8    | 121.4    | 297.5    | 253.1    |
| 3                             | 176.8    | 199.2    | 183.8    | 227.1    | 211.8    | 121.2    | 79.5     | 292.7    | 249.7    |
| 4                             | 149.5    | 174.9    | 170.4    | 172.6    | 168.1    | 183.0    | 136.1    | 164.1    | 116.9    |
| 5                             | 141.2    | 151.5    | 144.1    | 153.8    | 146.5    | 140.4    | 94.2     | 159.3    | 113.5    |
| 6                             | 114.0    | 127.3    | 130.7    | 99.3     | 102.7    | 202.2    | 150.8    | 30.6     | -19.3    |
| 7                             | 105.6    | 103.8    | 104.4    | 80.6     | 81.1     | 159.6    | 109.0    | 25.9     | -22.7    |
| 8                             | 97.3     | 80.4     | 78.2     | 61.8     | 59.6     | 117.1    | 67.1     | 21.1     | -26.1    |
| 9                             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 10                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 11                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 12                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 13                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 14                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 15                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 16                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 17                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 18                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 19                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 20                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |

$N_{\max}$  (t)    193.4    246.0    236.4    264.6    255.0    206.3    163.3    302.3    256.5

$N_{\min}$  (t)    97.3    80.4    78.2    61.8    59.6    117.1    67.1    21.1    -26.1

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

| Sollecitazioni a quota intradosso platea |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|
| COMB.                                    | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) |
| 1  | 244.2                 | 8.7                   |
| 2  | 244.2                 | 12.2                  |
| 3  | 244.2                 | 12.2                  |
| 4  | 298.8                 | 4.1                   |
| 5  | 298.8                 | 4.1                   |
| 6  | 150.5                 | 134.0                 |
| 7  | 150.5                 | 134.0                 |
| 8  | 524.4                 | 0.0                   |
| 9  | 524.4                 | 0.0                   |

| T <sub>l</sub><br>(t) | T <sub>t</sub><br>(t) | T <sub>max</sub><br>(t) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 30.52                 | 1.09                  | 30.54                   |
| 30.52                 | 1.53                  | 30.56                   |
| 30.52                 | 1.53                  | 30.56                   |
| 37.34                 | 0.51                  | 37.35                   |
| 37.34                 | 0.51                  | 37.35                   |
| 18.81                 | 16.75                 | 25.18                   |
| 18.81                 | 16.75                 | 25.18                   |
| 65.55                 | 0.00                  | 65.55                   |
| 65.55                 | 0.00                  | 65.55                   |

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 65.55 \text{ t}$

| PALI  |                  |       |
|-------|------------------|-------|
| SISM  |                  | ESER  |
| 302.3 | N <sub>max</sub> | 264.6 |
| -26.1 | N <sub>min</sub> | 59.6  |
| 65.6  | T <sub>max</sub> | 37.3  |

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

$$M_{max} = T_{max} * L_o/2$$

con L<sub>o</sub> lunghezza elastica del palo

Ponendo

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 120.0 \text{ cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 4.248 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 139.24 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 302.3 \text{ t}$$

$$N_{\min} = -26.1 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 53.50 \text{ cm}$$

$$\text{Copriferro} = 6.5 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 95.6 \text{ cm}^2$$

$$\text{Coeff. omogeneizzazione } n = 15.0$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile cls} = 122.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

### ***Verifica con sforzo normale massimo***

Centro di pressione esterno al nocciolo centrale d'inerzia (Grande eccentricità)

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 185.28^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 62.76 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 115.94 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 1405.91 \text{ kg/cm}^2$$

### ***Verifica con sforzo normale minimo***

## AZIONI SUL MURO FRONTALE

### AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

Le azioni trasmesse dall'impalcato sul muro frontale sono già state calcolate nel cap. 5, riferite alla quota appoggi e all'asse del viadotto.

Delle 9 combinazioni di carico individuate nel cap. 5, interessano solo quelle relative alle condizioni normali di esercizio (1-5) e al sisma longitudinale (8,9), non avendo il sisma trasversale (7,8) rilevanza ai fini della verifica del muro frontale. Nella verifica inoltre non si considera il momento trasversale  $M_t$ .

Tali azioni devono ora essere riportate al baricentro della sezione di spiccato del muro frontale (comprensivo degli speroni).

A tal fine si identifica una eccentricità longitudinale  $e_l$  pari alla distanza tra l'asse appoggi e il baricentro del muro frontale, e un eccentricità verticale  $e_v$  pari all'altezza del muro frontale.

Risulta allora:

$$e_l = 0.93 \text{ m}$$

$$e_v = -4.52 \text{ m}$$

$$M_l = M_{l,appoggi} - N_{appoggi} \cdot e_l + H_{l,appoggi} \cdot e_v$$

|         |       | AZIONI IMPALCATO rispetto baricentro muro |                       |                       |                         |                         |                          |
|---------|-------|---|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
|         |       | N<br>(t)                                  | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
|         | COMB. |   |                       |                       |                         |                         |                          |
|         | 1     | 165.74                                    | 54.20                 | 8.73                  | -463.60                 | -                       | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|         | 2     | 308.60                                    | 54.20                 | 12.22                 | -597.12                 | -                       |                          |
|         | 3     | 260.98                                    | 54.20                 | 12.22                 | -552.62                 | -                       |                          |
|         | 4     | 308.60                                    | 108.80                | 4.07                  | -908.07                 | -                       |                          |
|         | 5     | 260.98                                    | 108.80                | 4.07                  | -863.56                 | -                       |                          |
| Perm.   | 8,9   | 165.74                                    | 0.00                  | 0.00                  | -154.92                 | -                       | Sisma<br>Long.           |
| Vert. + | 8     | 27.85                                     | 0.00                  | 0.00                  | -26.03                  | -                       |                          |
| Vert. - | 9     | -27.85                                    | 0.00                  | 0.00                  | 26.03                   | -                       |                          |
| Orizz.  | 8,9   | 0.00                                      | 238.59                | 0.00                  | -1078.41                | -                       |                          |

### AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO

Per il calcolo delle azioni trasmesse dal terreno si ricorda che nel cap. 5 si è assunto un peso specifico del terreno  $\gamma_t$  e un angolo di attrito interno  $\phi'$  pari a:

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

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva  $K_a$  dalla relazione di Rankine come

$$K_a = 0.27099$$

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

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

Le azioni trasmesse dal terreno alla spalla sono la spinta attiva del terreno a tergo della spalla dovuta al peso del terreno  $\gamma_t$  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 al baricentro della sezione di spiccatto del muro frontale, si ha (con  $B_{tm}$  e  $H_m$  rispettivamente larghezza trasversale e altezza del muro frontale e con  $H_{par}$  altezza del muro paraghiaia):

| $B_{tm}$<br>(m) | $H_m$<br>(m) | $H_{par}$<br>(m) | $S_{a,t}$<br>(t) | $S_{a,s}$<br>(t) | $e_{Sa,t}$<br>(m) | $e_{Sa,s}$<br>(m) |
|-----------------|--------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 7.50            | 4.52         | 2.35             | 86.33            | 27.93            | 2.29              | 3.44              |

In caso di sisma longitudinale (il sisma trasversale non ha interesse per la verifica del muro frontale), si ha, ricordando il cap. 5,

$$\begin{aligned}
 C &= 0.07 & \theta &= \arctg(C) = 4.004^\circ \\
 i' &= i + \theta = 4.004^\circ \\
 \beta' &= \beta + \theta = 4.004^\circ \\
 \alpha &= 90^\circ - \beta' = 85.996^\circ \\
 \phi' &= 35^\circ
 \end{aligned}$$

Indicando con  $K_{a,s}$  il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche, si ha (vedi G. U. del 5/2/1996)

$$K_{a,s} = 0.3104$$

da cui si calcola un coefficiente orizzontale di spinta pari a

$$K_{a,s \text{ orizzontale}} = k_{a,s} \cdot \cos(\theta) = 0.3097$$

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

si ha

| $\Delta S_{a,t}$<br>(t) | $e_{\Delta Sa,t}$<br>(t*m) |
|-------------------------|----------------------------|
| 12.30                   | 4.58                       |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dal terreno al muro frontale, sia in condizioni normali che di sisma longitudinale, considerate agenti al baricentro della sezione di spiccatto del muro, si ha:

*Az. progetto*

|                            | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|----------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Spinta attiva terreno      | 0.00             | 86.33                        | 0.00                         | -197.70                        | 0.00                           |
| Spinta attiva sovraccarico | 0.00             | 27.93                        | 0.00                         | -95.92                         | 0.00                           |
| Sisma long. orizzontale    | 0.00             | 12.30                        | 0.00                         | -56.31                         | 0.00                           |

### **AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO**

Ricordando la geometria della spalla delineata nel cap. 4, e considerando tutte le azioni agenti al baricentro della sezione di spiccato del muro di fondazione, risulta, per il peso del muro e del sovraccarico dovuto al paraghiaia, con el eccentricità longitudinale:

| <b>N<sub>muro</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>l,muro</sub><br/>(m)</b> | <b>N<sub>paragh</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>l,paragh</sub><br/>(m)</b> | <b>N<sub>soletta</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>l,soletta</sub><br/>(m)</b> | <b>N<sub>mensola</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>l,mensola</sub><br/>(m)</b> |
|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 148.96                          | 0.00                              | 30.84                             | 0.72                                | 9.00                               | -0.93                                | 0.99                               | -0.23                                |

In caso di sisma longitudinale, ricordando che risulta

| <b>S</b> | <b>C</b> | <b>K<sub>h</sub></b> | <b>K<sub>v</sub></b> |
|----------|----------|----------------------|----------------------|
| 9        | 0.07     | 0.1210               | 0.1680               |

si ha, indicando con  $e_v$  l'eccentricità verticale della forza d'inerzia del muro frontale+paraghiaia +soletta+mensola

| <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>v</sub><br/>(t)</b> |
|------------------------------|------------------------------|
| 22.96                        | 2.89                         |

Riassumendo le varie azioni, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti al baricentro della sezione di spiccato del muro frontale, si ha:

*Az. progetto*

|                          | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|--------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Peso proprio muro front. | 148.96           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Peso proprio paraghiaia  | 30.84            | 0.00                         | 0.00                         | 22.06                          | 0.00                           |
| Peso proprio soletta     | 9.00             | 0.00                         | 0.00                         | -8.41                          | 0.00                           |
| Peso proprio mensola     | 0.99             | 0.00                         | 0.00                         | -0.23                          | 0.00                           |
| Sisma long. orizzontale  | 0.00             | 22.96                        | 0.00                         | -66.35                         | 0.00                           |
| Sisma vert. + Incr. peso | 31.89            | 0.00                         | 0.00                         | 2.25                           | 0.00                           |
| Sisma vert. - Decr. peso | -31.89           | 0.00                         | 0.00                         | -2.25                          | 0.00                           |

## COMBINAZIONI DI CARICO DI TUTTE LE AZIONI

Sommando le azioni dovute al terreno e quelle derivanti dal peso proprio alle azioni trasmesse dall'impalcato, tutte riferite al baricentro della sezione di spiccato del muro frontale, si ha:

|                |     | AZIONI TOTALI rispetto al baricentro muro |                      |                      |                      |                      |                          |
|----------------|-----|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|                |     | <b>N</b>                                  | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b>   |     | <b>(t)</b>                                | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                          |
|                | 1   | 355.55                                    | 168.46               | 8.73                 | -743.81              | -                    | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|                | 2   | 498.40                                    | 168.46               | 12.22                | -877.33              | -                    |                          |
|                | 3   | 450.78                                    | 168.46               | 12.22                | -832.82              | -                    |                          |
|                | 4   | 498.40                                    | 223.06               | 4.07                 | -1188.28             | -                    |                          |
|                | 5   | 450.78                                    | 223.06               | 4.07                 | -1143.77             | -                    |                          |
| <i>Perm.</i>   | 8,9 | 355.55                                    | 86.33                | 0.00                 | -339.21              | -                    | Sisma<br>Long.           |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 59.73                                     | 0.00                 | 0.00                 | -23.77               | -                    |                          |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -59.73                                    | 0.00                 | 0.00                 | 23.77                | -                    |                          |
| <i>Orizz.</i>  | 8,9 | 0.00                                      | 273.84               | 0.00                 | -1201.07             | -                    |                          |

Per le combinazioni di carico sismiche la generica sollecitazione S si otterrà dalla combinazione quadratica delle componenti verticali e orizzontali dell'azione sismica:

$$S = (S_{perm} + \alpha(S_v^\beta + S_o^\beta)^{1/\beta})$$

dove  $\alpha = 1$  e  $\beta=1$  se le sollecitazioni del sisma verticale e orizzontale hanno segni differenti (oppure una delle due è nulla), mentre  $\alpha$  ha il segno delle sollecitazioni e  $\beta=2$  se le stesse hanno lo stesso segno.

Per la verifica del muro frontale si trascura il contributo irrigidente dei muri di risvolto; è così possibile considerare il muro stesso come due travi a T rovescia incastrate al piede, e verificarlo di conseguenza.

Per ciascuna delle due travi a T rovescia si ottiene:

|                |   | AZIONI su trave T rispetto al baricentro muro |                      |                      |                      |                      |                          |
|----------------|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|                |   | <b>N</b>                                      | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b>   |   | <b>(t/m)</b>                                  | <b>(t/m)</b>         | <b>(t/m)</b>         | <b>(t*m/m)</b>       | <b>(t*m/m)</b>       |                          |
|                | 1 | 177.77  | 84.23                | 4.36                 | -371.90              | -                    | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|                | 2 | 249.20  | 84.23                | 6.11                 | -438.67              | -                    |                          |
|                | 3 | 225.39  | 84.23                | 6.11                 | -416.41              | -                    |                          |
|                | 4 | 249.20  | 111.53               | 2.04                 | -594.14              | -                    |                          |
|                | 5 | 225.39  | 111.53               | 2.04                 | -571.88              | -                    |                          |
| <i>Vert. +</i> | 8 | 207.64  | 180.09               | 0.00                 | -770.26              | -                    | Sisma<br>Long.           |
| <i>Vert. -</i> | 9 | 147.91  | 180.09               | 0.00                 | -758.25              | -                    |                          |

## VERIFICHE DEGLI ELEMENTI DELLA SPALLA

### VERIFICA MURO FRONTALE

Segue la verifica a pressoflessione per le varie combinazioni di carico:

|                                  |        |                 |
|----------------------------------|--------|-----------------|
| Altezza totale sezione           | 280.00 | cm              |
| Altezza ala                      | 120.00 | cm              |
| Larghezza anima                  | 140.00 | cm              |
| Larghezza ala                    | 375.00 | cm              |
| Copriferro armatura compressa    | 5.00   | cm              |
| Copriferro armatura tesa         | 5.00   | cm              |
| Coefficiente di omogeneizzazione | 15.00  |                 |
| Area armatura compressa          | 30.00  | cm <sup>2</sup> |
| Area armatura tesa               | 160.00 | cm <sup>2</sup> |

Si ricorda che risulta

|                              |       |                    |
|------------------------------|-------|--------------------|
| Tensione ammissibile cls     | 122.5 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione ammissibile acciaio | 2 600 | kg/cm <sup>2</sup> |

#### *Combinazione 1*

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| Momento flettente | -371.90 | t*m |
| Sforzo normale    | 177.77  | t   |

#### Sezione parzializzata

|                                      |         |                    |
|--------------------------------------|---------|--------------------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 135.53  | cm                 |
| Tensione max cls                     | 23.86   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | -368.29 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | 344.69  | kg/cm <sup>2</sup> |

#### *Combinazione 2*

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| Momento flettente | -438.67 | t*m |
| Sforzo normale    | 249.20  | t   |

#### Sezione parzializzata

|                                      |         |                    |
|--------------------------------------|---------|--------------------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 151.42  | cm                 |
| Tensione max cls                     | 27.46   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | -336.16 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | 398.28  | kg/cm <sup>2</sup> |

### Combinazione 3

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| Momento flettente | -416.41 | t*m |
| Sforzo normale    | 225.39  | t   |

#### Sezione parzializzata

|                                      |         |        |
|--------------------------------------|---------|--------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 146.48  | cm     |
| Tensione max cls                     | 26.26   | kg/cm2 |
| Tensione armatura tesa               | -345.65 | kg/cm2 |
| Tensione armatura compressa          | 380.49  | kg/cm2 |

### Combinazione 4

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| Momento flettente | -594.14 | t*m |
| Sforzo normale    | 249.20  | t   |

#### Sezione parzializzata

|                                      |         |        |
|--------------------------------------|---------|--------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 126.27  | cm     |
| Tensione max cls                     | 38.67   | kg/cm2 |
| Tensione armatura tesa               | -683.17 | kg/cm2 |
| Tensione armatura compressa          | 557.06  | kg/cm2 |

### Combinazione 5

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| Momento flettente | -571.88 | t*m |
| Sforzo normale    | 225.39  | t   |

#### Sezione parzializzata

|                                      |         |        |
|--------------------------------------|---------|--------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 122.52  | cm     |
| Tensione max cls                     | 37.43   | kg/cm2 |
| Tensione armatura tesa               | -698.70 | kg/cm2 |
| Tensione armatura compressa          | 538.54  | kg/cm2 |

### Combinazione 8

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| Momento flettente | -770.26 | t*m |
| Sforzo normale    | 207.64  | t   |

#### Sezione parzializzata

|                                      |           |        |
|--------------------------------------|-----------|--------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 106.07    | cm     |
| Tensione max cls                     | 51.51     | kg/cm2 |
| Tensione armatura tesa               | -1 230.50 | kg/cm2 |
| Tensione armatura compressa          | 736.19    | kg/cm2 |

## Combinazione 9

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| Momento flettente | -758.25 | t*m |
| Sforzo normale    | 147.91  | t   |

### Sezione parzializzata

|                                      |           |                    |
|--------------------------------------|-----------|--------------------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 97.60     | cm                 |
| Tensione max cls                     | 51.07     | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | -1 392.59 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | 726.85    | kg/cm <sup>2</sup> |

Riassumendo per le varie combinazioni si ha

|                  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 8        | 9        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|
| $y_n$            | 135.5  | 151.4  | 146.5  | 126.3  | 122.5  | 106.1    | 97.6     |
| $\sigma_{c,max}$ | 23.9   | 27.5   | 26.3   | 38.7   | 37.4   | 51.5     | 51.1     |
| $\sigma_{a,t}$   | -368.3 | -336.2 | -345.6 | -683.2 | -698.7 | -1 230.5 | -1 392.6 |
| $\sigma_{a,c}$   | 344.7  | 398.3  | 380.5  | 557.1  | 538.5  | 736.2    | 726.9    |

dove  $y_n$  è la distanza dell'asse neutro dal lembo compresso ("--" se la sezione è interamente reagente e compressa),  $\sigma_{c,max}$  è la tensione massima nel cls,  $\sigma_{a,t}$  e  $\sigma_{a,c}$  le tensioni rispettivamente nell'armatura tesa e compressa ("--" se la sezione è interamente reagente e compressa).

## VERIFICA MURO PARAGHIAIA

La verifica viene fatta sia per la condizione di esercizio, che per quella sismica.

### ### Condizione di esercizio

Il muro paraghiaia è sollecitato dalla spinta attiva del terreno e del sovraccarico  $q_s$  su questo. Vanno inoltre considerate le azioni di un asse che freni sul paraghiaia e le azioni eventualmente trasmesse dall'impalcato.

Per quanto riguarda la spinta attiva del terreno  $S_{a,t}$  e del sovraccarico  $S_{a,s}$  si ha, indicando con  $e_{Sa,t}$  e  $e_{Sa,s}$  le eccentricità di tali forze rispetto al baricentro della base del muro paraghiaia

$$\gamma_t = 1.80 \text{ t/m}^3 \quad \phi' = 35^\circ \quad q_s = 2.00 \text{ t/m}^2$$

$$K_a = 0.27099$$

| $B_{tpar}$<br>(m) | $H_{par}$<br>(m) | $S_{a,t}$<br>(t) | $S_{a,s}$<br>(t) | $e_{Sa,t}$<br>(m) | $e_{Sa,s}$<br>(m) |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 7.50              | 2.35             | 10.10            | 9.55             | 0.78              | 1.18              |

Riportando tali azioni a metro lineare di muro e calcolando il momento  $M_{11}$  rispetto alla base del muro paraghiaia, risulta

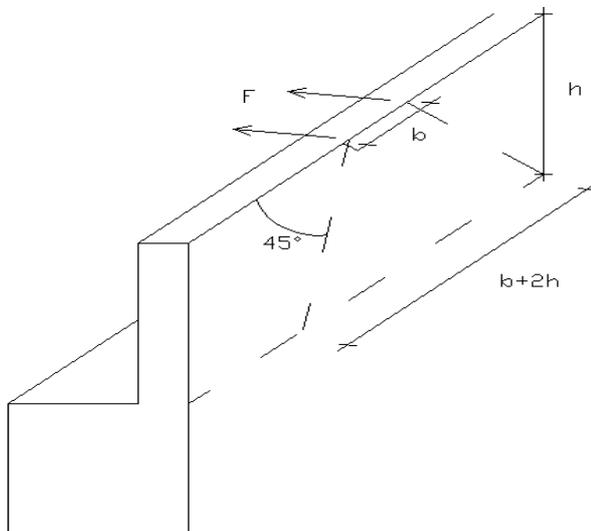
| $S_{a,t}$<br>(t/m) | $S_{a,s}$<br>(t/m) | $e_{Sa,t}$<br>(m) | $e_{Sa,s}$<br>(m) | $M_{11}$<br>(t*m/m) |
|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| 1.35               | 1.27               | 0.78              | 1.18              | -2.55               |

Per quanto riguarda l'azione di frenatura sul paraghiaia e sul terreno subito retrostante, la normativa prescrive che la forza di frenatura sia pari al 20% del carico  $q_{1a}$ , pari a tre assi da 20 t, ovvero a 4 t per asse. Ai fini della verifica si trascura l'asse più lontano dal paraghiaia, considerando dunque l'asse gravante sul paraghiaia e l'asse retrostante gravante sul terreno, a distanza di 1,5 m dal primo. Si assume una ripartizione degli sforzi a 45° all'interno del muro, e a 60° nel terreno.

Indicando con  $H_{par}$  l'altezza del muro paraghiaia, con  $F$  la forza di frenatura e con  $b$  l'interasse delle due ruote di un asse, si trova per l'asse che frena sul paraghiaia un momento  $M_{12}$  per unità di lunghezza del muro, rispetto alla base dello stesso, pari a:

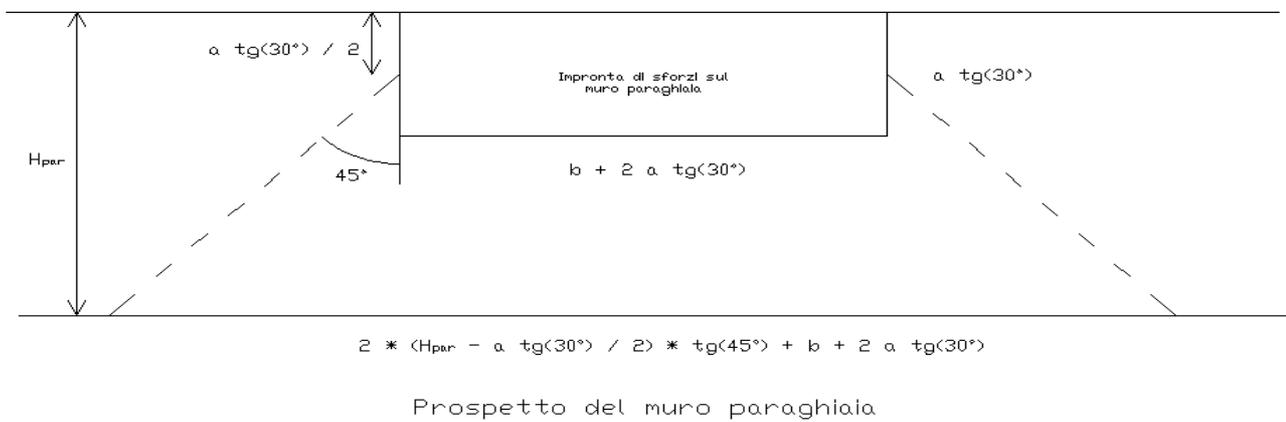
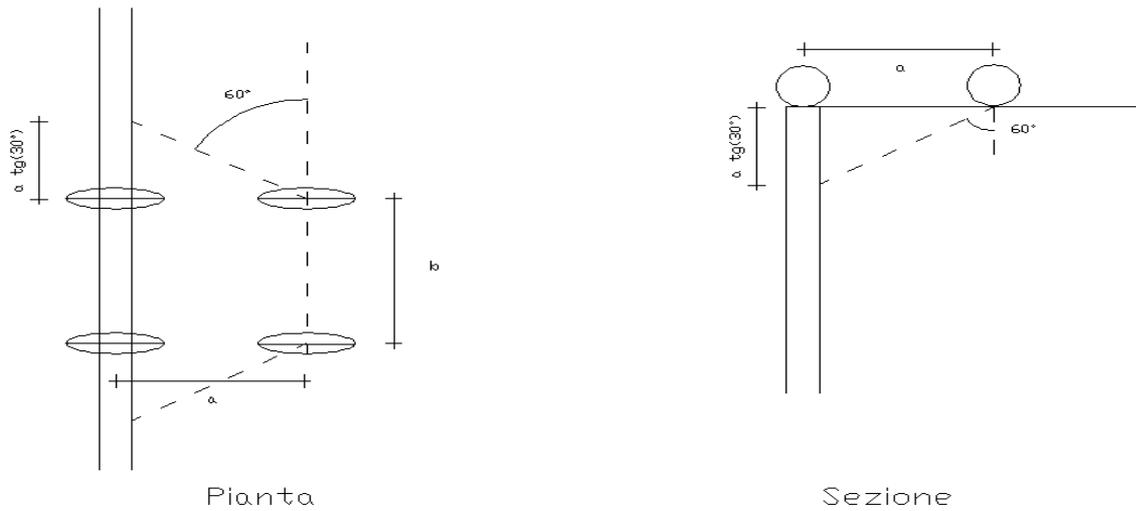
$$H_{par} = 2.35 \text{ m} \qquad F = 4.00 \text{ t} \qquad b = 2.00 \text{ m}$$

$$M_{12} = (F * H_{par}) / (b + 2 * H_{par}) = -1.40 \text{ t*m/m}$$



Per quanto riguarda l'asse che frena sul rilevato retrostante il muro, a distanza di  $a = 1,5$  m dall'asse sul paraghiaia, si trova una impronta sul muro paraghiaia alta  $a * \text{tg}(30^\circ) = 0,8655$  m e larga  $b + 2 * a * \text{tg}(30^\circ) = 2,00 + 2 * 1,5 * \text{tg}(30^\circ) = 3,732$  m. A sua volta tale impronta di sforzi si diffonde a 45° nel muro paraghiaia, per cui si trova una impronta alla base del muro pari a

$$L_{impronta} = 2 * (H_{par} - 0,8655/2) * \text{tg}(45^\circ) + 3,732 = 7.57 \text{ m}$$



Si trova dunque per l'asse che frena sul rilevato a 1,5 m dal paraghiaia un momento  $M_l$  per unità di lunghezza del muro, rispetto alla base dello stesso, pari a:

$$M_{l3} = F \cdot (H_{par} - 0,8655/2) / L_{impronta} = -1.01 \quad t^*m/m$$

Per quanto riguarda gli sforzi trasmessi dall'impalcato, indicando con  $M_f$  il momento dovuto alla frenatura e con  $M_{attr}$  il momento dovuto alla resistenza parassita dei vincoli, si ha, con e eccentricità delle azioni orizzontali rispetto all'asse appoggi (spiccato paraghiaia):

| $H_f$<br>(t) | $H_{attr}$<br>(t) | e<br>(m) | $M_f$<br>(t*m) | $M_{attr}$<br>(t*m) |
|--------------|-------------------|----------|----------------|---------------------|
| 54.60        | 54.20             | 1.18     | -64.16         | -63.69              |

In totale per il momento longitudinale  $M_l$  si ha, con  $B_{l,p}$  larghezza del muro paraghiaia:

$$M_l = M_{l1} + M_{l2} + M_{l3} + (M_f + M_{attr}) / B_{l,p} = -21.57 \quad t^*m/m$$

Si ha poi uno sforzo normale  $N$  per unità di larghezza dovuto al peso proprio del muro e al peso dell'asse che frena sul muro (20 t) ripartito su una larghezza pari a  $b + 2 * H_{par}$

$$N = 7.10 \quad t/m$$

### ### Condizione sismica

Il muro paraghiaia è sollecitato dalla spinta attiva del terreno e dalle azioni dall'impalcato.

Per quanto riguarda la spinta attiva del terreno  $S_{a,t \text{ sism}}$  in condizioni sismiche si ha:

$$\begin{aligned} C &= 0.07 & \theta &= \arctg(C) = 4.004^\circ \\ i' = i + \theta &= 4.004^\circ \\ \beta' = \beta + \theta &= 4.004^\circ \\ \alpha &= 90^\circ - \beta' = 85.996^\circ \\ \phi' &= 35^\circ \end{aligned}$$

Indicando con  $K_{a,s}$  il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche, si ha (vedi G. U. del 5/2/1996)

$$K_{a,s} = 0.3104$$

da cui si calcola un coefficiente orizzontale di spinta pari a

$$K_{a,s \text{ orizzontale}} = k_{a,s} * \cos(\theta) = 0.3097$$

per cui, con  $e$  eccentricità dell'azione orizzontale  $S_{a,t \text{ sism}}$  rispetto agli appoggi (spiccatto paraghiaia) e con  $M_{l1}$  il momento di tale azione per unità di lunghezza del muro:

| $B_{tpar}$<br>(m) | $H_{par}$<br>(m) | $S_{a,t \text{ sism}}$<br>(t) | $e$<br>(m) | $M_{l1}$<br>(t*m/m) |
|-------------------|------------------|-------------------------------|------------|---------------------|
| 7.50              | 2.35             | 11.54                         | 1.57       | -2.41               |

Per quanto riguarda le azioni trasmesse dall'impalcato  $H_{l,sism}$  in condizioni sismiche, indicando con  $e$  l'eccentricità di tale azione rispetto agli appoggi (spiccatto paraghiaia) e con  $M_{sism}$  il momento di tale azione per unità di lunghezza, si ha:

| $H_{s,sism}$<br>(t) | $e$<br>(m) | $M_{sism}$<br>(t*m/m) |
|---------------------|------------|-----------------------|
| 238.59              | 1.18       | -37.38                |

In totale per il momento longitudinale  $M_l$  si ha:

$$M_l = M_{l1} + M_{sism} = -39.79 \quad t \cdot m/m$$

Si ha poi uno sforzo normale  $N$  per unità di larghezza dovuto al peso proprio del muro + il decremento di peso dovuto al sisma verticale (condizione più sfavorevole per la verifica a pressoflessione).

$$N = 3.42 \quad t/m$$

Segue la verifica a pressoflessione:

|                               |        |                 |
|-------------------------------|--------|-----------------|
| Altezza totale della sezione  | 70.00  | cm              |
| Larghezza sezione             | 100.00 | cm              |
| Copriferro armatura tesa      | 5.00   | cm              |
| Copriferro armatura compressa | 5.00   | cm              |
| coeff. omogeneizzazione $n$   | 15     |                 |
| Area armatura tesa            | 26.55  | cm <sup>2</sup> |
| Area armatura compressa       | 26.55  | cm <sup>2</sup> |

### Condizioni di esercizio

|                                      |          |                    |
|--------------------------------------|----------|--------------------|
| Sezione parzializzata                |          |                    |
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 18.50    | cm                 |
| Tensione max cls                     | 32.98    | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | 1 242.81 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | -360.98  | kg/cm <sup>2</sup> |

### Condizioni sismiche

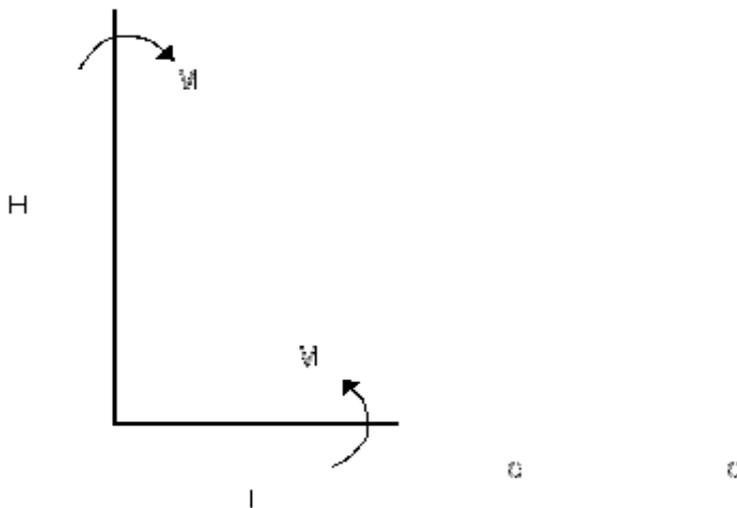
|                                      |          |                    |
|--------------------------------------|----------|--------------------|
| Sezione parzializzata                |          |                    |
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 17.35    | cm                 |
| Tensione max cls                     | 59.69    | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | 2 458.82 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | -637.33  | kg/cm <sup>2</sup> |

## VERIFICA MURI DI RISVOLTO

Lo schema di calcolo è quello di piastra incastrata su due lati (quello inferiore e quello laterale a contatto con il muro frontale). Si analizza la condizione normale di esercizio, con i muri caricati dalla spinta attiva del sovraccarico  $q_1$  e del terreno  $q_2$ .

Indicando con  $K_a$  il coeff. di spinta attiva, con  $q_s$  il sovraccarico, con  $H_r$  l'altezza del muro di risvolto e con  $L_r$  la sua larghezza, si ha:

$$\begin{aligned}q_1 &= q_s * K_a = 0.54 \quad \text{t/m}^2 \\q_2 &= \gamma_t * K_a * H_r = 3.35 \quad \text{t/m}^2\end{aligned}$$



Per il calcolo dei momenti flettenti, si adottano le tabelle contenute nel Bares. Quale coefficiente dimensionale si ha:

$$\gamma = L_r / H_r = 0.611$$

Utilizzando le tabelle del Bares 1.41 per il carico  $q_1$  e 1.97 per il carico  $q_2$  si ottiene, indicando con  $M_b$  il momento e con  $N_b$  la forza di compressione dovuta al peso proprio all'estradosso della platea :

$$\begin{aligned}M_b &= -14.96 \quad \text{t*m/m} \\N_b &= 17.175 \quad \text{t/m}\end{aligned}$$

Segue la verifica a pressoflessione della sezione

|                               |        |    |
|-------------------------------|--------|----|
| Altezza totale della sezione  | 100.00 | cm |
| Larghezza sezione             | 100.00 | cm |
| Copriferro armatura tesa      | 5.00   | cm |
| Copriferro armatura compressa | 5.00   | cm |
| coeff. omogeneizzazione n     | 15     |    |

|                         |       |                 |
|-------------------------|-------|-----------------|
| Area armatura tesa      | 15.70 | cm <sup>2</sup> |
| Area armatura compressa | 10.05 | cm <sup>2</sup> |

#### Sezione parzializzata

|                                      |         |                    |
|--------------------------------------|---------|--------------------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 28.65   | cm                 |
| Tensione max cls                     | 16.98   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | 589.90  | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | -210.25 | kg/cm <sup>2</sup> |

Si ricorda che risulta

|                              |       |                    |
|------------------------------|-------|--------------------|
| Tensione ammissibile cls     | 122.5 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione ammissibile acciaio | 2 600 | kg/cm <sup>2</sup> |

Per il momento  $M_l$  orizzontale si ottiene nella sezione di incastro con il muro frontale il valore max:

$$M_l = -9.43 \text{ t*m/m}$$

Segue la verifica a flessione semplice della sezione

|                 |  |                                    |                                      |                                       |                           |  |   |
|-----------------|--|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--|---|
| Dati di calcolo | <b><math>M_{ver}</math></b><br>(t*m/m) | <b><math>S_{pr}</math></b><br>(cm) | <b><math>c^{tesa}</math></b><br>(cm) | <b><math>c^{compr}</math></b><br>(cm) | <b>coeff. omogen</b><br>. | <b><math>A_f^{tesa}</math></b><br>(cm <sup>2</sup> /m) | <b><math>A_f^{compr}</math></b><br>(cm <sup>2</sup> /m) |
|                 | -9.43                                  | 100.00                             | 5                                    | 5                                     | 15                        | 15.7   | 10.05   |

|           |                                 |   |   |  |  |   |
|-----------|---------------------------------|---|---|--|--|---|
| Risultati | <b><math>y_n</math></b><br>(cm) | <b><math>\sigma_c</math></b><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | <b><math>\sigma_{c,amm}</math></b><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | <b><math>\sigma_{at}</math></b><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | <b><math>\sigma_{ac}</math></b><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | <b><math>\sigma_{a,amm}</math></b><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|           | 17.988                          | 10.5  | 122.5   | 674.2  | -113.7   | 2 600.0   |

Legenda dati di calcolo:

$M_{ver}$  = momento flettente.

$H_p$  = altezza totale della sezione di verifica

$c^{tesa}$  = copriferro arm. tesa (al baricentro ferro)

$c^{comp}$  = copriferro arm. compressa (al baricentro ferro)

$A_f^{tesa}$  = armatura all'intradosso orecchia (parte tesa)

$A_f^{comp}$  = armatura all'estradosso orecchia (parte compressa)

Legenda risultati:

$y_n$  = distanza asse neutro dal lembo compresso

$\sigma_c$  = tensione massima nel calcestruzzo

$\sigma_{c,amm}$  = tensione ammissibile nel calcestruzzo       $R_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{at}$  = tensione nell'armatura tesa

$\sigma_{ac}$  = tensione nell'armatura compressa

$\sigma_{a,amm}$  = tensione ammissibile nell'armatura

## VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE

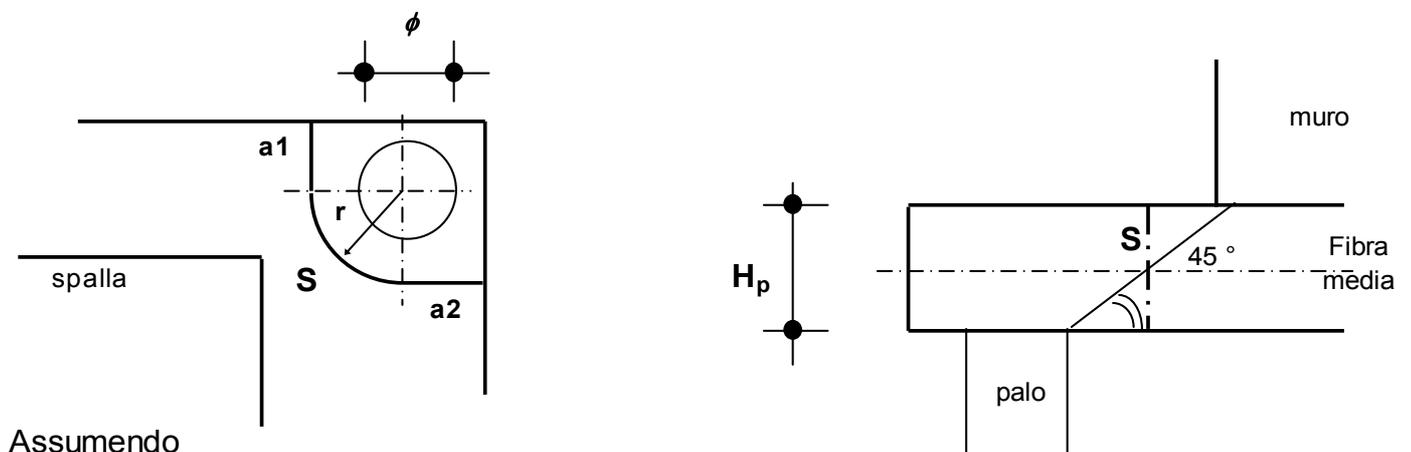
### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

Si verifica lo sforzo tangenziale sulla porzione anteriore della platea di fondazione (quella davanti al muro frontale) causato dal carico assiale presente sui pali trascurando, a favore di sicurezza, il contributo favorevole offerto dal peso proprio della platea.

E' analizzata la reazione esercitata dal palo di angolo più sollecitato (vedi par. 6.01):

$$\text{Reazione max palo d'angolo} \quad N_{p,\max} = 302.253 \text{ t}$$

Si ipotizza una distribuzione a 45° del carico sullo spessore della platea e si assume una superficie resistente al taglio definita dall'intersezione del cono a 45° di detta distribuzione con la fibra media:



$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 1.40 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r / 2 + a2) = 6.72 \text{ m}^2$$

La tensione tangenziale  $\tau_{cls}$  nel calcestruzzo è poi pari a

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 4.50 \text{ kg/cm}^2$$

Tale valore va confrontato con i valori  $\tau_{c0}$  e  $\tau_{c1}$  di normativa, che per un calcestruzzo di fondazione è pari a:

$$\begin{aligned} R_{ck} \text{ fondazione} &= 400 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c0} &= 7.33333 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c1} &= 21.1429 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

### ### VERIFICA DELLA PLATEA DAVANTI AL MURO DI FONDAZIONE

La sporgenza  $S_p$  della platea oltre il muro di fondazione è pari a:

$$S_p = 2.30 \text{ m}$$

La verifica viene effettuata considerando il momento esercitato dall'azione N del palo anteriore più sollecitato rispetto al muro frontale:

$$N = 302.25 \text{ t}$$

Tale forza ha una eccentricità rispetto al filo anteriore del muro frontale pari a:

$$e = 1.30 \text{ m}$$

Operando poi una diffusione all'interno della platea a  $45^\circ$  dello sforzo normale N si ottiene una larghezza collaborante pari a:

$$b_{\text{collab.}} = 3.3 \text{ m}$$

Il momento flettente di verifica  $M_{\text{ver}}$  si ottiene sottraendo al momento dato dall'azione N del palo anteriore più sollecitato il momento dato dal peso proprio della striscia di larghezza unitaria di platea davanti al muro di fondazione, con  $H_p$  spessore della platea:

$$M_{\text{ver}} = N \cdot e / b_{\text{collab.}} - \gamma_{\text{cls}} \cdot H_p \cdot S_p^2 / 2 = 108.49 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m}$$

Segue la verifica a flessione semplice della sezione

| Dati di calcolo | $M_{\text{ver}}$<br>(t*m/m) | $H_p$<br>(cm) | $c^{\text{tesa}}$<br>(cm) | $c^{\text{compr}}$<br>(cm) | Coeff.<br>omogen | $A_f^{\text{tesa}}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) | $A_f^{\text{compr}}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) |
|-----------------|-----------------------------|---------------|---------------------------|----------------------------|------------------|---|--|
|                 | 108.49                      | 160           | 5                         | 5                          | 15               | 53.09                                       | 26.55  |

| Risultati | $y_n$<br>(cm) | $\sigma_c$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{c,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{at}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{ac}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{a,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|---------------|-------------------------------------|---|--|--|---|
|           | 39.544        | 32.6                                | 122.5                                     | 1 428.6                                | -427.4                                 | 2 600.0                                   |

Legenda dati di calcolo:

$M_{\text{ver}}$  = momento flettente max.

$H_p$  = altezza totale della sezione di verifica

$c^{\text{tesa}}$  = copriferro arm. tesa (al baricentro ferro)

$c^{\text{compr}}$  = copriferro arm. compressa (al baricentro ferro)

$A_f^{\text{tesa}}$  = area armatura tesa

$A_f^{\text{compr}}$  = area armatura compressa

Legenda risultati:

$y_n$  = distanza asse neutro dal lembo compresso

$\sigma_c$  = tensione massima nel calcestruzzo

$\sigma_{c,amm}$  = tensione ammissibile nel calcestruzzo       $R_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{at}$  = tensione nell'armatura tesa

$\sigma_{ac}$  = tensione nell'armatura compressa

$\sigma_{a,amm}$  = tensione ammissibile nell'armatura

Per la verifica al taglio, considerando la vicinanza con la sezione d'incastro il carico tagliante si ottiene attraverso una riduzione pari al rapporto fra distanza e altezza utile della sezione (vedi art. 5.1.2.1.6.3 D.M. 14/09/05)

$$T = N^{rid} / b_{collab.} \cdot \gamma_{cls} \cdot H_p \cdot S_p = 29.21 \text{ t/m}$$

da cui:

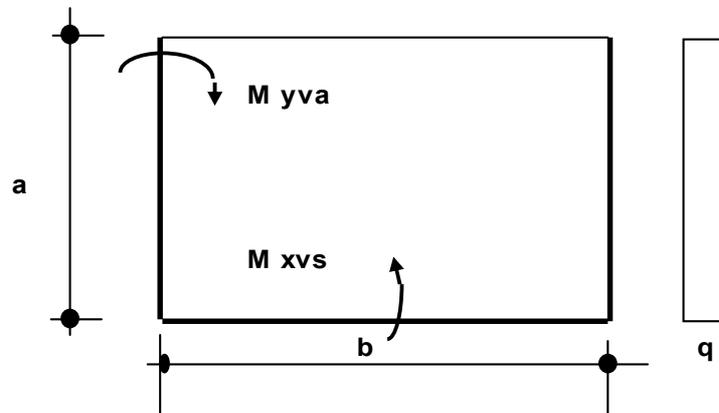
$$\tau_{cls} = T/A = 2.1 \text{ kg/cm}^2$$

Tale valore va confrontato con i valori  $\tau_{c0}$  e  $\tau_{c1}$  di normativa, che per un calcestruzzo di fondazione è pari a:

$$\begin{aligned} R_{ck} \text{ fondazione} &= 400 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c0} &= 7.33333 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c1} &= 21.1429 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

### ### VERIFICA DELLA PLATEA DIETRO IL MURO DI FONDAZIONE

Lo schema di calcolo è quello di piastra incastrata su tre lati e caricata dal contributo di carico  $q$  dato dalla differenza tra terreno portato, peso proprio e reazione dei pali. Si analizza sia la condizione di esercizio che quella sismica, adottando le tabelle contenute nel Bares.



con

$$a = 4.20 \text{ m} \qquad b = 7.60 \text{ m}$$

Pali con effetto flettente rispetto alla platea di fondazione: **6, 7, 8**

Area d'influenza:  $a' = 4.2 \text{ m}$   $b' = 7.60 \text{ m}$

Per il terreno portato si ha :

$$q_{\text{terreno}} = \gamma_t * (H_m + H_{\text{par}}) = 12.37 \text{ t/m}^2$$

Per il sovraccarico  $q_s$  sul terreno risulta:

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

Per il carico  $q_{\text{platea}}$  della platea risulta infine, con  $H_p$  spessore della platea:

$$q_{\text{platea}} = \gamma_{\text{cls}} * H_p = 4.00 \text{ t/m}^2$$

### ### Condizione di esercizio

Si considerano le verifiche sia con il massimo che con il minimo carico verticale sui pali:

a) - Max. carico verticale sui pali

Per la reazione dei pali si ha:

$$\begin{aligned}\Sigma N_{\text{pali}} &= 316.9 \quad \text{t} \\ q_{\text{pali}} = \Sigma N_{\text{pali}} / (a' * b') &= 9.93 \quad \text{t/m}^2\end{aligned}$$

da cui si ottiene il carico risultante:

$$q_1 = q_{\text{terreno}} + q_s + q_{\text{platea}} - q_{\text{pali}} = 8.44 \quad \text{t/m}^2 \qquad 9.93$$

b) - Min. carico verticale sui pali

Per la reazione dei pali si ha:

$$\begin{aligned}\Sigma N_{\text{pali}} &= 241.7 \quad \text{t} \\ q_{\text{pali}} = \Sigma N_{\text{pali}} / (a' * b') &= 7.57 \quad \text{t/m}^2\end{aligned}$$

da cui si ottiene il carico risultante:

$$q_2 = q_{\text{terreno}} + q_s + q_{\text{platea}} - q_{\text{pali}} = 10.80 \quad \text{t/m}^2$$

### ### Condizione sismica

Per la condizione sismica interessa il solo sisma longitudinale, ovvero le combinazioni di carico 8 (che comprende il sisma verticale con incremento dei pesi) e 9 (che comprende il sisma verticale con decremento dei pesi)

a) - Combinazione di carico 8 (incremento pesi)

Per la reazione dei pali si ha:

$$\begin{aligned}\Sigma N_{\text{pali}} &= 77.7 \quad \text{t} \\ q_{\text{pali}} = \Sigma N_{\text{pali}} / (a' * b') &= 2.43 \quad \text{t/m}^2\end{aligned}$$

tale reazione va sommata al carico del terreno e della platea moltiplicati per il fattore  $(1+K_v)$ , che consente di tenere conto del sisma verticale positivo, con incremento dei pesi.

Il carico risultante è dunque:

$$q_3 = (q_{\text{terreno}} + q_{\text{platea}}) * (1 + K_v) - q_{\text{pali}} = 16.68 \quad \text{t/m}^2$$

b) - Combinazione di carico 9 (decremento pesi)

Per la reazione dei pali si ha:

$$\begin{aligned}\Sigma N_{\text{pali}} &= -68.1 \quad \text{t} \\ q_{\text{pali}} &= \Sigma N_{\text{pali}} / (a' * b') = -2.13 \quad \text{t/m}^2\end{aligned}$$

tale reazione va sommata al carico del terreno e della platea moltiplicati per il fattore  $(1-K_v)$ , che consente di tenere conto del sisma verticale negativo, con decremento dei pesi.

Il carico risultante è dunque:

$$q_4 = (q_{\text{terreno}} + q_{\text{platea}}) * (1 - K_v) - q_{\text{pali}} = 18.50 \quad \text{t/m}^2$$

La verifica a flessione della platea va fatta sia nei riguardi del carico risultante massimo,  $q_{\text{max}}$ , sia del carico risultante minimo,  $q_{\text{min}}$

$$q_{\text{max}} = 18.50 \quad \text{t/m}^2$$

$$q_{\text{min}} = 8.44 \quad \text{t/m}^2$$

Come coefficiente dimensionale per la tabella 1.35 del Bares risulta:

$$\gamma = a/b = 0.55263$$

**Per il carico  $q=q_{\text{max}}$  si ha**

(momento negativo se tende le fibre superiori)

|           |   |        |       |
|-----------|---|--------|-------|
| $M_{yva}$ | = M trasv. di bordo all'incastro muri di risvolto | -80.77 | t*m/m |
| $M_{xvs}$ | = M longitudinale all'incastro muro frontale      | -56.33 | t*m/m |
| $M_{yas}$ | = M trasv. di bordo a centro lastra               | 32.29  | t*m/m |
| $M_{xs}$  | = M longitudinale a centro lastra                 | 5.34   | t*m/m |

Segue il calcolo dell'armatura di verifica:

coeff. omogeneizzazione = 15

| Dati di calcolo | Arm. di verifica | sez.     | $M_{ver}$<br>(t*m/m) | $H_p$<br>(cm) | $c^{tesa}$<br>(cm) | $c^{compr}$<br>(cm) | $A_f^{tesa}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) | $A_f^{compr}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) |
|-----------------|------------------|----------|----------------------|---------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
|                 | Arm. trasversale | incastro | -80.77               | 160           | 7.5                | 7.5                 | 26.55                                | 26.55                                 |
|                 | Arm. longitud.   | incastro | -56.33               | 160           | 5                  | 5                   | 26.55                                | 26.55                                 |
|                 | Arm. trasversale | centro   | 32.29                | 160           | 7.5                | 7.5                 | 26.55                                | 26.55                                 |
|                 | Arm. longitud.   | centro   | 5.34                 | 160           | 5                  | 5                   | 26.55                                | 26.55                                 |

| Risultati | Arm. di verifica | sez.     | $y_n$<br>(cm) | $\sigma_c$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{c,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{at}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{ac}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{a,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------|----------|---------------|-------------------------------------|---|--|--|---|
|           | Arm. trasversale | incastro | 21.573        | 46.0                                | 122.5                                     | 2 094.0                                | -225.1                                 | 2 600                                     |
|           | Arm. longitud.   | incastro | 21.573        | 30.9                                | 122.5                                     | 1 432.8                                | -178.0                                 | 2 600                                     |
|           | Arm. trasversale | centro   | 21.573        | 18.4                                | 122.5                                     | 837.3                                  | -90.0                                  | 2 600                                     |
|           | Arm. longitud.   | centro   | 21.573        | 2.9                                 | 122.5                                     | 135.8                                  | -16.9                                  | 2 600                                     |

Per il carico  $q=q_{min}$  si ha

(momento negativo se tende le fibre superiori)

|   |        |       |
|---|--------|-------|
| $M_{yva}$ = M trasv. di bordo all'incastro muri di risvolto | -36.84 | t*m/m |
| $M_{xvs}$ = M longitudinale all'incastro muro frontale      | -25.70 | t*m/m |
| $M_{yas}$ = M trasv. di bordo a centro lastra               | 14.73  | t*m/m |
| $M_{xs}$ = M longitudinale a centro lastra                  | 2.44   | t*m/m |

Segue il calcolo dell'armatura di verifica:

coeff. omogeneizzazione = 15

| Dati di calcolo | Arm. di verifica | sez.     | $M_{ver}$<br>(t*m/m) | $H_p$<br>(cm) | $c^{tesa}$<br>(cm) | $c^{compr}$<br>(cm) | $A_f^{tesa}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) | $A_f^{compr}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) |
|-----------------|------------------|----------|----------------------|---------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
|                 | Arm. trasversale | incastro | -36.84               | 160           | 7.5                | 7.5                 | 26.55                                | 26.55                                 |
|                 | Arm. longitud.   | incastro | -25.70               | 160           | 5                  | 5                   | 26.55                                | 26.55                                 |
|                 | Arm. trasversale | centro   | 14.73                | 160           | 7.5                | 7.5                 | 26.55                                | 26.55                                 |
|                 | Arm. longitud.   | centro   | 2.44                 | 160           | 5                  | 5                   | 26.55                                | 26.55                                 |

| Risultati | Arm. di verifica | sez.     | $y_n$<br>(cm) | $\sigma_c$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{c,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{at}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{ac}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{a,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------|----------|---------------|-------------------------------------|---|--|--|---|
|           | Arm. trasversale | incastro | 21.573        | 21.0                                | 122.5                                     | 955.2                                  | -102.7                                 | 2 600                                     |
|           | Arm. longitud.   | incastro | 21.573        | 14.1                                | 122.5                                     | 653.6                                  | -81.2                                  | 2 600                                     |
|           | Arm. trasversale | centro   | 21.573        | 8.4                                 | 122.5                                     | 381.9                                  | -41.1                                  | 2 600                                     |
|           | Arm. longitud.   | centro   | 21.573        | 1.3                                 | 122.5                                     | 61.9                                   | -7.7                                   | 2 600                                     |

Legenda dati di calcolo:

$M_{ver}$  = momento flettente max.

$H_p$  = altezza totale della sezione di verifica

$c^{tesa}$  = copriferro arm. tesa (al baricentro ferro)

$c^{compr}$  = copriferro arm. compressa (al baricentro ferro)

$A_f^{tesa}$  = area armatura tesa

$A_f^{compr}$  = area armatura compressa

Legenda risultati:

$y_n$  = distanza asse neutro dal lembo compresso

$\sigma_c$  = tensione massima nel calcestruzzo

$\sigma_{c,amm}$  = tensione ammissibile nel calcestruzzo

$R_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{at}$  = tensione nell'armatura tesa

$\sigma_{ac}$  = tensione nell'armatura compressa

$\sigma_{a,amm}$  = tensione ammissibile nell'armatura

## CALCOLO SPALLA C - Rampa 2 (mobile)

### GEOMETRIA DELLA SPALLA

Di seguito si riportano i principali parametri geometrici della spalla:

#### *Muro frontale*

Si indica con  $B_{lm, sup}$  la larghezza longitudinale (secondo l'asse viario) in testa muro e con  $B_{tm}$  la larghezza trasversale del muro;  $H_m$  è l'altezza del muro mentre  $Pend.m$  è la pendenza della parete posteriore del muro.

| $B_{lm, sup}$<br>(m) | $Pend.m$<br>% | $B_{tm}$<br>(m) | $H_m$<br>(m) |
|----------------------|---------------|-----------------|--------------|
| 1.00                 | 0.000         | 7.50            | 1.92         |

#### *Speroni*

Si indica con  $B_{isper}$  la larghezza longitudinale dei due speroni, con  $B_{tsper}$  la loro larghezza trasversale e con  $H_{sper}$  la loro altezza

| $B_{isper}$<br>(m) | $B_{tsper}$<br>(m) | $H_{sper}$<br>(m) |
|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1.60               | 1.40               | 1.62              |

#### *Soletta speroni*

Si indica con  $B_{isol}$  la larghezza longitudinale della soletta sopra gli speroni, con  $B_{tsol}$  la sua larghezza trasversale e con  $H_{sol}$  la sua altezza

| $B_{isol}$<br>(m) | $B_{tsol}$<br>(m) | $H_{sol}$<br>(m) |
|-------------------|-------------------|------------------|
| 1.60              | 7.50              | 0.30             |

#### *Paraghiaia*

Si indica con  $B_{ipar}$  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.

| $B_{ipar}$<br>(m) | $B_{tpar}$<br>(m) | $H_{par}$<br>(m) |
|-------------------|-------------------|------------------|
| 0.50              | 7.50              | 2.35             |

### *Mensola*

Si indica con  $L_{ms}$  la lunghezza della mensola, con  $B_{tms}$  la larghezza trasversale, con  $H_{ms,min}$  e  $H_{ms,max}$  rispettivamente l'altezza minima e massima delle stesse.

| $L_{ms}$<br>(m) | $B_{tms}$<br>(m) | $H_{ms,min}$<br>(m) | $H_{ms,max}$<br>(m) |
|-----------------|------------------|---------------------|---------------------|
| 0.20            | 7.50             | 0.27                | 0.27                |

### *Muri di risvolto*

Si indica con  $L_r$  la lunghezza del muro, con  $H_r$  la sua altezza, con  $Spt_r$  lo spessore alla base del muro e con  $Pend_r$  la pendenza della parete posteriore del muro.

| Elem. | $Spt_r$<br>(m) | $Pend_r$<br>% | $L_r$<br>(m) | $H_r$<br>(m) |
|-------|----------------|---------------|--------------|--------------|
| Dx    | 1.00           | 0.000         | 3.20         | 4.27         |
| SX    | 1.00           | 0.000         | 3.20         | 4.27         |

### *Orecchie*

Si indica con  $L_o$  la lunghezza delle orecchie, con  $S_o$  lo spessore, con  $H_{o,min}$  e  $H_{o,max}$  rispettivamente l'altezza minima e massima delle stesse.

| Elem. | $L_o$<br>(m) | $S_o$<br>(m) | $H_{o,min}$<br>(m) | $H_{o,max}$<br>(m) |
|-------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|
| Dx    | 0.00         | 0.00         | 0.00               | 0.00               |
| Sx    | 0.00         | 0.00         | 0.00               | 0.00               |

### *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.

| $B_{lp}$<br>(m) | $B_{tp}$<br>(m) | $H_p$<br>(m) | $S_p$<br>(m) |
|-----------------|-----------------|--------------|--------------|
| 6.50            | 8.60            | 1.60         | 2.30         |

## **AZIONI SULLA SPALLA**

Le azioni caratteristiche agenti sulla spalla sono le seguenti:

### ***AZIONI VERTICALI D'ESERCIZIO***

- ### Carichi permanenti
- ### Carichi accidentali mobili (automezzi e folla)

### ***AZIONI ORIZZONTALI D'ESERCIZIO***

#### ***TRASVERSALI***

- ### Vento trasversale sull'impalcato (Imp. scarico e carico)
- ### Azione centrifuga per carichi mobili

#### ***LONGITUDINALI***

- ### Azione longitudinale di frenatura
- ### Resistenza parassita dei vincoli
- ### Spinta terreno in condizioni normali

### ***AZIONI SISMICHE***

- ### Sisma longitudinale e trasversale sulla spalla
- ### Spinta terreno incrementata in condizioni sismiche

Le azioni verranno nel seguito distinte tra azioni trasmesse dall'impalcato agli appoggi (e quindi agenti a quota appoggi e sull'asse di questi), azioni trasmesse alla spalla dal terreno retrostante il muro della stessa (riportate al filo anteriore e inferiore della platea di fondazione) e azioni derivanti dal peso proprio degli elementi della spalla.

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.

## AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO IN CONDIZIONI NORMALI

Riferendosi alla quota appoggi dell'impalcato e all'asse longitudinale dello stesso si ottengono le azioni di progetto elencate nel proseguo della presente relazione.

### AZIONI VERTICALI

#### ### CARICHI PERMANENTI

Il peso proprio dell'impalcato gravante sull'appoggio della spalla come risulta dai calcoli svolti nella specifica relazione per l'impalcato, risulta essere pari a circa :

$$N_{app} = 87.29 \text{ t}$$

#### ### CARICHI ACCIDENTALI

Saranno ora analizzati gli effetti globali sull'impalcato trasmessi dai carichi accidentali. Per la verifica delle spalle, si considerano due distinte condizioni di carico: la prima che massimizza il carico verticale e la seconda che massimizza il momento trasversale  $M_t$ .

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

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

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     | M    |
| 137.2 | 74.3 |

DISP. 2 Max momento trasversale  $M_t$

|      |       |
|------|-------|
| N    | M     |
| 91.4 | 148.6 |

## AZIONI ORIZZONTALI

### **### AZIONI TRASVERSALI**

#### **Vento trasversale sull'impalcato**

Si considera il seguente carico di riferimento :

$$q_{\text{vento}} = 0.025 \text{ kg/cm}^2$$

Vengono analizzate due distinte situazioni di carico:

- 1) Vento trasversale con impalcato scarico
- 2) Vento trasversale con impalcato carico

Per la condizione di impalcato carico, si dovranno applicare i coefficienti moltiplicativi  $K_w$  pari a 0,2 e 0,6:

(1) Impalcato scarico

| $H_t$<br>(t) | $M_t$<br>(t*m) |
|--------------|----------------|
| 4.87         | 5.48           |

(2) Impalcato carico

|           | $H_t$<br>(t) | $M_t$<br>(t*m) |
|-----------|--------------|----------------|
| $K_w=0,6$ | 5.80         | 13.85          |
| $K_w=0,2$ | 1.93         | 4.62           |

### **### AZIONI LONGITUDINALI**

#### **Frenatura**

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

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

Tale forza è pari al maggiore dei due valori  $H_{f1,a}$  pari a 1/10 della singola colonna di carico più pesante per ciascuna carreggiata e  $H_{f1,b}$  pari al 20% del carico che può interessare la struttura:

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 0.00 \quad t$$

e genera un momento longitudinale  $M_f$  pari a:

$$M_f = 0 \quad t \cdot m$$

### Resistenza parassita dei vincoli

Gli appoggi sono in acciaio e PTFE, ed il coefficiente di attrito assunto è pari a  $k_{att} = 0,03$ .

L'attrito dei vincoli risulta pari a

$$H_{vincoli} = 2.62 \quad t$$

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

$$h = 0.00 \quad m$$

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

$$M_{attr} = 0 \quad t \cdot m$$

### AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO IN CONDIZIONI DI SISMA

Le azioni sismiche si dividono in azioni orizzontali e azioni verticali

#### Forza sismica orizzontale

$$H_s = K_h * W_h$$

dove

$$K_h = C * R * \varepsilon * \beta * I$$

$W_h$

S

$$C = (S - 2) / 100$$

$$R = 1.00$$

$$\varepsilon = 1.20$$

$$\beta = 1.20$$

$$I = 1.20$$

CARICHI PERMANENTI

grado di sismicità

coefficiente di intensità sismica

coefficiente di risposta ( $T_0 < 0.8 \text{ s}$ )

coefficiente di fondazione

coefficiente di struttura ISOSTATICA

coefficiente di protezione sismica

## Forza sismica verticale

$$N_s = K_v * W_v$$

dove

$$K_v = m * C * I$$

$W_v$

$S$

$$C = (S - 2) / 100$$

$$m = 2.00$$

$$I = 1.20$$

CARICHI PERMANENTI

grado di sismicità

coefficiente di intensità sismica

coefficiente verticale

coefficiente di protezione sismica

| S | C    | $K_h$  | $K_v$  |
|---|------|--------|--------|
| 9 | 0.07 | 0.1210 | 0.1680 |

Rispetto all'asse dell'impalcato, il sisma può essere trasversale o longitudinale.

## ### SISMA TRASVERSALE

Per il sisma trasversale i carichi permanenti  $W_h$  e  $W_v$  si riducono al peso dell'impalcato sulla spalla  $N_{app}$

$$W = W_h = W_v = N_{app}$$

Per il sisma trasversale si calcola, oltre alla forza orizzontale risultante, anche il momento trasversale risultante di tale forza rispetto agli appoggi.

Indicando con  $h_{bar,p}$  l'altezza del baricentro dei carichi permanenti

(punto dove risulta applicata la forza sismica orizzontale) rispetto alla quota degli appoggi, si ha per il momento trasversale dovuto al sisma

$$M_{s,t} = H_{s,t} * h_{bar,p}$$

| W     |             | Orizzont. |           | Vert.            |
|-------|-------------|-----------|-----------|------------------|
| W     | $h_{bar,p}$ | $H_{s,t}$ | $M_{s,t}$ | $\Delta N_{s,t}$ |
| (t)   |             | (t)       | (t*m)     | (t)              |
| 87.29 | 1.18        | 10.56     | 12.41     | 14.66            |

### ### SISMA LONGITUDINALE

Per il sisma longitudinale i carichi permanenti  $W_h$  sono pari al peso dell'impalcato sulla spalla  $N_{app}$

$$W_h = N_{app}$$

mentre i carichi permanenti  $W_v$  sono pari al peso dell'impalcato  $N_{app}$

$$W_v = N_{app}$$

Come da normativa, non si considera presente il sovraccarico mobile sull'impalcato.

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

| $W_h$<br>(t) | $W_v$<br>(t) | $h_{sism,l}$ | Orizzont.        |                    | Vert.                   |
|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------------|-------------------------|
|              |              |              | $H_{s,l}$<br>(t) | $M_{s,l}$<br>(t*m) | $\Delta N_{s,t}$<br>(t) |
| 87.29        | 87.29        | 0.00         | 10.56            | 0.00               | 14.66                   |

### COMBINAZIONI DI CARICO DELLE AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

In accordo con quanto contenuto nel D.M. 4.5.90 si individuano quattro gruppi di carico.

|                   | Azione gruppo | COEFFICIENTI MOLTIPLICATIVI |             |       |       |       |              |
|-------------------|---------------|-----------------------------|-------------|-------|-------|-------|--------------|
|                   |               | Perm.                       | Acc. dinam. | Fren. | Vento | Sisma | Attrito app. |
| Viadotto scarico  | A I           | 1.00                        | 0.00        | 0.00  | 1.00  | 0.00  | 1.00         |
| C.N.E.+ vento     | A II          | 1.00                        | 1.00        | 0.00  | 0.60  | 0.00  | 1.00         |
| C.N.E.+ frenatura | A III         | 1.00                        | 1.00        | 1.00  | 0.20  | 0.00  | 1.00         |
| Cond. sismica     | A V           | 1.00                        | 0.00        | 0.00  | 0.00  | 1.00  | 0.00         |

In precedenza, per ciò che attiene alla disposizione dei carichi accidentali, si sono esaminate 2 distinte condizioni di carico, relative una al massimo carico verticale e una al massimo momento trasversale. Correlando allora questi carichi accidentali con le altre azioni esterne, avremo le seguenti combinazioni.

| COMB. | AZ. GR. | CARICHI  | Az.prev. |
|-------|---------|--|----------|
| 1     | A I     | Perm. + Vento (1) * 1.0 + Attr. * 1.0                              | Imp. sc. |
| 2     | A II    | Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (2) * 0.6 + Attr. * 1.0               | Ven. tr. |
| 3     | A II    | Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (2) * 0.6 + Attr. * 1.0               | Ven. tr. |
| 4     | A III   | Perm. + Acc. DISP. 1 + Fren. * 1.0 + Vento (2) * 0.2 + Attr. * 1.0 | Fren.    |
| 5     | A III   | Perm. + Acc. DISP. 2 + Fren. * 1.0 + Vento (2) * 0.2 + Attr. * 1.0 | Fren.    |
| 6     | A V     | Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale positiva              | Sism. T  |
| 7     | A V     | Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale negativa              | Sism. T  |
| 8     | A V     | Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale positiva            | Sism. L  |
| 9     | A V     | Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale negativa            | Sism. L  |

Si determinano allora le azioni di progetto riferite alla quota degli appoggi.

**COMB. 1**      *Perm. + Vento (1) \* 1.0 + Attr. \* 1.0*

| <i>Az. progetto</i> | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Permanenti          | 87.29            | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Vento (1) * 1.0     | 0.00             | 0.00                         | 4.87                         | 0.00                           | 5.48                           |
| Attrito * 1.00      | 0.00             | 2.62                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| <i>TOT</i>          | 87.29            | 2.62                         | 4.87                         | 0.00                           | 5.48                           |

**COMB. 2**      *Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (2) \* 0.6 + Attr. \* 1.0*

| <i>Az. progetto</i> | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Permanenti          | 87.29            | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Acc. disp. 1        | 137.17           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 74.30                          |
| Vento (2) * 0.60    | 0.00             | 0.00                         | 5.80                         | 0.00                           | 13.85                          |
| Attrito * 1.00      | 0.00             | 2.62                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| <i>TOT</i>          | 224.46           | 2.62                         | 5.80                         | 0.00                           | 88.15                          |

**COMB. 3**      *Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (2) \* 0.6 + Attr. \* 1.0*

| <i>Az. progetto</i> | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Permanenti          | 87.29            | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Acc. disp. 2        | 91.45            | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 148.61                         |
| Vento (2) * 0.60    | 0.00             | 0.00                         | 5.80                         | 0.00                           | 13.85                          |
| Attrito * 1.00      | 0.00             | 2.62                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| <i>TOT</i>          | 178.74           | 2.62                         | 5.80                         | 0.00                           | 162.45                         |

**COMB. 4**      *Perm. + Acc. DISP. 1 + Fren. \* 1.0 + Vento (2) \* 0.2 + Attr. \* 1.0*

| <i>Az. progetto</i> | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Permanenti          | 87.29            | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Acc. disp. 1        | 137.17           | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 74.30                          |
| Fren. * 1.00        | 0.00             | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Vento (2) * 0.20    | 0.00             | 0.00                         | 1.93                         | 0.00                           | 4.62                           |
| Attrito * 1.00      | 0.00             | 2.62                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| <i>TOT</i>          | 224.46           | 2.62                         | 1.93                         | 0.00                           | 78.92                          |

COMB. 5 Perm. + Acc. DISP. 2 + Fren. \* 1.0 + Vento (2) \* 0.2 + Attr. \* 1.0

| Az. progetto     | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti       | 87.29    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Acc. disp. 2     | 91.45    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 148.61                  |
| Fren. * 1.00     | 0.00     | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Vento (2) * 0.20 | 0.00     | 0.00                  | 1.93                  | 0.00                    | 4.62                    |
| Attrito * 1.00   | 0.00     | 2.62                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT              | 178.74   | 2.62                  | 1.93                  | 0.00                    | 153.22                  |

COMB. 6 Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale positiva

| Az. progetto        | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|---------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti          | 87.29    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. trasv. | 0.00     | 0.00                  | 10.56                 | 0.00                    | 12.41                   |
| Sisma vert. +       | 14.66    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                 | 101.95   | 0.00                  | 10.56                 | 0.00                    | 12.41                   |

COMB. 7 Perm. + Sisma trasversale con acc. verticale negativa

| Az. progetto        | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|---------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti          | 87.29    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. trasv. | 0.00     | 0.00                  | 10.56                 | 0.00                    | 12.41                   |
| Sisma vert. -       | -14.66   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                 | 72.62    | 0.00                  | 10.56                 | 0.00                    | 12.41                   |

COMB. 8 Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale positiva

| Az. progetto       | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|--------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti         | 87.29    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. long. | 0.00     | 10.56                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma vert. +      | 14.66    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                | 101.95   | 10.56                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |

COMB. 9 Perm. + Sisma longitudinale con acc. verticale negativa

| Az. progetto       | N<br>(t) | H <sub>i</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>i</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |
|--------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Permanenti         | 87.29    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma orizz. long. | 0.00     | 10.56                 | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| Sisma vert. -      | -14.66   | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 0.00                    |
| TOT                | 72.62    | 10.6                  | 0.00                  | 0.0                     | 0.00                    |

Si riepilogano ora tutte le combinazioni esaminate, avendo l'accortezza di separare gli effetti del sisma orizzontale e di quello verticale per la verifica delle strutture che formano la spalla in oggetto. Difatti per questi elementi verrà applicata la regola che prescrive la composizione quadratica delle due azioni.

| AZIONI A QUOTA APPOGGI IMPALCATO |          |                       |                       |                         |                         | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|----------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| COMB.                            | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
| 1                                | 87.29    | 2.62                  | 4.87                  | 0.00                    | 5.48                    |                          |
| 2                                | 224.46   | 2.62                  | 5.80                  | 0.00                    | 88.15                   |                          |
| 3                                | 178.74   | 2.62                  | 5.80                  | 0.00                    | 162.45                  |                          |
| 4                                | 224.46   | 2.62                  | 1.93                  | 0.00                    | 78.92                   |                          |
| 5                                | 178.74   | 2.62                  | 1.93                  | 0.00                    | 153.22                  |                          |

|         |     |        |       |       |      |       |                 |
|---------|-----|--------|-------|-------|------|-------|-----------------|
| Perm.   | 6,7 | 87.29  | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00  | Sisma<br>Trasv. |
| Vert. + | 6   | 14.66  | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00  |                 |
| Vert. - | 7   | -14.66 | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00  |                 |
| Orizz.  | 6,7 | 0.00   | 0.00  | 10.56 | 0.00 | 12.41 |                 |
| Perm.   | 8,9 | 87.29  | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00  | Sisma<br>Long.  |
| Vert. + | 8   | 14.66  | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00  |                 |
| Vert. - | 9   | -14.66 | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00  |                 |
| Orizz.  | 8,9 | 0.00   | 10.56 | 0.00  | 0.00 | 0.00  |                 |

### AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI NORMALI

Per il calcolo delle azioni trasmesse dal terreno si assume un peso specifico del terreno  $\gamma_t$  e un angolo di attrito interno  $\phi'$  pari a:

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

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva  $K_a$  dalla relazione di Rankine come

$$K_a = 0.27099$$

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  $Pend._m$  l'inclinazione della parete posteriore del muro frontale, con  $Spt_r$ ,  $Pend._r$  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:

| $B_{lp}$<br>(m) | $B_{tp}$<br>(m) | $S_p$<br>(m) | $B_{lm,sup}$<br>(m) | $Pend._m$<br>% | $H_{m+par}$<br>(m) | $Spt_r dx$<br>(m) | $Pend._r dx$<br>% | $Spt_r sx$<br>(m) |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 6.50            | 8.60            | 2.30         | 1.00                | 0              | 4.27               | 1.00              | 0                 | 1.00              |

| $Pend._r sx$<br>% | $H_r dx$<br>(m) | $H_r sx$<br>(m) |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| 0                 | 4.27            | 4.27            |

| $Q_t$<br>(t) | $Q_s$<br>(t) | $e_{Qt}$<br>(m) | $e_{Qs}$<br>(m) |
|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 162.33       | 42.24        | 4.90            | 4.90            |

### AZIONI ORIZZONTALI

Le azioni trasmesse dal terreno alla spalla sono la spinta attiva del terreno a tergo della spalla dovuta al peso del terreno  $\gamma_t$  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):

| $B_{tp}$<br>(m) | $H_p$<br>(m) | $H_{m+par}$<br>(m) | $S_{a,t}$<br>(t) | $S_{a,s}$<br>(t) | $e_{Sa,t}$<br>(m) | $e_{Sa,s}$<br>(m) |
|-----------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 8.60            | 1.60         | 4.27               | 72.27            | 27.36            | 1.96              | 2.94              |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dal terreno alla spalla, considerate agenti al centro del filo anteriore della fondazione, si ha:

| <i>Az. progetto</i>    | <b>N</b><br>(t) | <b>H<sub>l</sub></b><br>(t) | <b>H<sub>t</sub></b><br>(t) | <b>M<sub>l</sub></b><br>(t*m) | <b>M<sub>t</sub></b><br>(t*m) |
|------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Terreno sopra platea   | 204.57          | 0.00                        | 0.00                        | 1 002.38                      | 0                             |
| Spinta della terra     | 0.00            | 72.27                       | 0.00                        | -141.41                       | 0.00                          |
| Spinta per carico acc. | 0.00            | 27.36                       | 0.00                        | -80.30                        | 0.00                          |
| <i>TOT</i>             | 204.57          | 99.63                       | 0.00                        | 780.67                        | 0.00                          |

## AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO IN CONDIZIONI DI SISMA

### ### SISMA LONGITUDINALE

In caso di sisma longitudinale orizzontale si ha incremento di spinta sismico sul terreno portato. Risulta:

$$\begin{aligned}
 C &= 0.07 & \theta &= \arctg(C) = 4.004^\circ \\
 i' = i + \theta &= 4.004^\circ \\
 \beta' = \beta + \theta &= 4.004^\circ \\
 \alpha = 90^\circ - \beta' &= 85.996^\circ \\
 \phi' &= 35^\circ
 \end{aligned}$$

Indicando con  $K_{a,s}$  il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche, si ha (vedi G. U. del 5/2/1996)

$$K_{a,s} = 0.3104$$

da cui si calcola un coefficiente orizzontale di spinta pari a

$$K_{a,s \text{ orizzontale}} = K_{a,s} \cdot \cos(\theta) = 0.3097$$

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

| S | C    | $K_h$  | $K_v$  |
|---|------|--------|--------|
| 9 | 0.07 | 0.1210 | 0.1680 |

si ha

| $B_{tp}$<br>(m) | $H_p$<br>(m) | $H_m$<br>(m) | $H_{par}$<br>(m) |
|-----------------|--------------|--------------|------------------|
| 8.60            | 1.60         | 1.92         | 2.35             |

| orizzontale             |                     |                            |                  |                   |                     | verticale               |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| $\Delta S_{a,t}$<br>(t) | $e_{Sa,t}$<br>(t*m) | $\Delta M_{Sa,t}$<br>(t*m) | $F_{iQt}$<br>(t) | $e_{FiQt}$<br>(m) | $M_{FiQt}$<br>(t*m) | $\Delta Q_{s,l}$<br>(t) |
| 10.29                   | 3.91                | -40.28                     | 19.64            | 3.74              | -73.34              | 27.27                   |

### ### 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               |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| $F_{iQt}$<br>(t) | $e_{FiQt}$<br>(m) | $M_{FiQt}$<br>(t*m) | $\Delta Q_{s,t}$<br>(t) |
| 19.64            | 3.74              | 73.34               | 27.27                   |

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>       | <b>N</b><br>(t) | <b>H<sub>l</sub></b><br>(t) | <b>H<sub>t</sub></b><br>(t) | <b>M<sub>l</sub></b><br>(t*m) | <b>M<sub>t</sub></b><br>(t*m) |
|---------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Peso terreno sopra platea | 162.33          | 0.00                        | 0.00                        | 1 002.38                      | 0.00                          |
| Spinta attiva terreno     | 0.00            | 99.63                       | 0.00                        | -221.71                       | 0.00                          |
| Sisma long. orizzontale   | 0.00            | 29.93                       | 0.00                        | -113.62                       | 0.00                          |
| Sisma trasv. orizzontale  | 0.00            | 0.00                        | 19.64                       | 0.00                          | 73.34                         |
| Sisma vert. + Incr. peso  | 27.27           | 0.00                        | 0.00                        | 133.63                        | 0.00                          |
| Sisma vert. +Decr. peso   | -27.27          | 0.00                        | 0.00                        | -133.63                       | 0.00                          |

### AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO IN CONDIZIONI NORMALI

Ricordando la geometria della spalla delineata nel cap. 4, e considerando tutte le azioni agenti al centro del filo anteriore della platea di fondazione, risulta, con  $e_{l,N}$ ,  $e_{t,N}$ ,  $e_{v,N}$  eccentricità longitudinale, trasversale e verticale del peso degli elementi:

|                     | <b>N</b><br>(t) | <b><math>e_{l,N}</math></b><br>(m) | <b><math>e_{t,N}</math></b><br>(m) | <b><math>e_{v,N}</math></b><br>(m) |
|---------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Muro frontale       | 36.00           | 2.80                               | 0.00                               | 2.56                               |
| Speroni             | 18.14           | 1.50                               | 0.00                               | 2.41                               |
| Soletta speroni     | 9.00            | 1.50                               | 0.00                               | 3.07                               |
| Paraghiaia          | 22.03           | 3.05                               | 0.00                               | 4.70                               |
| Mensola             | 0.99            | 2.20                               | 0.00                               | 5.74                               |
|                     | 86.17           | 2.45                               | 0.00                               | 3.16                               |
| Muro di risvolto dx | 34.16           | 4.90                               | 3.80                               | 3.74                               |
| Muro di risvolto sx | 34.16           | 4.90                               | -3.80                              | 3.74                               |
|                     | 68.32           | 4.90                               | 0.00                               | 3.74                               |

|                      |        |      |      |      |
|----------------------|--------|------|------|------|
| Orecchia dx          | 0.00   | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Orecchia sx          | 0.00   | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                      | 0.00   | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Platea di fondazione | 223.60 | 3.25 | 0.00 | 0.80 |
| <i>tot</i>           | 378.09 | 3.37 | 0.00 | 1.87 |

Riassumendo

|                     |                  |                              |                              |                                |                                |
|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <i>Az. progetto</i> | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
| Peso proprio        | 378.09           | 0.00                         | 0.00                         | 1 272.37                       | 0.00                           |

### AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO IN CONDIZIONI DI SISMA

Si ricorda che risulta:

| <b>S</b> | <b>C</b> | <b>K<sub>h</sub></b> | <b>K<sub>v</sub></b> |
|----------|----------|----------------------|----------------------|
| 9        | 0.07     | 0.1210               | 0.1680               |

### **### SISMA LONGITUDINALE**

Risulta

|                      | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>v,N</sub><br/>(m)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Muro frontale        | 4.35                         | 2.56                           | -11.15                         |
| Speroni              | 2.19                         | 2.41                           | -5.29                          |
| Soletta speroni      | 1.09                         | 3.07                           | -3.34                          |
| Paraghiaia           | 2.66                         | 4.70                           | -12.51                         |
| Mensola              | 0.12                         | 5.74                           | -0.69                          |
| Muro di risvolto dx  | 4.13                         | 3.74                           | -15.43                         |
| Muro di risvolto sx  | 4.13                         | 3.74                           | -15.43                         |
| Orecchia dx          | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Orecchia sx          | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Platea di fondazione | 27.05                        | 0.80                           | -21.64                         |
| <i>TOT</i>           | 45.73                        |                                | -85.48                         |

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

|                      | <b>H<sub>t</sub></b><br><b>(t)</b> | <b>e<sub>v,N</sub></b><br><b>(m)</b> | <b>M<sub>t</sub></b><br><b>(t*m)</b> |
|----------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Muro frontale        | 4.35                               | 2.56                                 | 11.15                                |
| Speroni              | 2.19                               | 2.41                                 | 5.29                                 |
| Soletta speroni      | 1.09                               | 3.07                                 | 3.34                                 |
| Paraghiaia           | 2.66                               | 4.70                                 | 12.51                                |
| Mensola              | 0.12                               | 5.74                                 | 0.69                                 |
| Muro di risvolto dx  | 4.13                               | 3.74                                 | 15.43                                |
| Muro di risvolto sx  | 4.13                               | 3.74                                 | 15.43                                |
| Orecchia dx          | 0.00                               | 0.00                                 | 0.00                                 |
| Orecchia sx          | 0.00                               | 0.00                                 | 0.00                                 |
| Platea di fondazione | 27.05                              | 0.80                                 | 21.64                                |
| <i>TOT</i>           | 45.73                              |                                      | 85.48                                |

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

*Az. progetto*

|                          | <b>N</b><br><b>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub></b><br><b>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub></b><br><b>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub></b><br><b>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub></b><br><b>(t*m)</b> |
|--------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Peso proprio spalla      | 378.09                 | 0.00                               | 0.00                               | 1 272.37                             | 0.00                                 |
| Sisma long. orizzontale  | 0.00                   | 45.73                              | 0.00                               | -85.48                               | 0.00                                 |
| Sisma trasv. orizzontale | 0.00                   | 0.00                               | 45.73                              | 0.00                                 | 85.48                                |
| Sisma vert. + Incr. peso | 63.52                  | 0.00                               | 0.00                               | 213.76                               | 0.00                                 |
| Sisma vert. - Decr. peso | -63.52                 | 0.00                               | 0.00                               | -213.76                              | 0.00                                 |

### COMBINAZIONI DI CARICO DI TUTTE LE AZIONI

Per poter sommare le azioni provenienti dall'impalcato a quelle dovute al terreno e al peso proprio, è necessario riportare innanzitutto le azioni trasmesse dall'impalcato al centro del filo anteriore della platea (quota intradosso), rispetto a dove sono state calcolate le azioni relative al terreno e al peso proprio.

Per il trasporto si introducono le eccentricità longitudinale  $e_l$  e trasversale  $e_t$ , ovvero rispettivamente la distanza tra l'asse appoggi e il filo anteriore della fondazione e la distanza tra l'asse del viadotto e l'asse trasversale della platea (distanza positiva se l'asse platea è spostato a dx rispetto all'asse viadotto). Si ha infine una eccentricità verticale  $e_v$  pari alla distanza tra la quota appoggi e la quota di intradosso della platea.

$$e_l = -1.50 \text{ m}$$

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

$$e_v = -3.52 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

| Azioni impalcato rispetto filo anteriore inf. platea |          |                       |                       |                         |                         | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|--|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| COMB.  | N<br>(t) | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
| 1  | 87.29    | 2.62                  | 4.87                  | 121.72                  | 22.64                   |                          |
| 2  | 224.46   | 2.62                  | 5.80                  | 327.48                  | 108.57                  |                          |
| 3  | 178.74   | 2.62                  | 5.80                  | 258.89                  | 182.87                  |                          |
| 4  | 224.46   | 2.62                  | 1.93                  | 327.48                  | 85.72                   |                          |
| 5  | 178.74   | 2.62                  | 1.93                  | 258.89                  | 160.03                  |                          |

|                |     |        |       |       |        |       |                 |
|----------------|-----|--------|-------|-------|--------|-------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6,7 | 87.29  | 0.00  | 0.00  | 130.93 | 0.00  | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 14.66  | 0.00  | 0.00  | 22.00  | 0.00  |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -14.66 | 0.00  | 0.00  | -22.00 | 0.00  |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 6,7 | 0.00   | 0.00  | 10.56 | 0.00   | 49.57 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8,9 | 87.29  | 0.00  | 0.00  | 130.93 | 0.00  | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 14.66  | 0.00  | 0.00  | 22.00  | 0.00  |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -14.66 | 0.00  | 0.00  | -22.00 | 0.00  |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8,9 | 0.00   | 10.56 | 0.00  | -37.17 | 0.00  |                 |

Si sommano ora le azioni provenienti dall'impalcato a quelle derivanti dal terreno e dal peso proprio degli elementi della spalla.

| Azioni totali rispetto filo anteriore platea |            |                      |                      |                      |                      |                          |
|--|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|  | <b>N</b>   | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b>                                 | <b>(t)</b> | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                          |
| 1  | 669.95     | 102.25               | 4.87                 | 2 174.75             | 22.64                | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
| 2  | 807.12     | 102.25               | 5.80                 | 2 380.51             | 108.57               |                          |
| 3  | 761.40     | 102.25               | 5.80                 | 2 311.93             | 182.87               |                          |
| 4  | 807.12     | 102.25               | 1.93                 | 2 380.51             | 85.72                |                          |
| 5  | 761.40     | 102.25               | 1.93                 | 2 311.93             | 160.03               |                          |

|                |     |         |       |       |          |        |                 |
|----------------|-----|---------|-------|-------|----------|--------|-----------------|
| <i>Perm.</i>   | 6,7 | 627.71  | 72.27 | 0.00  | 2 183.97 | 0.00   | Sisma<br>Trasv. |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 105.45  | 0.00  | 0.00  | 369.38   | 0.00   |                 |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -105.45 | 0.00  | 0.00  | -369.38  | 0.00   |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 6,7 | 0.00    | 0.00  | 75.93 | 0.00     | 208.39 |                 |
| <i>Perm.</i>   | 8,9 | 627.71  | 72.27 | 0.00  | 2 183.97 | 0.00   | Sisma<br>Long.  |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 105.45  | 0.00  | 0.00  | 369.38   | 0.00   |                 |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -105.45 | 0.00  | 0.00  | -369.38  | 0.00   |                 |
| <i>Orizz.</i>  | 8,9 | 0.00    | 86.22 | 0.00  | -236.27  | 0.00   |                 |

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA SPALLA

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 6$

Dimensioni platea di fondazione (m)

| X    | Y    | Z    |
|------|------|------|
| 6.50 | 8.60 | 1.60 |

Area fondazione 55.90 m<sup>2</sup>

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

Baricentro palificata

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

| X <sub>G</sub> | Y <sub>G</sub> |
|----------------|----------------|
| 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.

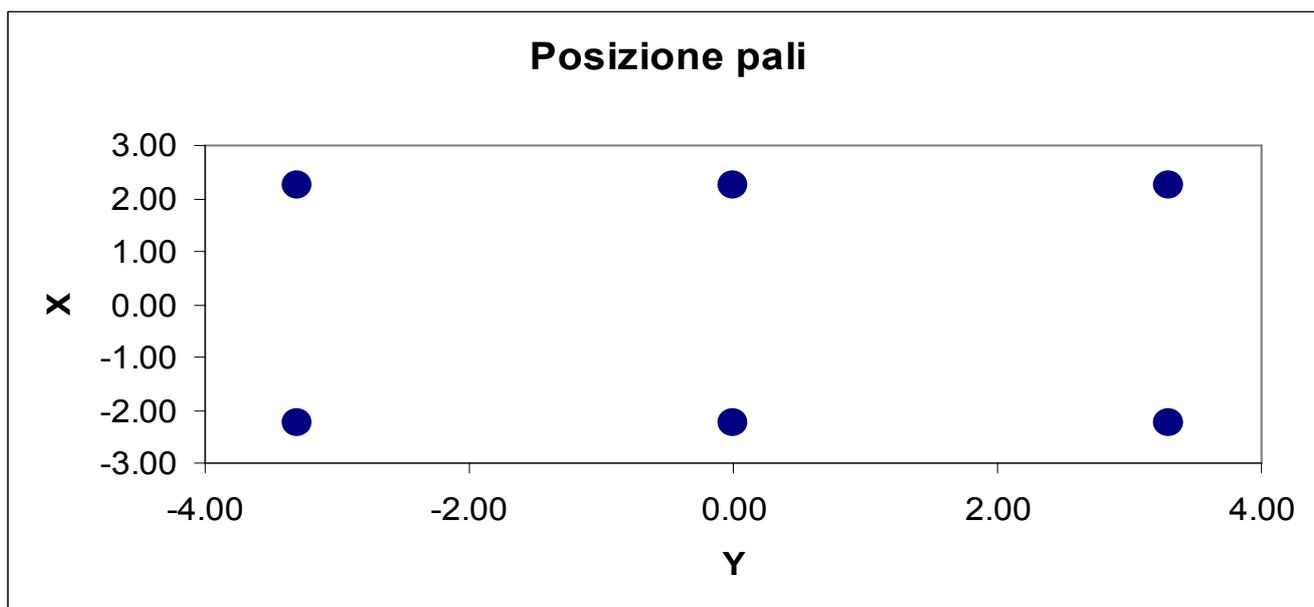
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata (m<sup>2</sup>)

| J <sub>I</sub> | J <sub>t</sub> |
|----------------|----------------|
| 30.375         | 43.56          |

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

| Pali | X<br>(m) | Y<br>(m) | $X_g$<br>(m) | $Y_g$<br>(m) | $W_l$<br>(m) | $W_t$<br>(m) |
|------|----------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1    | 2.25     | 3.30     | 2.25         | 3.30         | 13.50        | 13.20        |
| 2    | 2.25     | 0.00     | 2.25         | 0.00         | 13.50        | Infinito     |
| 3    | 2.25     | -3.30    | 2.25         | -3.30        | 13.50        | -13.20       |
| 4    | -2.25    | 3.30     | -2.25        | 3.30         | -13.50       | 13.20        |
| 5    | -2.25    | 0.00     | -2.25        | 0.00         | -13.50       | Infinito     |
| 6    | -2.25    | -3.30    | -2.25        | -3.30        | -13.50       | -13.20       |
| 7    |          |          |              |              |              |              |
| 8    |          |          |              |              |              |              |
| 9    |          |          |              |              |              |              |
| 10   |          |          |              |              |              |              |
| 11   |          |          |              |              |              |              |
| 12   |          |          |              |              |              |              |
| 13   |          |          |              |              |              |              |
| 14   |          |          |              |              |              |              |
| 15   |          |          |              |              |              |              |
| 16   |          |          |              |              |              |              |
| 17   |          |          |              |              |              |              |
| 18   |          |          |              |              |              |              |
| 19   |          |          |              |              |              |              |
| 20   |          |          |              |              |              |              |

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:

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

$$e_{i,pali} = 3.25 \text{ m}$$

|                |     | Azioni totali rispetto baricentro palificata |                      |                      |                      |                      |                          |
|----------------|-----|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|                |     | <b>N</b>                                     | <b>H<sub>i</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>i</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b>   |     | <b>(t)</b>                                   | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                          |
|                | 1   | 669.95                                       | 102.25               | 4.87                 | -2.58                | 22.64                | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|                | 2   | 807.12                                       | 102.25               | 5.80                 | -242.63              | 108.57               |                          |
|                | 3   | 761.40                                       | 102.25               | 5.80                 | -162.61              | 182.87               |                          |
|                | 4   | 807.12                                       | 102.25               | 1.93                 | -242.63              | 85.72                |                          |
|                | 5   | 761.40                                       | 102.25               | 1.93                 | -162.61              | 160.03               |                          |
| <i>Perm.</i>   | 6,7 | 627.71                                       | 72.27                | 0.00                 | 143.92               | 0.00                 | Sisma<br>Trasv.          |
| <i>Vert. +</i> | 6   | 105.45                                       | 0.00                 | 0.00                 | 26.66                | 0.00                 |                          |
| <i>Vert. -</i> | 7   | -105.45                                      | 0.00                 | 0.00                 | -26.66               | 0.00                 |                          |
| <i>Orizz.</i>  | 6,7 | 0.00   | 0.00                 | 75.93                | 0.00                 | 208.39               |                          |
| <i>Perm.</i>   | 8,9 | 627.71                                       | 72.27                | 0.00                 | 143.92               | 0.00                 | Sisma<br>Long.           |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 105.45                                       | 0.00                 | 0.00                 | 26.66                | 0.00                 |                          |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -105.45                                      | 0.00                 | 0.00                 | -26.66               | 0.00                 |                          |
| <i>Orizz.</i>  | 8,9 | 0.00   | 86.22                | 0.00                 | -236.27              | 0.00                 |                          |

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

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

Per le combinazioni di carico sismiche lo sforzo assiale in testa ai pali si otterrà dalla combinazione quadratica delle componenti verticali e orizzontali dell'azione sismica, pari a:

$$N_{palo} = (N + \alpha_N (N_v^{\beta_N} + N_o^{\beta_N})^{1/\beta_N}) / n^\circ \text{ pali} + (M_i + \alpha_M (M_{i,v}^{\beta_M} + M_{i,o}^{\beta_M})^{1/\beta_M}) / W_i + (M_t + \alpha_{Mt} (M_{t,v}^{\beta_{Mt}} + M_{t,o}^{\beta_{Mt}})^{1/\beta_{Mt}}) / W_t$$

dove i generici  $\alpha_i = 1$  e  $\beta_i = 1$  se le sollecitazioni i-esime del sisma verticale e orizzontale hanno segni differenti (oppure una delle due è nulla), mentre  $\alpha_i$  ha il segno delle sollecitazioni i-esime e  $\beta_i = 2$  se le stesse hanno lo stesso segno.

### Sollecitazioni sui pali di fondazione (t)

| Combinazioni di carico |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| PALI                   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9    |
| 1                      | 113.6 | 160.7 | 152.8 | 159.0 | 151.1 | 125.3 | 94.1  | 127.1 | 94.0 |
| 2                      | 111.8 | 152.5 | 138.9 | 152.5 | 138.9 | 109.6 | 78.4  | 127.1 | 94.0 |
| 3                      | 110.1 | 144.3 | 125.1 | 146.0 | 126.8 | 93.8  | 62.6  | 127.1 | 94.0 |
| 4                      | 113.2 | 124.8 | 128.7 | 123.0 | 127.0 | 150.6 | 111.5 | 117.3 | 80.1 |
| 5                      | 111.5 | 116.5 | 114.9 | 116.5 | 114.9 | 134.8 | 95.7  | 117.3 | 80.1 |
| 6                      | 109.8 | 108.3 | 101.0 | 110.1 | 102.7 | 119.0 | 79.9  | 117.3 | 80.1 |
| 7                      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 8                      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 9                      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 10                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 11                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 12                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 13                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 14                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 15                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 16                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 17                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 18                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 19                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| 20                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |

$N_{\max}$  (t)    113.6    160.7    152.8    159.0    151.1    150.6    111.5    127.1    94.0

$N_{\min}$  (t)    109.8    108.3    101.0    110.1    102.7    93.8    62.6    117.3    80.1

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

| Sollecitazioni a quota intradosso platea |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|
| COMB.                                    | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) |
| 1  | 102.3                 | 4.9                   |
| 2  | 102.3                 | 5.8                   |
| 3  | 102.3                 | 5.8                   |
| 4  | 102.3                 | 1.9                   |
| 5  | 102.3                 | 1.9                   |
| 6  | 72.3                  | 75.9                  |
| 7  | 72.3                  | 75.9                  |
| 8  | 158.5                 | 0.0                   |
| 9  | 158.5                 | 0.0                   |

| T <sub>l</sub><br>(t) | T <sub>t</sub><br>(t) | T <sub>max</sub><br>(t) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 17.04                 | 0.81                  | 17.06                   |
| 17.04                 | 0.97                  | 17.07                   |
| 17.04                 | 0.97                  | 17.07                   |
| 17.04                 | 0.32                  | 17.04                   |
| 17.04                 | 0.32                  | 17.04                   |
| 12.05                 | 12.65                 | 17.47                   |
| 12.05                 | 12.65                 | 17.47                   |
| 26.42                 | 0.00                  | 26.42                   |
| 26.42                 | 0.00                  | 26.42                   |

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 26.42 \text{ t}$

| PALI  |                  |       |
|-------|------------------|-------|
| SISM  |                  | ESER  |
| 150.6 | N <sub>max</sub> | 160.7 |
| 62.6  | N <sub>min</sub> | 101.0 |
| 26.4  | T <sub>max</sub> | 17.1  |

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

$$M_{max} = T_{max} * L_o/2$$

con L<sub>o</sub> lunghezza elastica del palo

Ponendo

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 120.0 \text{ cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 4.248 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 56.11 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 127.1 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 80.1 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 53.50 \text{ cm}$$

$$\text{Copriferro} = 6.5 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 95.6 \text{ cm}^2$$

$$\text{Coeff. omogeneizzazione } n = 15.0$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\begin{aligned} \text{Tensione ammissibile cls} & 122.5 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Tensione ammissibile acciaio} & 2600 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

### **Verifica con sforzo normale massimo**

Centro di pressione esterno al nocciolo centrale d'inerzia (Grande eccentricità)

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 188.54^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 64.47 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 46.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 530.50 \text{ kg/cm}^2$$

### **Verifica con sforzo normale minimo**

Centro di pressione esterno al nocciolo centrale d'inerzia (Grande eccentricità)

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 161.228^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 50.21 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 49.1107 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 928.41 \text{ kg/cm}^2$$

## AZIONI SUL MURO FRONTALE

### AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

Le azioni trasmesse dall'impalcato sul muro frontale sono già state calcolate nel cap. 5, riferite alla quota appoggi e all'asse del viadotto.

Delle 9 combinazioni di carico individuate nel cap. 5, interessano solo quelle relative alle condizioni normali di esercizio (1-5) e al sisma longitudinale (8,9), non avendo il sisma trasversale (7,8) rilevanza ai fini della verifica del muro frontale. Nella verifica inoltre non si considera il momento trasversale  $M_t$ .

Tali azioni devono ora essere riportate al baricentro della sezione di spiccato del muro frontale (comprensivo degli speroni).

A tal fine si identifica una eccentricità longitudinale  $e_l$  pari alla distanza tra l'asse appoggi e il baricentro del muro frontale, e un eccentricità verticale  $e_v$  pari all'altezza del muro frontale.

Risulta allora:

$$e_l = 0.81 \text{ m}$$

$$e_v = -1.92 \text{ m}$$

$$M_l = M_{l,appoggi} - N_{appoggi} \cdot e_l + H_{l,appoggi} \cdot e_v$$

|         |     | AZIONI IMPALCATO rispetto baricentro muro |                       |                       |                         |                         |                          |
|---------|-----|---|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
|         |     | N<br>(t)                                  | H <sub>l</sub><br>(t) | H <sub>t</sub><br>(t) | M <sub>l</sub><br>(t*m) | M <sub>t</sub><br>(t*m) |                          |
| COMB.   |     |   |                       |                       |                         |                         |                          |
|         | 1   | 87.29                                     | 2.62                  | 4.87                  | -76.07                  | -                       | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|         | 2   | 224.46                                    | 2.62                  | 5.80                  | -187.71                 | -                       |                          |
|         | 3   | 178.74                                    | 2.62                  | 5.80                  | -150.50                 | -                       |                          |
|         | 4   | 224.46                                    | 2.62                  | 1.93                  | -187.71                 | -                       |                          |
|         | 5   | 178.74                                    | 2.62                  | 1.93                  | -150.50                 | -                       |                          |
| Perm.   | 8,9 | 87.29                                     | 0.00                  | 0.00                  | -71.04                  | -                       | Sisma<br>Long.           |
| Vert. + | 8   | 14.66                                     | 0.00                  | 0.00                  | -11.93                  | -                       |                          |
| Vert. - | 9   | -14.66                                    | 0.00                  | 0.00                  | 11.93                   | -                       |                          |
| Orizz.  | 8,9 | 0.00                                      | 10.56                 | 0.00                  | -20.27                  | -                       |                          |

### AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO

Per il calcolo delle azioni trasmesse dal terreno si ricorda che nel cap. 5 si è assunto un peso specifico del terreno  $\gamma_t$  e un angolo di attrito interno  $\phi'$  pari a:

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

Si calcola poi il coeff. di spinta attiva  $K_a$  dalla relazione di Rankine come

$$K_a = 0.27099$$

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

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

Le azioni trasmesse dal terreno alla spalla sono la spinta attiva del terreno a tergo della spalla dovuta al peso del terreno  $\gamma_t$  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 al baricentro della sezione di spiccatto del muro frontale, si ha (con  $B_{tm}$  e  $H_m$  rispettivamente larghezza trasversale e altezza del muro frontale e con  $H_{par}$  altezza del muro paraghiaia):

| $B_{tm}$<br>(m) | $H_m$<br>(m) | $H_{par}$<br>(m) | $S_{a,t}$<br>(t) | $S_{a,s}$<br>(t) | $e_{Sa,t}$<br>(m) | $e_{Sa,s}$<br>(m) |
|-----------------|--------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 7.50            | 1.92         | 2.35             | 33.35            | 17.36            | 1.42              | 2.14              |

In caso di sisma longitudinale (il sisma trasversale non ha interesse per la verifica del muro frontale), si ha, ricordando il cap. 5,

$$\begin{aligned}
 C &= 0.07 & \theta &= \arctg(C) = 4.004^\circ \\
 i' &= i + \theta = 4.004^\circ \\
 \beta' &= \beta + \theta = 4.004^\circ \\
 \alpha &= 90^\circ - \beta' = 85.996^\circ \\
 \phi' &= 35^\circ
 \end{aligned}$$

Indicando con  $K_{a,s}$  il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche, si ha (vedi G. U. del 5/2/1996)

$$K_{a,s} = 0.3104$$

da cui si calcola un coefficiente orizzontale di spinta pari a

$$K_{a,s \text{ orizzontale}} = k_{a,s} \cdot \cos(\theta) = 0.3097$$

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

si ha

| $\Delta S_{a,t}$<br>(t) | $e_{\Delta Sa,t}$<br>(t*m) |
|-------------------------|----------------------------|
| 4.75                    | 2.85                       |

Riassumendo le varie azioni trasmesse dal terreno al muro frontale, sia in condizioni normali che di sisma longitudinale, considerate agenti al baricentro della sezione di spiccatto del muro, si ha:

Az. progetto

|                            | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|----------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Spinta attiva terreno      | 0.00             | 33.35                        | 0.00                         | -47.47                         | 0.00                           |
| Spinta attiva sovraccarico | 0.00             | 17.36                        | 0.00                         | -37.06                         | 0.00                           |
| Sisma long. orizzontale    | 0.00             | 4.75                         | 0.00                         | -13.52                         | 0.00                           |

### **AZIONI DOVUTE AL PESO PROPRIO**

Ricordando la geometria della spalla delineata nel cap. 4, e considerando tutte le azioni agenti al baricentro della sezione di spiccatto del muro di fondazione, risulta, per il peso del muro e del sovraccarico dovuto al paraghiaia, con el eccentricità longitudinale:

| <b>N<sub>muro</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>l,muro</sub><br/>(m)</b> | <b>N<sub>paragh</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>l,paragh</sub><br/>(m)</b> | <b>N<sub>soletta</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>l,soletta</sub><br/>(m)</b> | <b>N<sub>mensola</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>l,mensola</sub><br/>(m)</b> |
|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 54.14                           | 0.00                              | 22.03                             | 0.74                                | 9.00                               | -0.81                                | 0.99                               | -0.11                                |

In caso di sisma longitudinale, ricordando che risulta

| <b>S</b> | <b>C</b> | <b>K<sub>h</sub></b> | <b>K<sub>v</sub></b> |
|----------|----------|----------------------|----------------------|
| 9        | 0.07     | 0.1210               | 0.1680               |

si ha, indicando con  $e_v$  l'eccentricità verticale della forza d'inerzia del muro frontale+paraghiaia +soletta+mensola

| <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>e<sub>v</sub><br/>(t)</b> |
|------------------------------|------------------------------|
| 10.42                        | 1.56                         |

Riassumendo le varie azioni, sia in condizioni normali che di sisma, considerate agenti al baricentro della sezione di spiccatto del muro frontale, si ha:

Az. progetto

|                          | <b>N<br/>(t)</b> | <b>H<sub>l</sub><br/>(t)</b> | <b>H<sub>t</sub><br/>(t)</b> | <b>M<sub>l</sub><br/>(t*m)</b> | <b>M<sub>t</sub><br/>(t*m)</b> |
|--------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Peso proprio muro front. | 54.14            | 0.00                         | 0.00                         | 0.00                           | 0.00                           |
| Peso proprio paraghiaia  | 22.03            | 0.00                         | 0.00                         | 16.22                          | 0.00                           |
| Peso proprio soletta     | 9.00             | 0.00                         | 0.00                         | -7.32                          | 0.00                           |
| Peso proprio mensola     | 0.99             | 0.00                         | 0.00                         | -0.11                          | 0.00                           |
| Sisma long. orizzontale  | 0.00             | 10.42                        | 0.00                         | -16.30                         | 0.00                           |
| Sisma vert. + Incr. peso | 14.48            | 0.00                         | 0.00                         | 1.48                           | 0.00                           |
| Sisma vert. - Decr. peso | -14.48           | 0.00                         | 0.00                         | -1.48                          | 0.00                           |

## COMBINAZIONI DI CARICO DI TUTTE LE AZIONI

Sommando le azioni dovute al terreno e quelle derivanti dal peso proprio alle azioni trasmesse dall'impalcato, tutte riferite al baricentro della sezione di spiccato del muro frontale, si ha:

|                |     | AZIONI TOTALI rispetto al baricentro muro |                      |                      |                      |                      |                          |
|----------------|-----|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|                |     | <b>N</b>                                  | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b>   |     | <b>(t)</b>                                | <b>(t)</b>           | <b>(t)</b>           | <b>(t*m)</b>         | <b>(t*m)</b>         |                          |
|                | 1   | 173.46                                    | 53.33                | 4.87                 | -151.82              | -                    | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|                | 2   | 310.63                                    | 53.33                | 5.80                 | -263.46              | -                    |                          |
|                | 3   | 264.91                                    | 53.33                | 5.80                 | -226.24              | -                    |                          |
|                | 4   | 310.63                                    | 53.33                | 1.93                 | -263.46              | -                    |                          |
|                | 5   | 264.91                                    | 53.33                | 1.93                 | -226.24              | -                    |                          |
| <i>Perm.</i>   | 8,9 | 173.46                                    | 33.35                | 0.00                 | -109.73              | -                    | Sisma<br>Long.           |
| <i>Vert. +</i> | 8   | 29.14                                     | 0.00                 | 0.00                 | -10.46               | -                    |                          |
| <i>Vert. -</i> | 9   | -29.14                                    | 0.00                 | 0.00                 | 10.46                | -                    |                          |
| <i>Orizz.</i>  | 8,9 | 0.00                                      | 25.73                | 0.00                 | -50.10               | -                    |                          |

Per le combinazioni di carico sismiche la generica sollecitazione S si otterrà dalla combinazione quadratica delle componenti verticali e orizzontali dell'azione sismica:

$$S = (S_{perm} + \alpha(S_v^\beta + S_o^\beta)^{1/\beta})$$

dove  $\alpha = 1$  e  $\beta=1$  se le sollecitazioni del sisma verticale e orizzontale hanno segni differenti (oppure una delle due è nulla), mentre  $\alpha$  ha il segno delle sollecitazioni e  $\beta=2$  se le stesse hanno lo stesso segno.

Per la verifica del muro frontale si trascura il contributo irrigidente dei muri di risvolto; è così possibile considerare il muro stesso come due travi a T rovescia incastrate al piede, e verificarlo di conseguenza.

Per ciascuna delle due travi a T rovescia si ottiene:

|                |   | AZIONI su trave T rispetto al baricentro muro |                      |                      |                      |                      |                          |
|----------------|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|                |   | <b>N</b>                                      | <b>H<sub>l</sub></b> | <b>H<sub>t</sub></b> | <b>M<sub>l</sub></b> | <b>M<sub>t</sub></b> |                          |
| <b>COMB.</b>   |   | <b>(t/m)</b>                                  | <b>(t/m)</b>         | <b>(t/m)</b>         | <b>(t*m/m)</b>       | <b>(t*m/m)</b>       |                          |
|                | 1 | 86.73   | 26.66                | 2.44                 | -75.91               | -                    | Cond.<br>Norm.<br>Eserc. |
|                | 2 | 155.32  | 26.66                | 2.90                 | -131.73              | -                    |                          |
|                | 3 | 132.45  | 26.66                | 2.90                 | -113.12              | -                    |                          |
|                | 4 | 155.32  | 26.66                | 0.97                 | -131.73              | -                    |                          |
|                | 5 | 132.45  | 26.66                | 0.97                 | -113.12              | -                    |                          |
| <i>Vert. +</i> | 8 | 101.30  | 29.54                | 0.00                 | -80.45               | -                    | Sisma<br>Long.           |
| <i>Vert. -</i> | 9 | 72.16   | 29.54                | 0.00                 | -74.68               | -                    |                          |

## VERIFICHE DEGLI ELEMENTI DELLA SPALLA

### VERIFICA MURO FRONTALE

Segue la verifica a pressoflessione per le varie combinazioni di carico:

|                                  |        |                 |
|----------------------------------|--------|-----------------|
| Altezza totale sezione           | 260.00 | cm              |
| Altezza ala                      | 100.00 | cm              |
| Larghezza anima                  | 140.00 | cm              |
| Larghezza ala                    | 375.00 | cm              |
| Copriferro armatura compressa    | 5.00   | cm              |
| Copriferro armatura tesa         | 5.00   | cm              |
| Coefficiente di omogeneizzazione | 15.00  |                 |
| Area armatura compressa          | 30.00  | cm <sup>2</sup> |
| Area armatura tesa               | 160.00 | cm <sup>2</sup> |

Si ricorda che risulta

|                              |       |                    |
|------------------------------|-------|--------------------|
| Tensione ammissibile cls     | 122.5 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione ammissibile acciaio | 2 600 | kg/cm <sup>2</sup> |

#### *Combinazione 1*

|                   |        |     |
|-------------------|--------|-----|
| Momento flettente | -75.91 | t*m |
| Sforzo normale    | 86.73  | t   |

#### Sezione parzializzata

|                                      |        |                    |
|--------------------------------------|--------|--------------------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 215.96 | cm                 |
| Tensione max cls                     | 5.15   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | -13.97 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | 75.52  | kg/cm <sup>2</sup> |

#### *Combinazione 2*

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| Momento flettente | -131.73 | t*m |
| Sforzo normale    | 155.32  | t   |

#### Sezione parzializzata

|                                      |        |                    |
|--------------------------------------|--------|--------------------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 219.50 | cm                 |
| Tensione max cls                     | 8.97   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | -21.77 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | 131.52 | kg/cm <sup>2</sup> |

### Combinazione 3

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| Momento flettente | -113.12 | t*m |
| Sforzo normale    | 132.45  | t   |

#### Sezione parzializzata

|                                      |        |                    |
|--------------------------------------|--------|--------------------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 218.72 | cm                 |
| Tensione max cls                     | 7.70   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | -19.16 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | 112.85 | kg/cm <sup>2</sup> |

### Combinazione 4

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| Momento flettente | -131.73 | t*m |
| Sforzo normale    | 155.32  | t   |

#### Sezione parzializzata

|                                      |        |                    |
|--------------------------------------|--------|--------------------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 219.50 | cm                 |
| Tensione max cls                     | 8.97   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | -21.77 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | 131.52 | kg/cm <sup>2</sup> |

### Combinazione 5

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| Momento flettente | -113.12 | t*m |
| Sforzo normale    | 132.45  | t   |

#### Sezione parzializzata

|                                      |        |                    |
|--------------------------------------|--------|--------------------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 218.72 | cm                 |
| Tensione max cls                     | 7.70   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | -19.16 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | 112.85 | kg/cm <sup>2</sup> |

### Combinazione 8

|                   |        |     |
|-------------------|--------|-----|
| Momento flettente | -80.45 | t*m |
| Sforzo normale    | 101.30 | t   |

#### Sezione parzializzata

|                                      |        |                    |
|--------------------------------------|--------|--------------------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 226.78 | cm                 |
| Tensione max cls                     | 5.53   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | -10.32 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | 81.08  | kg/cm <sup>2</sup> |

## Combinazione 9

|                   |        |     |
|-------------------|--------|-----|
| Momento flettente | -74.68 | t*m |
| Sforzo normale    | 72.16  | t   |

### Sezione parzializzata

|                                      |        |                    |
|--------------------------------------|--------|--------------------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 196.76 | cm                 |
| Tensione max cls                     | 5.04   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | -22.39 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | 73.72  | kg/cm <sup>2</sup> |

Riassumendo per le varie combinazioni si ha

|                  | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 8     | 9     |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $y_n$            | 216.0 | 219.5 | 218.7 | 219.5 | 218.7 | 226.8 | 196.8 |
| $\sigma_{c,max}$ | 5.2   | 9.0   | 7.7   | 9.0   | 7.7   | 5.5   | 5.0   |
| $\sigma_{a,t}$   | -14.0 | -21.8 | -19.2 | -21.8 | -19.2 | -10.3 | -22.4 |
| $\sigma_{a,c}$   | 75.5  | 131.5 | 112.8 | 131.5 | 112.8 | 81.1  | 73.7  |

dove  $y_n$  è la distanza dell'asse neutro dal lembo compresso ("--" se la sezione è interamente reagente e compressa),  $\sigma_{c,max}$  è la tensione massima nel cls,  $\sigma_{a,t}$  e  $\sigma_{a,c}$  le tensioni rispettivamente nell'armatura tesa e compressa ("--" se la sezione è interamente reagente e compressa).

## VERIFICA MURO PARAGHIAIA

La verifica viene fatta sia per la condizione di esercizio, che per quella sismica.

### ### Condizione di esercizio

Il muro paraghiaia è sollecitato dalla spinta attiva del terreno e del sovraccarico  $q_s$  su questo. Vanno inoltre considerate le azioni di un asse che freni sul paraghiaia e le azioni eventualmente trasmesse dall'impalcato.

Per quanto riguarda la spinta attiva del terreno  $S_{a,t}$  e del sovraccarico  $S_{a,s}$  si ha, indicando con  $e_{Sa,t}$  e  $e_{Sa,s}$  le eccentricità di tali forze rispetto al baricentro della base del muro paraghiaia

$$\gamma_t = 1.80 \quad t/m^3 \qquad \phi' = 35^\circ \qquad q_s = 2.00 \quad t/m^2$$

$$K_a = 0.27099$$

| $B_{tpar}$<br>(m) | $H_{par}$<br>(m) | $S_{a,t}$<br>(t) | $S_{a,s}$<br>(t) | $e_{Sa,t}$<br>(m) | $e_{Sa,s}$<br>(m) |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 7.50              | 2.35             | 10.10            | 9.55             | 0.78              | 1.18              |

Riportando tali azioni a metro lineare di muro e calcolando il momento  $M_{11}$  rispetto alla base del muro paraghiaia, risulta

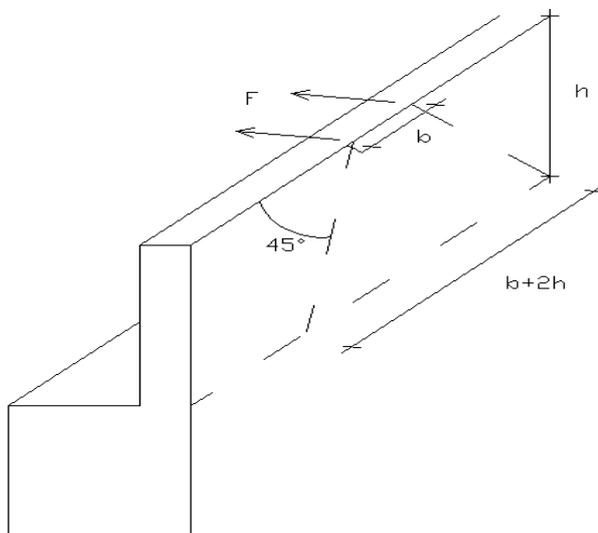
| $S_{a,t}$<br>(t/m) | $S_{a,s}$<br>(t/m) | $e_{Sa,t}$<br>(m) | $e_{Sa,s}$<br>(m) | $M_{11}$<br>(t*m/m) |
|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| 1.35               | 1.27               | 0.78              | 1.18              | -2.55               |

Per quanto riguarda l'azione di frenatura sul paraghiaia e sul terreno subito retrostante, la normativa prescrive che la forza di frenatura sia pari al 20% del carico  $q_{1a}$ , pari a tre assi da 20 t, ovvero a 4 t per asse. Ai fini della verifica si trascura l'asse più lontano dal paraghiaia, considerando dunque l'asse gravante sul paraghiaia e l'asse retrostante gravante sul terreno, a distanza di 1,5 m dal primo. Si assume una ripartizione degli sforzi a  $45^\circ$  all'interno del muro, e a  $60^\circ$  nel terreno.

Indicando con  $H_{par}$  l'altezza del muro paraghiaia, con  $F$  la forza di frenatura e con  $b$  l'interasse delle due ruote di un asse, si trova per l'asse che frena sul paraghiaia un momento  $M_{12}$  per unità di lunghezza del muro, rispetto alla base dello stesso, pari a:

$$H_{par} = 2.35 \text{ m} \qquad F = 4.00 \text{ t} \qquad b = 2.00 \text{ m}$$

$$M_{12} = (F * H_{par}) / (b + 2 * H_{par}) = -1.40 \text{ t*m/m}$$



Per quanto riguarda l'asse che frena sul rilevato retrostante il muro, a distanza di  $a = 1,5$  m dall'asse sul paraghiaia, si trova una impronta sul muro paraghiaia alta  $a * \text{tg}(30^\circ) = 0,8655$  m e larga  $b + 2 * a * \text{tg}(30^\circ) = 2,00 + 2 * 1,5 * \text{tg}(30^\circ) = 3,732$  m. A sua volta tale impronta di sforzi si diffonde a  $45^\circ$  nel muro paraghiaia, per cui si trova una impronta alla base del muro pari a

$$L_{impronta} = 2 * (H_{par} - 0,8655/2) * \text{tg}(45^\circ) + 3,732 = 7.57 \text{ m}$$



In totale per il momento longitudinale  $M_l$  si ha, con  $B_{l,p}$  larghezza del muro paraghiaia:

$$M_l = M_{l1} + M_{l2} + M_{l3} + (M_f + M_{attr}) / B_{l,p} = -4.97 \quad t^*m/m$$

Si ha poi uno sforzo normale  $N$  per unità di larghezza dovuto al peso proprio del muro e al peso dell'asse che frena sul muro (20 t) ripartito su una larghezza pari a  $b + 2 * H_{par}$

$$N = 5.92 \quad t/m$$

### ### Condizione sismica

Il muro paraghiaia è sollecitato dalla spinta attiva del terreno e dalle azioni dall'impalcato.

Per quanto riguarda la spinta attiva del terreno  $S_{a,t \text{ sism}}$  in condizioni sismiche si ha:

$$\begin{aligned} C &= 0.07 & \theta &= \arctg(C) = 4.004^\circ \\ i' = i + \theta &= 4.004^\circ \\ \beta' = \beta + \theta &= 4.004^\circ \\ \alpha &= 90^\circ - \beta' : 85.996^\circ \\ \phi' &= 35^\circ \end{aligned}$$

Indicando con  $K_{a,s}$  il coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche, si ha (vedi G. U. del 5/2/1996)

$$K_{a,s} = 0.3104$$

da cui si calcola un coefficiente orizzontale di spinta pari a

$$K_{a,s \text{ orizzontale}} = k_{a,s} * \cos(\theta) = 0.3097$$

per cui, con  $e$  eccentricità dell'azione orizzontale  $S_{a,t \text{ sism}}$  rispetto agli appoggi (spiccato paraghiaia) e con  $M_{l1}$  il momento di tale azione per unità di lunghezza del muro:

| $B_{tpar}$<br>(m) | $H_{par}$<br>(m) | $S_{a,t \text{ sism}}$<br>(t) | $e$<br>(m) | $M_{l1}$<br>(t*m/m) |
|-------------------|------------------|-------------------------------|------------|---------------------|
| 7.50              | 2.35             | 11.54                         | 1.57       | -2.41               |

Per quanto riguarda le azioni trasmesse dall'impalcato  $H_{s,sism}$  in condizioni sismiche, indicando con  $e$  l'eccentricità di tale azione rispetto agli appoggi (spiccato paraghiaia) e con  $M_{sism}$  il momento di tale azione per unità di lunghezza, si ha:

| $H_{s,sism}$<br>(t) | $e$<br>(m) | $M_{sism}$<br>(t*m/m) |
|---------------------|------------|-----------------------|
| 10.56               | 0.00       | 0.00                  |

In totale per il momento longitudinale  $M_l$  si ha:

$$M_l = M_{l1} + M_{sism} = -2.41 \quad t^*m/m$$

Si ha poi uno sforzo normale  $N$  per unità di larghezza dovuto al peso proprio del muro + il decremento di peso dovuto al sisma verticale (condizione più sfavorevole per la verifica a pressoflessione).

$$N = 2.44 \quad t/m$$

Segue la verifica a pressoflessione:

|                               |        |                 |
|-------------------------------|--------|-----------------|
| Altezza totale della sezione  | 50.00  | cm              |
| Larghezza sezione             | 100.00 | cm              |
| Copriferro armatura tesa      | 5.00   | cm              |
| Copriferro armatura compressa | 5.00   | cm              |
| coeff. omogeneizzazione $n$   | 15     |                 |
| Area armatura tesa            | 26.55  | cm <sup>2</sup> |
| Area armatura compressa       | 26.55  | cm <sup>2</sup> |

### Condizioni di esercizio

|                                      |         |                    |
|--------------------------------------|---------|--------------------|
| Sezione parzializzata                |         |                    |
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 16.56   | cm                 |
| Tensione max cls                     | 14.05   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | 361.95  | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | -147.06 | kg/cm <sup>2</sup> |

### Condizioni sismiche

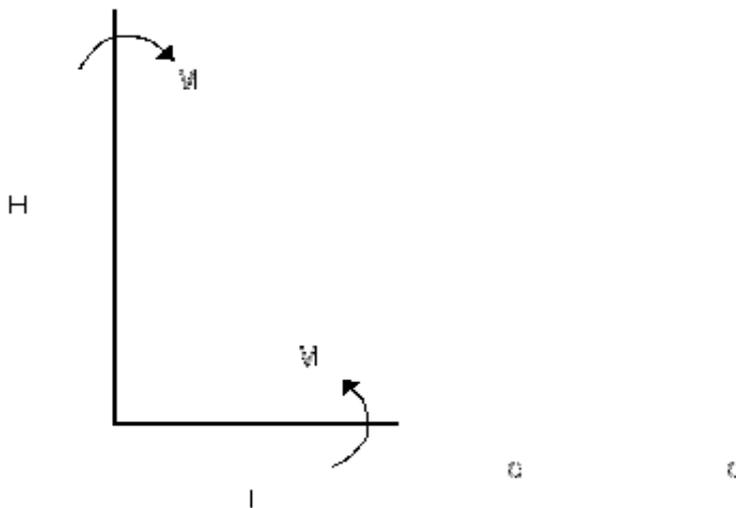
|                                      |        |                    |
|--------------------------------------|--------|--------------------|
| Sezione parzializzata                |        |                    |
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 16.07  | cm                 |
| Tensione max cls                     | 6.77   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | 182.86 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | -69.97 | kg/cm <sup>2</sup> |

## VERIFICA MURI DI RISVOLTO

Lo schema di calcolo è quello di piastra incastrata su due lati (quello inferiore e quello laterale a contatto con il muro frontale). Si analizza la condizione normale di esercizio, con i muri caricati dalla spinta attiva del sovraccarico  $q_1$  e del terreno  $q_2$ .

Indicando con  $K_a$  il coeff. di spinta attiva, con  $q_s$  il sovraccarico, con  $H_r$  l'altezza del muro di risvolto e con  $L_r$  la sua larghezza, si ha:

$$\begin{aligned}q_1 &= q_s * K_a = 0.54 \quad \text{t/m}^2 \\ q_2 &= \gamma_t * K_a * H_r = 2.08 \quad \text{t/m}^2\end{aligned}$$



Per il calcolo dei momenti flettenti, si adottano le tabelle contenute nel Bares. Quale coefficiente dimensionale si ha:

$$\gamma = L_r / H_r = 0.749$$

Utilizzando le tabelle del Bares 1.41 per il carico  $q_1$  e 1.97 per il carico  $q_2$  si ottiene, indicando con  $M_b$  il momento e con  $N_b$  la forza di compressione dovuta al peso proprio all'estradosso della platea :

$$\begin{aligned}M_b &= -5.45 \quad \text{t*m/m} \\ N_b &= 10.675 \quad \text{t/m}\end{aligned}$$

Segue la verifica a pressoflessione della sezione

|                                |        |    |
|--------------------------------|--------|----|
| Altezza totale della sezione   | 100.00 | cm |
| Larghezza sezione              | 100.00 | cm |
| Copri ferro armatura tesa      | 5.00   | cm |
| Copri ferro armatura compressa | 5.00   | cm |
| coeff. omogeneizzazione n      | 15     |    |

|                         |       |                 |
|-------------------------|-------|-----------------|
| Area armatura tesa      | 15.70 | cm <sup>2</sup> |
| Area armatura compressa | 10.05 | cm <sup>2</sup> |

#### Sezione parzializzata

|                                      |        |                    |
|--------------------------------------|--------|--------------------|
| Dist. asse neutro da lembo compresso | 40.57  | cm                 |
| Tensione max cls                     | 5.79   | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura tesa               | 116.45 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione armatura compressa          | -76.10 | kg/cm <sup>2</sup> |

Si ricorda che risulta

|                              |       |                    |
|------------------------------|-------|--------------------|
| Tensione ammissibile cls     | 122.5 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Tensione ammissibile acciaio | 2 600 | kg/cm <sup>2</sup> |

Per il momento  $M_l$  orizzontale si ottiene nella sezione di incastro con il muro frontale il valore max:

$$M_l = -3.71 \text{ t}\cdot\text{m/m}$$

Segue la verifica a flessione semplice della sezione

| Dati di calcolo | $M_{ver}$<br>(t*m/m) | $S_{pr}$<br>(cm) | $c^{tesa}$<br>(cm) | $c^{compr}$<br>(cm) | coeff.<br>omogen | $A_f^{tesa}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) | $A_f^{compr}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) |
|-----------------|----------------------|------------------|--------------------|---------------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
|                 | -3.71                | 100.00           | 5                  | 5                   | 15               | 15.7                                 | 10.05                                 |

| Risultati | $y_n$<br>(cm) | $\sigma_c$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{c,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{at}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{ac}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{a,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|---------------|-------------------------------------|---|--|--|---|
|           | 17.988        | 4.1                                 | 122.5                                     | 265.4                                  | -44.8                                  | 2 600.0                                   |

Legenda dati di calcolo:

$M_{ver}$  = momento flettente.

$H_p$  = altezza totale della sezione di verifica

$c^{tesa}$  = copriferro arm. tesa (al baricentro ferro)

$c^{comp}$  = copriferro arm. compressa (al baricentro ferro)

$A_f^{tesa}$  = armatura all'intradosso orecchia (parte tesa)

$A_f^{comp}$  = armatura all'estradosso orecchia (parte compressa)

Legenda risultati:

$y_n$  = distanza asse neutro dal lembo compresso

$\sigma_c$  = tensione massima nel calcestruzzo

$\sigma_{c,amm}$  = tensione ammissibile nel calcestruzzo       $R_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{at}$  = tensione nell'armatura tesa

$\sigma_{ac}$  = tensione nell'armatura compressa

$\sigma_{a,amm}$  = tensione ammissibile nell'armatura

## VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE

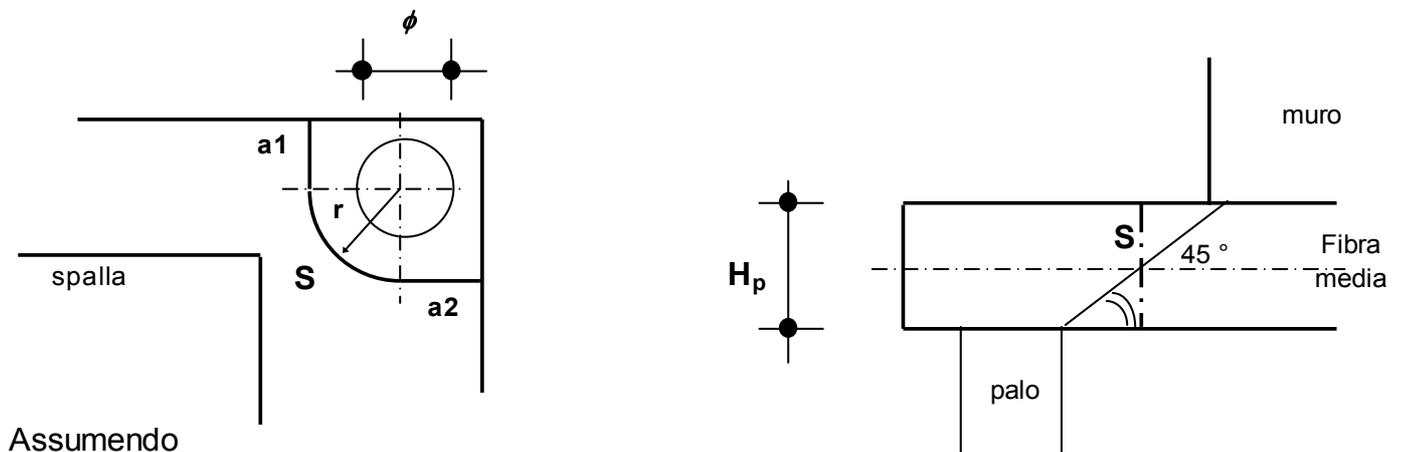
### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

Si verifica lo sforzo tangenziale sulla porzione anteriore della platea di fondazione (quella davanti al muro frontale) causato dal carico assiale presente sui pali trascurando, a favore di sicurezza, il contributo favorevole offerto dal peso proprio della platea.

E' analizzata la reazione esercitata dal palo di angolo più sollecitato (vedi par. 6.01):

$$\text{Reazione max palo d'angolo} \quad N_{p,\max} = 160.718 \text{ t}$$

Si ipotizza una distribuzione a 45° del carico sullo spessore della platea e si assume una superficie resistente al taglio definita dall'intersezione del cono a 45° di detta distribuzione con la fibra media:



Assumendo

$$\begin{aligned} a_1 &= 1.00 \text{ m} \\ a_2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 1.40 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a_1 + \pi \cdot r / 2 + a_2) = 6.72 \text{ m}^2$$

La tensione tangenziale  $\tau_{cls}$  nel calcestruzzo è poi pari a

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 2.39 \text{ kg/cm}^2$$

Tale valore va confrontato con i valori  $\tau_{c0}$  e  $\tau_{c1}$  di normativa, che per un calcestruzzo di fondazione è pari a:

$$\begin{aligned} R_{ck} \text{ fondazione} &= 400 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c0} &= 7.33333 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c1} &= 21.1429 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

### ### VERIFICA DELLA PLATEA DAVANTI AL MURO DI FONDAZIONE

La sporgenza  $S_p$  della platea oltre il muro di fondazione è pari a:

$$S_p = 2.30 \text{ m}$$

La verifica viene effettuata considerando il momento esercitato dall'azione N del palo anteriore più sollecitato rispetto al muro frontale:

$$N = 160.72 \text{ t}$$

Tale forza ha una eccentricità rispetto al filo anteriore del muro frontale pari a:

$$e = 1.30 \text{ m}$$

Operando poi una diffusione all'interno della platea a  $45^\circ$  dello sforzo normale N si ottiene una larghezza collaborante pari a:

$$b_{\text{collab.}} = 3.3 \text{ m}$$

Il momento flettente di verifica  $M_{\text{ver}}$  si ottiene sottraendo al momento dato dall'azione N del palo anteriore più sollecitato il momento dato dal peso proprio della striscia di larghezza unitaria di platea davanti al muro di fondazione, con  $H_p$  spessore della platea:

$$M_{\text{ver}} = N \cdot e / b_{\text{collab.}} - \gamma_{\text{cls}} \cdot H_p \cdot S_p^2 / 2 = 52.73 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m}$$

Segue la verifica a flessione semplice della sezione

| Dati di calcolo | $M_{\text{ver}}$<br>(t*m/m) | $H_p$<br>(cm) | $c^{\text{tesa}}$<br>(cm) | $c^{\text{compr}}$<br>(cm) | Coeff.<br>omogen | $A_f^{\text{tesa}}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) | $A_f^{\text{compr}}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) |
|-----------------|-----------------------------|---------------|---------------------------|----------------------------|------------------|---|--|
|                 | 52.73                       | 160           | 5                         | 5                          | 15               | 53.09                                       | 26.55  |

| Risultati | $y_n$<br>(cm) | $\sigma_c$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{c,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{at}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{ac}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{a,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|---------------|-------------------------------------|---|--|--|---|
|           | 39.544        | 15.9                                | 122.5                                     | 694.4                                  | -207.8                                 | 2 600.0                                   |

Legenda dati di calcolo:

$M_{\text{ver}}$  = momento flettente max.

$H_p$  = altezza totale della sezione di verifica

$c^{\text{tesa}}$  = copriferro arm. tesa (al baricentro ferro)

$c^{\text{compr}}$  = copriferro arm. compressa (al baricentro ferro)

$A_f^{\text{tesa}}$  = area armatura tesa

$A_f^{\text{compr}}$  = area armatura compressa

### Legenda risultati:

$y_n$  = distanza asse neutro dal lembo compresso

$\sigma_c$  = tensione massima nel calcestruzzo

$\sigma_{c,amm}$  = tensione ammissibile nel calcestruzzo       $R_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{at}$  = tensione nell'armatura tesa

$\sigma_{ac}$  = tensione nell'armatura compressa

$\sigma_{a,amm}$  = tensione ammissibile nell'armatura

Per la verifica al taglio, considerando la vicinanza con la sezione d'incastro il carico tagliante si ottiene attraverso una riduzione pari al rapporto fra distanza e altezza utile della sezione (vedi art. 5.1.2.1.6.3 D.M. 14/09/05)

$$T = N^{rid} / b_{collab.} - \gamma_{cls} * H_p * S_p = 11.22 \text{ t/m}$$

da cui:

$$\tau_{cls} = T/A = 0.8 \text{ kg/cm}^2$$

Tale valore va confrontato con i valori  $\tau_{c0}$  e  $\tau_{c1}$  di normativa, che per un calcestruzzo di fondazione è pari a:

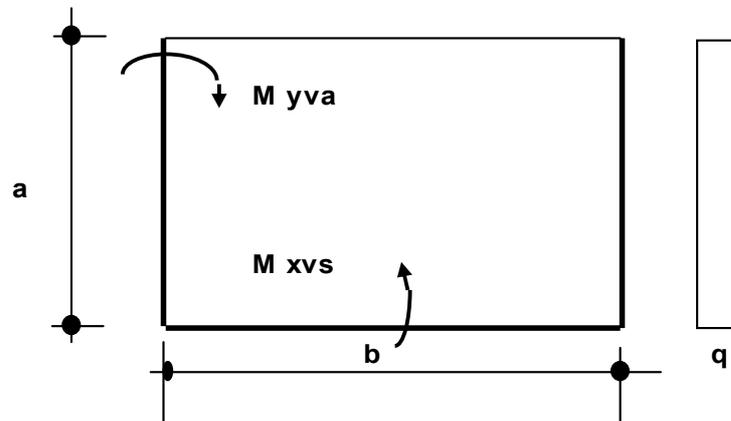
$$R_{ck} \text{ fondazione} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{c0} = 7.33333 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{c1} = 21.1429 \text{ kg/cm}^2$$

### ### VERIFICA DELLA PLATEA DIETRO IL MURO DI FONDAZIONE

Lo schema di calcolo è quello di piastra incastrata su tre lati e caricata dal contributo di carico  $q$  dato dalla differenza tra terreno portato, peso proprio e reazione dei pali. Si analizza sia la condizione di esercizio che quella sismica, adottando le tabelle contenute nel Bares.



con

$$a = 3.20 \text{ m} \qquad b = 7.60 \text{ m}$$

Pali con effetto flettente rispetto alla platea di fondazione: **4, 5, 6**  
Area d'influenza:  $a' = 3.2 \text{ m}$   $b' = 7.60 \text{ m}$

Per il terreno portato si ha :

$$q_{\text{terreno}} = \gamma_t * (H_m + H_{\text{par}}) = 7.69 \text{ t/m}^2$$

Per il sovraccarico  $q_s$  sul terreno risulta:

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

Per il carico  $q_{\text{platea}}$  della platea risulta infine, con  $H_p$  spessore della platea:

$$q_{\text{platea}} = \gamma_{\text{cls}} * H_p = 4.00 \text{ t/m}^2$$

### ### Condizione di esercizio

Si considerano le verifiche sia con il massimo che con il minimo carico verticale sui pali:

a) - Max. carico verticale sui pali

Per la reazione dei pali si ha:

$$\begin{aligned}\sum N_{\text{pali}} &= 349.6 \text{ t} \\ q_{\text{pali}} &= \sum N_{\text{pali}} / (a' * b') = 14.38 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

da cui si ottiene il carico risultante:

$$q_1 = q_{\text{terreno}} + q_s + q_{\text{platea}} - q_{\text{pali}} = -0.69 \text{ t/m}^2 \qquad 14.38$$

b) - Min. carico verticale sui pali

Per la reazione dei pali si ha:

$$\begin{aligned}\sum N_{\text{pali}} &= 334.4 \text{ t} \\ q_{\text{pali}} &= \sum N_{\text{pali}} / (a' * b') = 13.75 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

da cui si ottiene il carico risultante:

$$q_2 = q_{\text{terreno}} + q_s + q_{\text{platea}} - q_{\text{pali}} = -0.06 \text{ t/m}^2$$

### ### Condizione sismica

Per la condizione sismica interessa il solo sisma longitudinale, ovvero le combinazioni di carico 8 (che comprende il sisma verticale con incremento dei pesi) e 9 (che comprende il sisma verticale con decremento dei pesi)

a) - Combinazione di carico 8 (incremento pesi)

Per la reazione dei pali si ha:

$$\begin{aligned}\sum N_{\text{pali}} &= 352.0 \text{ t} \\ q_{\text{pali}} &= \sum N_{\text{pali}} / (a' * b') = 14.47 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

tale reazione va sommata al carico del terreno e della platea moltiplicati per il fattore  $(1+K_v)$ , che consente di tenere conto del sisma verticale positivo, con incremento dei pesi.

Il carico risultante è dunque:

$$q_3 = (q_{\text{terreno}} + q_{\text{platea}}) * (1+K_v) - q_{\text{pali}} = -0.82 \text{ t/m}^2$$

b) - Combinazione di carico 9 (decremento pesi)

Per la reazione dei pali si ha:

$$\begin{aligned}\Sigma N_{\text{pali}} &= 240.3 \quad \text{t} \\ q_{\text{pali}} = \Sigma N_{\text{pali}} / (a' * b') &= 9.88 \quad \text{t/m}^2\end{aligned}$$

tale reazione va sommata al carico del terreno e della platea moltiplicati per il fattore  $(1-K_v)$ , che consente di tenere conto del sisma verticale negativo, con decremento dei pesi.

Il carico risultante è dunque:

$$q_4 = (q_{\text{terreno}} + q_{\text{platea}}) * (1 - K_v) - q_{\text{pali}} = 1.81 \quad \text{t/m}^2$$

La verifica a flessione della platea va fatta sia nei riguardi del carico risultante massimo,  $q_{\text{max}}$ , sia del carico risultante minimo,  $q_{\text{min}}$

$$\begin{aligned}q_{\text{max}} &= 1.81 \quad \text{t/m}^2 \\ q_{\text{min}} &= -0.82 \quad \text{t/m}^2\end{aligned}$$

Come coefficiente dimensionale per la tabella 1.35 del Bares risulta:

$$\gamma = a/b = 0.42105$$

**Per il carico  $q=q_{\text{max}}$  si ha**

(momento negativo se tende le fibre superiori)

|             |   |       |       |
|-------------|---|-------|-------|
| $M_{yva} =$ | M trasv. di bordo all'incastro muri di risvolto | -6.05 | t*m/m |
| $M_{xvs} =$ | M longitudinale all'incastro muro frontale      | -4.84 | t*m/m |
| $M_{yas} =$ | M trasv. di bordo a centro lastra               | 2.01  | t*m/m |
| $M_{xs} =$  | M longitudinale a centro lastra                 | 0.01  | t*m/m |

Segue il calcolo dell'armatura di verifica:

coeff. omogeneizzazione = 15

| Dati di calcolo | Arm. di verifica | sez.     | $M_{ver}$<br>(t*m/m) | $H_p$<br>(cm) | $c^{tesa}$<br>(cm) | $c^{compr}$<br>(cm) | $A_f^{tesa}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) | $A_f^{compr}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) |
|-----------------|------------------|----------|----------------------|---------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
|                 | Arm. trasversale | incastro | -6.05                | 160           | 7.5                | 7.5                 | 26.55                                | 26.55                                 |
|                 | Arm. longitud.   | incastro | -4.84                | 160           | 5                  | 5                   | 26.55                                | 26.55                                 |
|                 | Arm. trasversale | centro   | 2.01                 | 160           | 7.5                | 7.5                 | 26.55                                | 26.55                                 |
|                 | Arm. longitud.   | centro   | 0.01                 | 160           | 5                  | 5                   | 26.55                                | 26.55                                 |

| Risultati | Arm. di verifica | sez.     | $y_n$<br>(cm) | $\sigma_c$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{c,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{at}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{ac}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{a,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------|----------|---------------|-------------------------------------|---|--|--|---|
|           | Arm. trasversale | incastro | 21.573        | 3.4                                 | 122.5                                     | 156.8                                  | -16.8                                  | 2 600                                     |
|           | Arm. longitud.   | incastro | 21.573        | 2.7                                 | 122.5                                     | 123.2                                  | -15.3                                  | 2 600                                     |
|           | Arm. trasversale | centro   | 21.573        | 1.1                                 | 122.5                                     | 52.2                                   | -5.6                                   | 2 600                                     |
|           | Arm. longitud.   | centro   | 21.573        | 0.0                                 | 122.5                                     | 0.4                                    | 0.0                                    | 2 600                                     |

Per il carico  $q=q_{min}$  si ha

(momento negativo se tende le fibre superiori)

|   |       |       |
|---|-------|-------|
| $M_{yva}$ = M trasv. di bordo all'incastro muri di risvolto | 2.76  | t*m/m |
| $M_{xvs}$ = M longitudinale all'incastro muro frontale      | 2.21  | t*m/m |
| $M_{yas}$ = M trasv. di bordo a centro lastra               | -0.92 | t*m/m |
| $M_{xs}$ = M longitudinale a centro lastra                  | -0.01 | t*m/m |

Segue il calcolo dell'armatura di verifica:

coeff. omogeneizzazione = 15

| Dati di calcolo | Arm. di verifica | sez.     | $M_{ver}$<br>(t*m/m) | $H_p$<br>(cm) | $c^{tesa}$<br>(cm) | $c^{compr}$<br>(cm) | $A_f^{tesa}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) | $A_f^{compr}$<br>(cm <sup>2</sup> /m) |
|-----------------|------------------|----------|----------------------|---------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
|                 | Arm. trasversale | incastro | 2.76                 | 160           | 7.5                | 7.5                 | 26.55                                | 26.55                                 |
|                 | Arm. longitud.   | incastro | 2.21                 | 160           | 5                  | 5                   | 26.55                                | 26.55                                 |
|                 | Arm. trasversale | centro   | -0.92                | 160           | 7.5                | 7.5                 | 26.55                                | 26.55                                 |
|                 | Arm. longitud.   | centro   | -0.01                | 160           | 5                  | 5                   | 26.55                                | 26.55                                 |

| Risultati | Arm. di verifica | sez.     | $y_n$<br>(cm) | $\sigma_c$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{c,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{at}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{ac}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{a,amm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------|----------|---------------|-------------------------------------|---|--|--|---|
|           | Arm. trasversale | incastro | 21.573        | 1.6                                 | 122.5                                     | 71.5                                   | -7.7                                   | 2 600                                     |
|           | Arm. longitud.   | incastro | 21.573        | 1.2                                 | 122.5                                     | 56.2                                   | -7.0                                   | 2 600                                     |
|           | Arm. trasversale | centro   | 21.573        | 0.5                                 | 122.5                                     | 23.8                                   | -2.6                                   | 2 600                                     |
|           | Arm. longitud.   | centro   | 21.573        | 0.0                                 | 122.5                                     | 0.2                                    | 0.0                                    | 2 600                                     |

Legenda dati di calcolo:

$M_{ver}$  = momento flettente max.

$H_p$  = altezza totale della sezione di verifica

$c^{tesa}$  = copriferro arm. tesa (al baricentro ferro)

$c^{compr}$  = copriferro arm. compressa (al baricentro ferro)

$A_f^{tesa}$  = area armatura tesa

$A_f^{compr}$  = area armatura compressa

Legenda risultati:

$y_n$  = distanza asse neutro dal lembo compresso

$\sigma_c$  = tensione massima nel calcestruzzo

$\sigma_{c,amm}$  = tensione ammissibile nel calcestruzzo       $R_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$

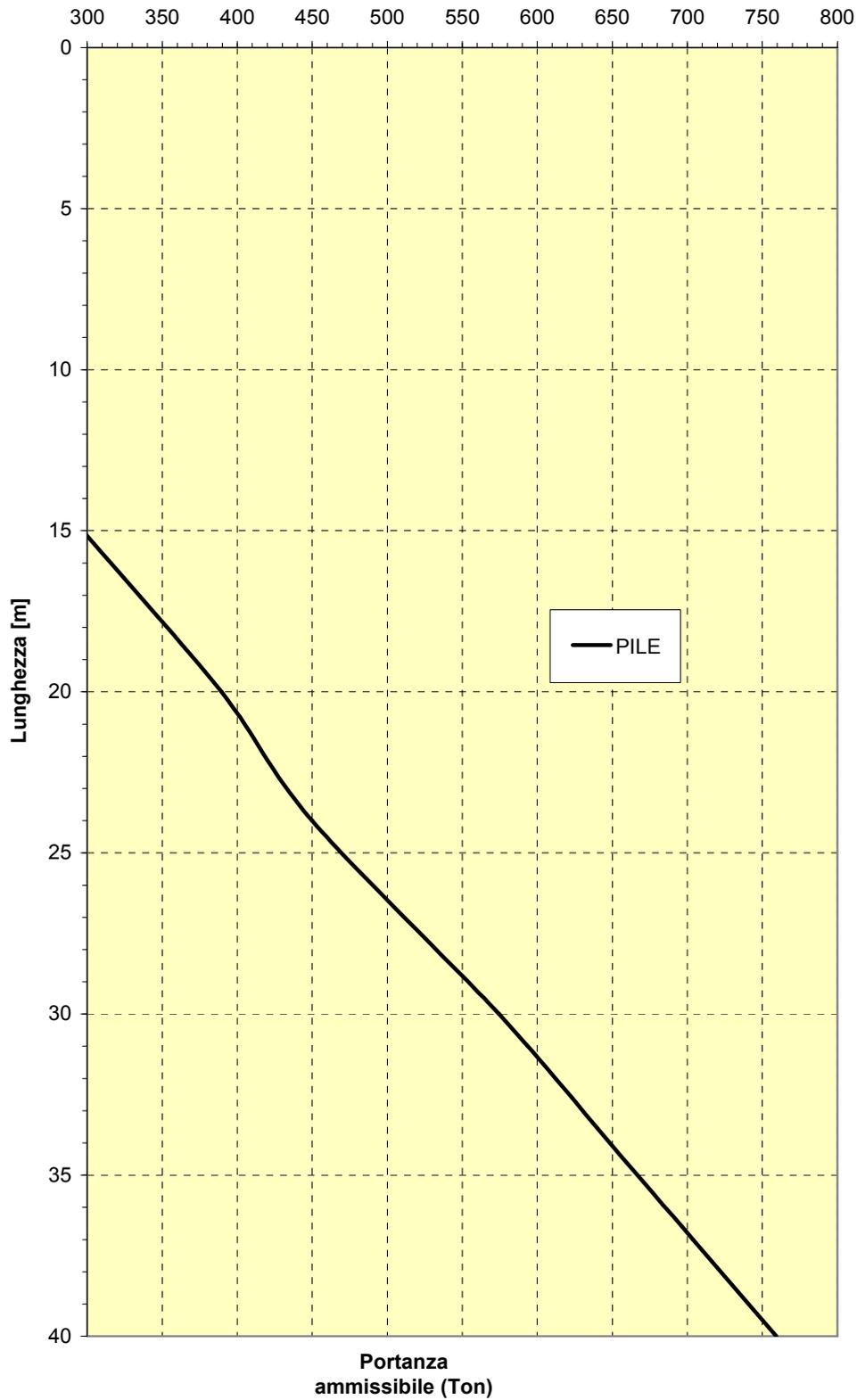
$\sigma_{at}$  = tensione nell'armatura tesa

$\sigma_{ac}$  = tensione nell'armatura compressa

$\sigma_{a,amm}$  = tensione ammissibile nell'armatura

# DIAGRAMMI DI PORTANZA DEI PALI

DIAGRAMMA DI PORTANZA  
PALO SINGOLO DN1500  
VIADOTTO VI15 - SALSO - FONDAZIONI PILE



**DIAGRAMMA DI PORTANZA  
PALO SINGOLO DN1200**

