



# ANAS S.p.A.

Direzione Centrale Programmazione Progettazione

## 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

*Dott. Ing. Massimiliano Fidenzi*

VISTO: IL RESPONSABILE DEL  
SERVIZIO PROGETTAZIONE

*Dott. Ing. Antonio Valente*

DATA

PROTOCOLLO

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

VIADOTTO SALSO-CARR. DX ADEGUAMENTO STRUTTURA ESISTENTE  
RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO – PILE, SPALLE E FONDAZIONI

CODICE PROGETTO		NOME FILE	REVISIONE	FOGLIO	SCALA:
L0407B D 0501		P01VI15STRRE04 A.pdf			
CODICE ELAB.		P01VI15STRRE04	A	01 di 01	
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	Ottobre 2006	P. Polani	F. Arciuli	C. Marro
REV.	DESCRIZIONE	DATA	VERIFICATO RESP. TECNICO	CONTROLLATO RESP. D'ITINERARIO	APPROVATO RESP. DI SETTORE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	3
1. PREMESSA.....	4
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	6
3. MATERIALI.....	8
4. DURABILITA' DEI CALCESTRUZZI.....	11
4.1 Generalità .....	11
4.2 Attribuzione delle classi d'esposizione.....	11
4.3 Composizione e proprietà dei calcestruzzi.....	12
5. CRITERI DI ANALISI DELLA SICUREZZA.....	13
6. LIVELLI DI SICUREZZA E COMBINAZIONI DEI CARICHI .....	13
7. SCHEMATIZZAZIONE DELLE AZIONI .....	15
8. CARICHI SUGLI IMPALCATI .....	15
9. MODELLAZIONE DELLE AZIONI .....	19
10. MODELLAZIONE DEI MATERIALI .....	19
11. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA E DEI VINCOLI .....	19
12. MECCANISMI DI RESISTENZA ALLE AZIONI ORIZZONTALI.....	19
13. CODICI DI CALCOLO.....	20
13.1 Caratteristiche dell'elaborazione.....	20
13.2 Giudizio finale sulla accettabilità dei calcoli .....	20
14. INTERVENTI SU PILE E FONDAZIONI .....	21
<input type="checkbox"/> PARTE 1 .....	22
<input type="checkbox"/> PARTE 2 .....	22
<input type="checkbox"/> PARTE 3 .....	22

## **PARTE I**

PREMESSA.....	24
Calcolo della Pila 20. ....	25
Calcolo della Pila 22. ....	53

Calcolo della Pila 24.....	81
Calcolo della Pila 26.....	109
Calcolo della Pila 30.....	137
Calcolo della Pila 36.....	165

## **PARTE II**

PREMESSA.....	195
Calcolo della Pila 3.....	196
Calcolo della Pila 4.....	220
Calcolo della Pila 5.....	244
Calcolo della Spalla A.....	268

## **PARTE III**

PREMESSA.....	315
Calcolo della Pila 12.....	316
Calcolo della Pila 14.....	345
Calcolo della Pila 18.....	374
Calcolo della Pila 20.....	403
Calcolo della Pila 22.....	435
Calcolo della Pila 24.....	467
Calcolo della Pila 25.....	499
Calcolo della Pila 28.....	531
Calcolo della Pila 32.....	563
Calcolo della Pila 34.....	595

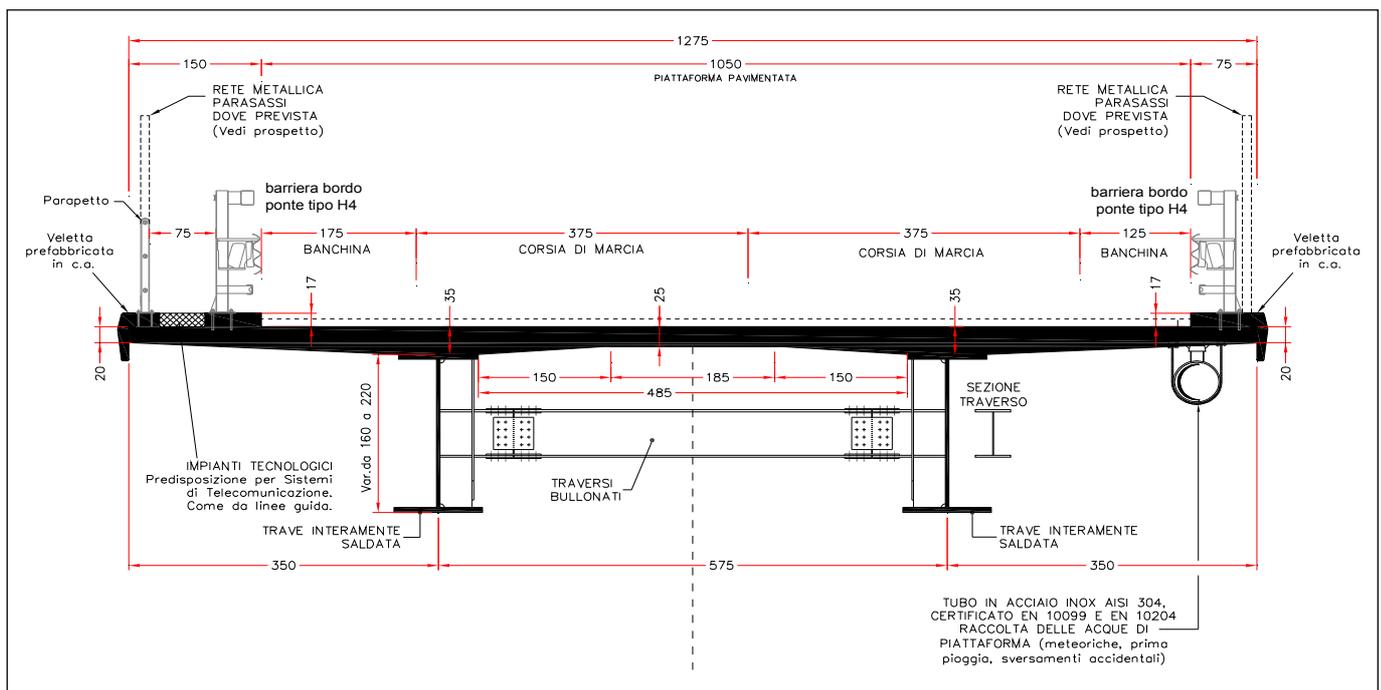
## **INTRODUZIONE**

## 1. PREMESSA

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

L'opera comprende n°35 campate ed è considerata composta da 4 tronchi: dalla Spalla A alla Pila 7 (Tronco n°1- 7 campate), dalla Pila 7 alla Pila 16 (Tronco n°2- 9 campate), dalla Pila 16 alla Pila 26 (Tronco n°3- 10 campate), dalla Pila 26 alla Pila 35 (Tronco n°4- 9 campate). Le campate del Tronco 1 sono suddivise in luci da 22.00/33.96/41.98/60.00/60.00/41.98/33.93 m. Quelle dei Tronchi 2, 3 e 4 presentano invece luci variabili da 33.84 m fino a 34.07 m.

L'impalcato tipo del viadotto in oggetto è realizzato con 2 travi d'acciaio con sezione a "doppio T", di altezza variabile da 1.60 m a 2.20 m, con sovrastante soletta in cemento armato ordinario gettato in opera, per una larghezza totale di 12.75 m, mentre la carreggiata misura 10.50 m. 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. L'impalcato è completato da traversi correnti e da traversi pila-spalla, di altezza variabile rispettivamente da 60 a 70 cm e da 80 a 100 cm.



Sezione trasversale d'impalcato.

Lo schema strutturale è quello di trave continua su più appoggi intermedi (pile). Le pile hanno fusto a sezione circolare di diametro 2.84 m per le pile 1÷20, e di diametro 3.50 m (in seguito ad un intervento comprendente l'incamiciatura del fusto esistente per uno spessore di 33 cm – vedi Paragrafo 14) per le pile 21÷35. Le fondazioni sono su pali trivellati di diametro 1250 mm e su micropali (previsti in numero opportuno su tutte le zattere come intervento di

rinforzo delle fondazioni – vedi Paragrafo 14) di diametro 220 mm per le pile, e su pali trivellati di diametro 1200 mm per la spalla.

Sono previsti appoggi in acciaio-teflon, multidirezionali e unidirezionali, disposti in modo tale da trasmettere le sollecitazioni longitudinali alla spalla A, in corrispondenza della quale sono posizionati dei dispositivi di ritegno elastico. In corrispondenza delle pile 8÷11, 13÷20, 22÷25, 27÷30, 32÷34 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 12, 21 e 31 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.

## **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**

Utilizzando i risultati ottenuti sui provini di calcestruzzo derivanti dalla campagna d'indagine, si ricavano i seguenti valori di Resistenza Cubica Caratteristica di Pile, Pali e Zattere di Fondazione della Struttura Esistente, adoperando le formule contenute nel D.M. 9 gennaio 1996 relative ai "Controlli di accettazione".

#### **Provini prelevati in situ**

<b>Pila</b>	<b>Rcil</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Rck</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>var</b>	<b>s</b>
36	49.90	60.12	94.70	9.73
34	63.90	76.99		
32	46.60	56.14		
30	56.20	67.71		
28	48.70	58.67		
26	42.40	51.08		
24	44.30	53.37		
22	41.70	50.24		
20	45.10	54.34		
14	35.70	43.01		
11	34.60	41.69		
5	46.30	55.78		

#### **Pila**

<b>Rck</b> ≤	<b>42.14</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
Rck ≤	45.19	N/mm <sup>2</sup>

<b>Pali</b>	<b>Rcil</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Rck</b> [N/mm <sup>2</sup> ]		
34	36.60	44.10		
26	19.10	23.01		
20	27.30	32.89		

#### **Pali**

Rck ≤	29.83	N/mm <sup>2</sup>
<b>Rck</b> ≤	<b>26.51</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>

<b>Zattere</b>	<b>Rcil</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Rck</b> [N/mm <sup>2</sup> ]		
34	35.90	43.25		
26	32.20	38.80		
20	30.40	36.63		
5	32.40	39.04		

#### **Zattere di fondazione**

<b>Rck</b> ≤	<b>35.93</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
Rck ≤	40.13	N/mm <sup>2</sup>

In conclusione, nelle Verifiche delle Strutture Esistenti sono stati adoperati i seguenti valori di Rck :

- Rck PILE = 350 kg/cm<sup>2</sup>
- Rck PALI = 250 kg/cm<sup>2</sup>
- Rck ZATTERE DI FONDAZIONE = 300 kg/cm<sup>2</sup>

Per le Strutture di nuova realizzazione 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  $\phi_{min} = 6 \text{ mm}$

Diametro massimo  $\phi_{max} = 26 \text{ mm}$

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). Pile, Elevazione Spalle.	XA2	Chimicamente moderatamente aggressivo. (Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi).
Pulvini.	XF2	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante. (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). Pile, Elevazione 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:

	<i>Azione gruppo</i>	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_5$	$q_6$	$q_7$	$q_8$	$q_9$	
<i>S.L. esercizio</i>	<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
<i>S.L. ultimi</i>	<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**

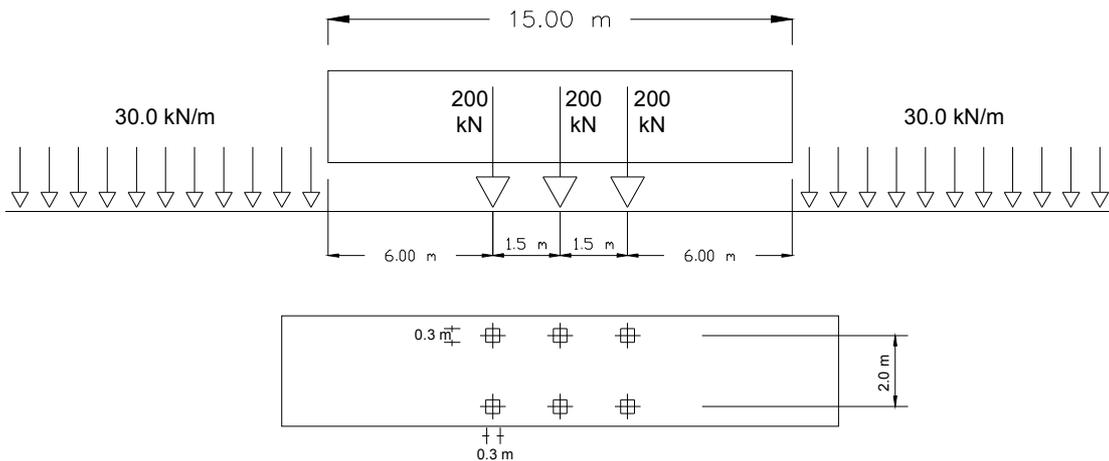
Il calcolo delle azioni agenti sulle varie sottostrutture costituenti le opere di cui si tratta, è stato svolto secondo le prescrizioni impartite dalla normativa vigente in materia e già citata nella parte introduttiva della relazione. Sono stati considerati quindi i carichi permanenti determinati dal 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, per una luce di calcolo pari a 60.00 m, si ha:

- f ..... 1,067

mentre per una luce di calcolo pari a 34.00 m, si ha:

- f ..... 1,240

### **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 impalcato del viadotto.

### **Azione centrifuga (q4)**

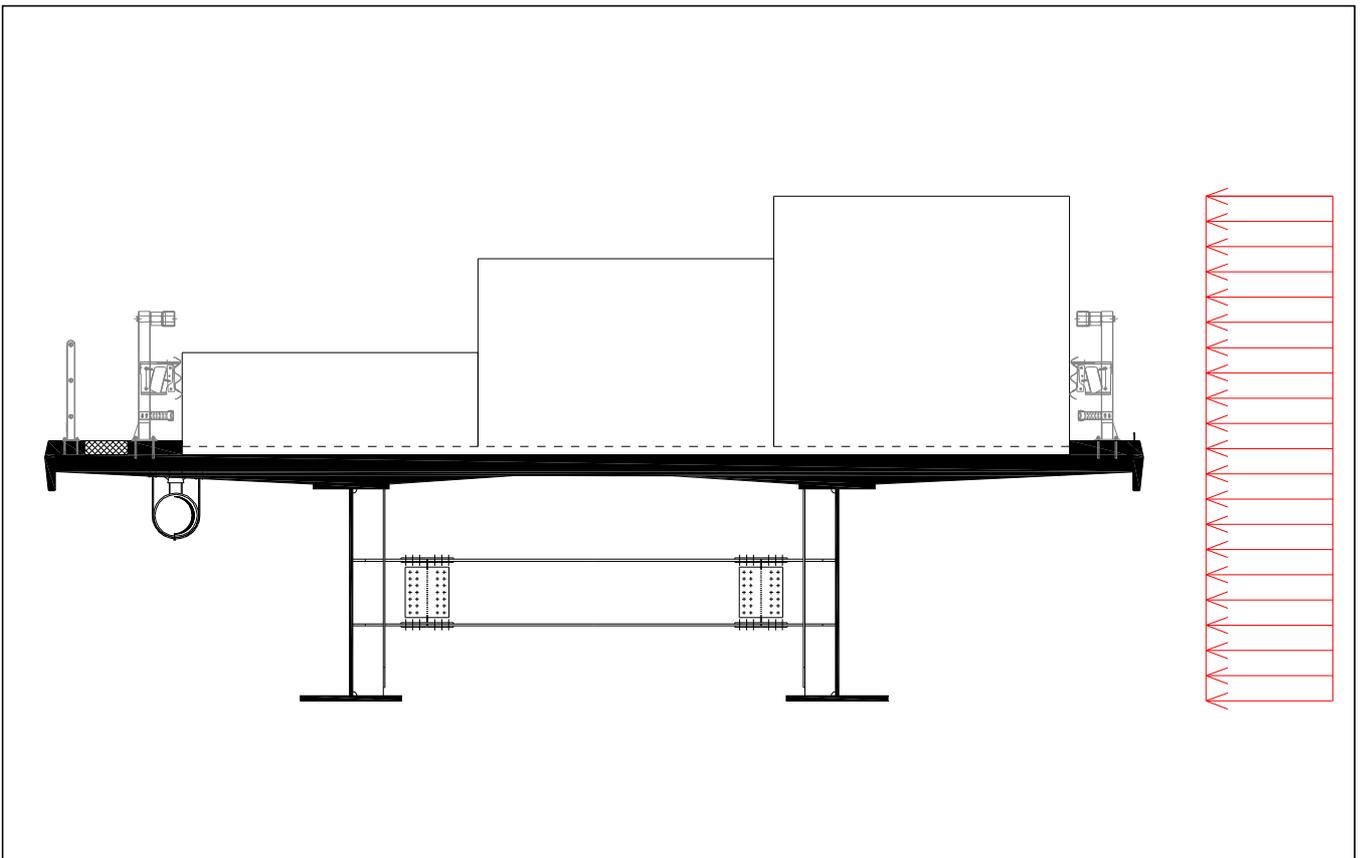
L'azione centrifuga in funzione del raggio R (in metri) si valuta convenzionalmente per ogni colonna di carico pari a:

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

ed è considerata agente ad 1.00 m di altezza rispetto al piano viabile. Nel caso in esame si considera trascurabile visti i ridotti raggi di curvatura inseriti per esigenze legate alla normativa stradale (visibilità, etc...).

### **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 dei vari impalcati, alla spalla fissa nel primo tratto o alle singole pile 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:

$C = (S-2)/100=0.02$  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:

$$F_h = 0,07 \times 1.2 \times 1.2 \times 1.2 \times W = 0.121 \times W$$

### **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 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:

Tipo	Pentium IV 3000Mhz
Memoria centrale	1024 Mb;
Lunghezza in bit della parola	32 bit;
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.

## **14. INTERVENTI SU PILE E FONDAZIONI**

Attualmente il viadotto Salso – Pista Destra comprende 37 pile aventi fusto di diametro pari a 284 cm e fondazioni con numero di pali variabile tra 5 e 8. Sono state effettuate delle indagini diagnostiche che hanno interessato le pile nn° 5-8-11-14-20-22-24-26-28-30-32-34-36.

In particolare sono state condotte le seguenti attività in situ e di laboratorio:

- Verifica della lunghezza dei pali di fondazione (Pile n° 20-26-34)
- Verifica delle armature dei pali di fondazione (Pile n° 20-26-34)
- Verifica delle armature dei fusti delle pile (Pile n° 20-22-24-26-30-36)
- Resistenza del calcestruzzo mediante metodo combinato ultrasuoni-sclerometri (Metodo SonReb) (Pile n° 11-20-26-34-36)
- Resistenza a compressione del calcestruzzo dei provini cilindrici prelevati in situ (Pile n° 5-11-14-20-22-24-26-28-30-32-34-36).

Dalle indagini è risultato:

1. La disposizione e la quantità delle armature del fusto pila rispecchia sostanzialmente quanto contenuto nei disegni di progetto.
2. La resistenza degli acciai quale risulta dalle prove permette di farli rientrare in una classe corrispondente all'odierno FeB 44k ( $f_{y \min} > 430 \text{ N/mm}^2$ ).
3. Il valore riscontrato della resistenza cubica a compressione sui fusti pila è sempre pari o superiore al valore di progetto di  $350 \text{ kg/cm}^2$ .
4. Viceversa per quanto riguarda i pali di fondazione, tutti di diametro  $\Phi 1250$ , il risultato delle indagini è meno tranquillizzante: sulla pila 8 i pali previsti non sono stati addirittura incontrati (dovevano essere 5), mentre il valore di resistenza cilindrica ottenuto sul provino della pila 26 è risultato del tutto insoddisfacente ( $=19.10 \text{ N/mm}^2$ ) ed inferiore al minimo di Normativa per calcestruzzo armato ( $=20.75 \text{ N/mm}^2$ ).

Prendendo atto di quanto sopra riportato, l'intervento del presente progetto ed il calcolo conseguente si svilupperanno secondo le seguenti modalità.

- **PARTE 1** : Verifica dei fusti pila nella loro attuale dimensione ed armatura con i nuovi carichi derivanti dalla sostituzione dell'impalcato (vedi Premessa) alla luce delle attuali Normative, anche in materia sismica.
- **PARTE 2** : Verifica dei fusti pila di nuova realizzazione, limitati alle pile in alveo (nn° 3-4-5) in cui l'intervento prevede la demolizione totale ed il rifacimento con luci differenti. Da questo intervento consegue una nuova numerazione delle pile.
- **PARTE 3** : Le pile dalla 21 alla 37 (secondo la Vecchia Numerazione – dalla 19 alla 35 secondo la Nuova Numerazione), per le quali le verifiche di cui alla parte 1 non sono risultate soddisfatte, sono state oggetto di un intervento comprendente l'incamiciatura del fusto esistente per uno spessore di 33 cm. La camicia è stata resa solidale al getto preesistente tramite 12 spine di collegamento  $\Phi 24$  messe a passo 75 cm, inghisate con resina epossidica in fori  $\Phi 30$ . Alla camicia è stato destinato il compito di assorbire tutti i carichi ad eccezione del peso proprio di pila e pulvino esistenti.

Considerando i risultati insoddisfacenti delle indagini per quanto riguarda le fondazioni, si è ritenuto di dover intervenire sulle stesse in modo sistematico: sono stati quindi previsti micropali di rinforzo in numero opportuno su tutte le zattere. Il calcolo è stato sviluppato affidando alle nuove strutture di consolidamento tutti i carichi ad eccezione di quelli derivanti da pulvino, pila e zattera preesistenti. Questa ipotesi, chiaramente in favore di stabilità, permette in definitiva di dimensionare l'intervento prescindendo dal contributo dell'esistente, che le indagini hanno rilevato di incerta qualità.

# PARTE I

## **PREMESSA**

Il presente calcolo riguarda le verifiche dei fusti pila nella loro attuale dimensione ed armatura con i nuovi carichi derivanti dalla sostituzione dell'impalcato alla luce delle attuali Normative, anche in materia sismica.

La disposizione e la quantità di armature utilizzate nelle verifiche seguenti derivano dai risultati di indagini diagnostiche che hanno interessato le pile qui calcolate.

Nel caso in esame verranno quindi esaminate le pile 20, 22, 24, 26, 30 e 36 (secondo la Vecchia Numerazione).

## Calcolo della Pila 20.

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	2.80	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	6.50	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	9.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.00	m

#### ### PILA

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

#### **Altezze**

Baggioli $h_{bagg}$	0.42	m
Pulvino $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	9.75	m

#### **Sezioni in pianta**

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	6.33	$m^2$

#### **Baricentri**

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	4.88	m

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

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	3.19	$m^4$
---	------	-------

#### **Prospetti longitudinali**

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	2.84	m
Altezza fusto pila dal p.c.	9.55	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	4.78	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:

$$\lambda = 35.63$$

## **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:

$$N_{app} = 463.68 \text{ t}$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 303.46 & t \\ M_t & 486.97 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 246.05 & t \\ M_t & 666.37 & t \cdot m \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
22.27	23.05

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
54.55	105.58

### **### 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:

$$\begin{aligned} \text{n° campate collegate} &= 1 \\ \text{lunghezza complessiva campate collegate} &= 34.06 \quad \text{m} \\ H_{f1,a} &= 0,10 * (3 * 20 + 3 * (\text{lunghezza compless. campate collegate} - 9)) = 13.518 \quad \text{t} \\ H_{f1,b} &= 0,20 * (3 * 20 * (1 + 0,5 + 0.35)) = 22.2 \quad \text{t} \quad (3 \text{ colonne di carico}) \end{aligned}$$

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad \text{t}$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 13.91 \quad \text{t}$$

### **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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
463.68	56.09	58.05	77.90

### ### 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)	
464	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
56.09	-58.05

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  $M_{s,l}$ :

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

$W$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
463.68	77.90

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	22.27	0.00	23.05
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	463.68	13.91	22.27	0.00	23.05

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	303.46	0.00	0.00	0.00	486.97
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	32.73	0.00	63.35
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	767.13	13.91	32.73	0.00	550.32

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	246.05	0.00	0.00	0.00	666.37
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	32.73	0.00	63.35
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	709.72	13.91	32.73	0.00	729.72

COMB. 4 Perm. + Acc. DISP. 1 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + 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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	303.46	0.00	0.00	0.00	486.97
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	10.91	0.00	21.12
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	767.13	36.11	10.91	0.00	508.08

COMB. 5 Perm. + Acc. DISP. 2 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + 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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	246.05	0.00	0.00	0.00	666.37
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	10.91	0.00	21.12
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	709.72	36.11	10.91	0.00	687.49

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

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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05
Sisma vert. +	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	541.57	0.00	56.09	0.00	58.05

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

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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05
Sisma vert. -	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	385.78	0.00	56.09	0.00	58.05

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

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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	56.09	0.00	-58.05	0.00
Sisma vert. +	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	541.57	56.09	0.00	-58.05	0.00

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

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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	56.09	0.00	-58.05	0.00
Sisma vert. -	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	385.78	56.1	0.00	-58.0	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 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	463.68	13.91	22.27	0.00	23.05
2	767.13	13.91	32.73	0.00	550.32
3	709.72	13.91	32.73	0.00	729.72
4	767.13	36.11	10.91	0.00	508.08
5	709.72	36.11	10.91	0.00	687.49

Eserc.

Perm.	6.7	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05	
Perm.	8.9	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	56.09	0.00	-58.05	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	171.68	10.99
Fusto pila	154.41	4.88
	326.09	8.10

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	20.77	10.99	-228.30
Fusto pila	18.68	4.88	-91.05
	39.44		-319.35

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	20.77	10.99	228.30
Fusto pila	18.68	4.88	91.05
	39.44		319.35

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	326.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	39.44	0.00	-319.35	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	39.44	0.00	319.35
Sisma vert. + Incr. peso	54.78	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-54.78	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

$$A_r = 35.36 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 6.43 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	35.36	8.84	6.43	56.79

## 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.

$$e_v = -12.65 \text{ m}$$
$$M_l = M_{l,\text{imp}} + H_l * e_v \qquad M_t = M_{t,\text{imp}} - H_t * e_v$$

(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	463.68	13.91	22.27	-175.97	304.81	Cond. Norm. Eserc.
	2	767.13	13.91	32.73	-175.97	964.38	
	3	709.72	13.91	32.73	-175.97	1143.79	
	4	767.13	36.11	10.91	-456.80	646.10	
	5	709.72	36.11	10.91	-456.80	825.51	

<i>Perm.</i>	6.7	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	56.09	0.00	767.54	
<i>Perm.</i>	8.9	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	56.09	0.00	-767.54	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	789.76	13.91	31.11	-175.97	361.61	Cond. Norm. Eserc.
	2	1 093.22	13.91	38.04	-175.97	998.45	
	3	1 035.81	13.91	38.04	-175.97	1 177.86	
	4	1 093.22	36.11	16.21	-456.80	680.18	
	5	1 035.81	36.11	16.21	-456.80	859.59	

<i>Perm.</i>	6.7	789.76	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	132.68	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-132.68	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	95.53	0.00	1 086.89	
<i>Perm.</i>	8.9	789.76	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	132.68	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-132.68	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	95.53	0.00	-1 086.89	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	409.50	1.40
Terreno portato	18.78	2.90
	428.28	1.47

**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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Zattera	41.28	1.40	-57.79
Terreno portato	1.89	2.90	-5.49
	43.17		-63.28

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	41.28	1.40	57.79
Terreno portato	1.89	2.90	5.49
	43.17		63.28

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	428.28	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	43.17	0.00	-63.28	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	43.17	0.00	63.28
Sisma vert. + Incr. peso	71.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-71.95	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	789.76	13.91	31.11	-175.97	361.61	Cond. Norm. Eserc.
2	1 093.22	13.91	38.04	-175.97	998.45	
3	1 035.81	13.91	38.04	-175.97	1 177.86	
4	1 093.22	36.11	16.21	-456.80	680.18	
5	1 035.81	36.11	16.21	-456.80	859.59	
<i>Perm.</i>	6.7	789.76	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	132.68	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-132.68	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	79.61	905.75	
<i>Perm.</i>	8.9	789.76	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	132.68	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-132.68	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	79.61	0.00	-905.75	

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.

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

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

con

$$h_{zattera} = 2.80 \quad m$$

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	1 218.04	13.91	31.11	-214.91	448.72	Cond. Norm. Eserc.
2	1 521.50	13.91	38.04	-214.91	1 104.95	
3	1 464.09	13.91	38.04	-214.91	1 284.36	
4	1 521.50	36.11	16.21	-557.90	725.58	
5	1 464.09	36.11	16.21	-557.90	904.99	

<i>Perm.</i>	6.7	1 218.04	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	204.63	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-204.63	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	122.78	0.00	1 191.93	
<i>Perm.</i>	8.9	1 218.04	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	204.63	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-204.63	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	122.78	0.00	-1 191.93	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
6.50	9.00	2.80

Area fondazione  $58.50 \text{ m}^2$

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.

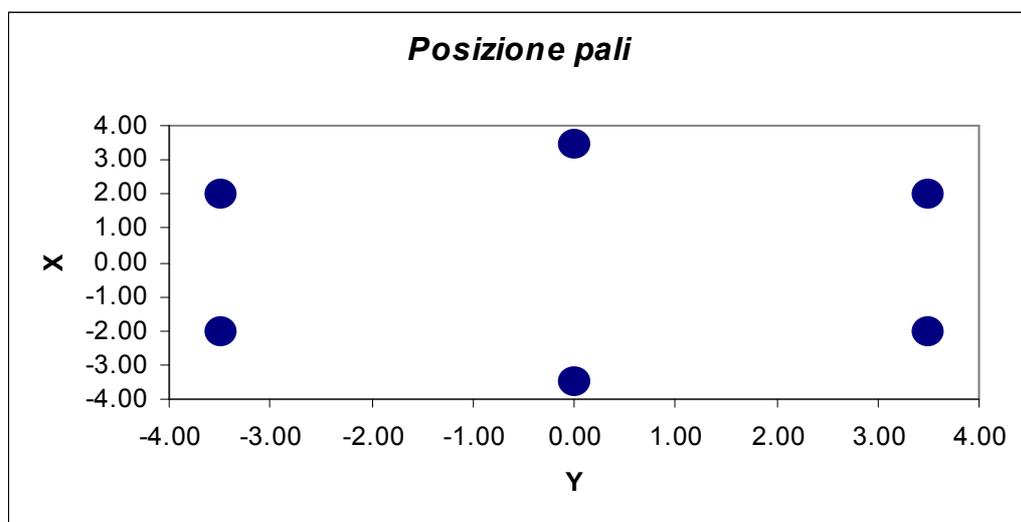
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
40.5	49

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X<sub>G</sub>,Y<sub>G</sub>):

Pali	X (m)	Y (m)	X <sub>G<sub>i</sub></sub> (m)	Y <sub>G<sub>i</sub></sub> (m)	W <sub>l</sub> (m)	W <sub>t</sub> (m)
1	2.00	3.50	2.00	3.50	20.25	14.00
2	3.50	0.00	3.50	0.00	11.57	Infinito
3	2.00	-3.50	2.00	-3.50	20.25	-14.00
4	-2.00	3.50	-2.00	3.50	-20.25	14.00
5	-3.50	0.00	-3.50	0.00	-11.57	Infinito
6	-2.00	-3.50	-2.00	-3.50	-20.25	-14.00
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

dove W<sub>l</sub> e W<sub>t</sub> 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	1 218.04	13.91	31.11	-214.91	448.72	Eserc.
	2	1 521.50	13.91	38.04	-214.91	1 104.95	
	3	1 464.09	13.91	38.04	-214.91	1 284.36	
	4	1 521.50	36.11	16.21	-557.90	725.58	
	5	1 464.09	36.11	16.21	-557.90	904.99	
<i>Perm.</i>	6.7	1 218.04	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	204.63	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-204.63	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	122.78	0.00	1 191.93	
<i>Perm.</i>	8.9	1 218.04	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	204.63	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-204.63	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	122.78	0.00	-1 191.93	0.00	

Al fine di ottenere gli sforzi assiali in testa ai pali si adoterà 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:

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

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	245.7	343.1	346.4	333.0	336.2	322.3	254.0	296.0	227.8
2	221.6	272.2	262.6	301.8	292.2	237.1	168.9	340.1	271.9
3	181.6	185.3	162.9	229.3	206.9	152.0	83.8	296.0	227.8
4	224.4	321.9	325.1	277.9	281.1	322.3	254.0	178.3	110.0
5	184.4	235.0	225.4	205.4	195.8	237.1	168.9	134.1	65.9
6	160.3	164.0	141.7	174.2	151.8	152.0	83.8	178.3	110.0
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{max}$  346.4 t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{min}$  65.9 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> (t)	H <sub>t</sub> (t)	T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
1	13.9	31.1	2.32	5.19	5.68
2	13.9	38.0	2.32	6.34	6.75
3	13.9	38.0	2.32	6.34	6.75
4	36.1	16.2	6.02	2.70	6.60
5	36.1	16.2	6.02	2.70	6.60
6	0.0	122.8	0.00	20.46	20.46
7	0.0	122.8	0.00	20.46	20.46
8	122.8	0.0	20.46	0.00	20.46
9	122.8	0.0	20.46	0.00	20.46

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 20.46 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
340.1	N <sub>max</sub>	346.4
65.9	N <sub>min</sub>	141.7
20.5	T <sub>max</sub>	6.7

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

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} = \text{diametro del palo} &= 125.0 \text{ cm} \\ K_w = \text{modulo di Winkler del terreno} &= 2\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} = \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} &= 321\,994 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_0 = 4.260 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 43.585 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 340.1 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 65.9 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 58.50 \text{ cm} \qquad \text{Copriferro} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 74.3 \text{ cm}^2$$

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

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile cls} = 102.5 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

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

$$\text{Area ideale} = 1.34 \text{ m}^2$$

$$\text{Momento d'inerzia della sezione ideale} = 2.24\text{E}+07 \text{ m}^4$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 37.71 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione min di compressione Cls} = 13.11 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 159.89 \text{ }^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 51.59 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 37.01 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 747.01 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

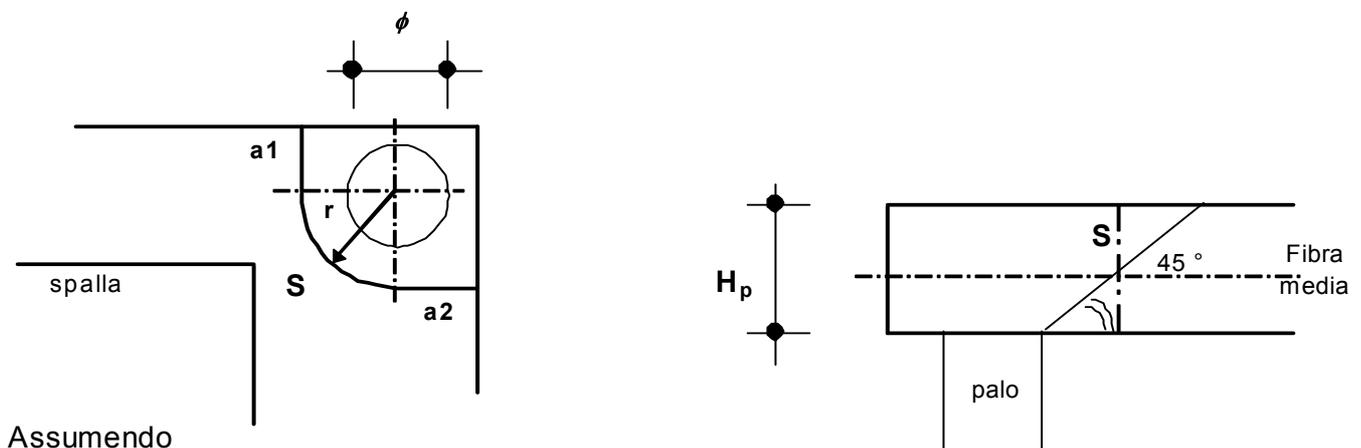
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 346.37 \text{ t}$$

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

$$\begin{aligned} a_1 &= 1.00 \text{ m} \\ a_2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 2.03 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a_1 + \pi \cdot r/2 + a_2) = 14.51 \text{ m}^2$$

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:

$$\begin{aligned} R_{ck} \text{ fondazione} &= 320 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c0} &= 6.26667 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c1} &= 18.8571 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## 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 = 320. ; E = 321994. ; Samm= 102.5 .  
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.	142.	1	137.6	0.	28.	6.1575
1_2	142.	0.	2	133.3	34.2	28.	6.1575
1_3	0.	-142.	3	120.6	66.3	28.	6.1575
1_4	-142.	0.	4	100.3	94.2	28.	6.1575
			5	73.7	116.2	28.	6.1575
			6	42.5	130.9	28.	6.1575
			7	8.6	137.3	28.	6.1575
			8	-25.8	135.2	28.	6.1575
			9	-58.6	124.5	28.	6.1575
			10	-87.7	106.	28.	6.1575
			11	-111.3	80.9	28.	6.1575
			12	-127.9	50.7	28.	6.1575
			13	-136.5	17.2	28.	6.1575
			14	-136.5	-17.2	28.	6.1575
			15	-127.9	-50.7	28.	6.1575
			16	-111.3	-80.9	28.	6.1575
			17	-87.7	-106.	28.	6.1575
			18	-58.6	-124.5	28.	6.1575
			19	-25.8	-135.2	28.	6.1575
			20	8.6	-137.3	28.	6.1575
			21	42.5	-130.9	28.	6.1575
			22	73.7	-116.2	28.	6.1575
			23	100.3	-94.2	28.	6.1575
			24	120.6	-66.3	28.	6.1575
			25	133.3	-34.2	28.	6.1575

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	-1093220	99845000	-17597000	
2	-922450	108689000	0	

RISULTATI

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

Sol.	$\mu_z$	$\mu_y$	$\lambda$
1	-.00000158659	.00000027962	-.00000543702
2	-.00000243028	0.	.0000619891

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls			Acciaio lento		
	vert.	S cls	Ve	ferro	S ferri	Ve
1	1- 1	-77.7	<b>si</b>	8	-1147.1	<b>si</b>
2	1- 1	-95.3	<b>si</b>	20	1999.	<b>si</b>

## Calcolo della Pila 22.

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	2.80	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	6.50	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	9.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.10	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 $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	12.06	m

#### **Sezioni in pianta**

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	6.33	$m^2$

#### **Baricentri**

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	6.03	m

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

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	3.19	$m^4$
---	------	-------

#### **Prospetti longitudinali**

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	2.84	m
Altezza fusto pila dal p.c.	11.76	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	5.88	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:

$$\lambda = 42.14$$

## **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:

$$N_{app} = 485.95 \text{ t}$$

### ### 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:

$$\begin{array}{ll} N & 307.98 \text{ t} \\ M_t & 494.23 \text{ t*m} \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{ll} N & 249.71 \text{ t} \\ M_t & 676.31 \text{ t*m} \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
19.31	19.99

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
47.31	109.25

### **### 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:

$$\begin{aligned} \text{n}^\circ \text{ campate collegate} &= 1 \\ \text{lunghezza complessiva campate collegate} &= 34 \quad \text{m} \\ H_{f1,a} &= 0,10 * (3 * 20 + 3 * (\text{lunghezza compless. campate collegate} - 9)) = 13,5 \quad \text{t} \\ H_{f1,b} &= 0,20 * (3 * 20 * (1 + 0,5 + 0,35)) = 22,2 \quad \text{t} \quad (3 \text{ colonne di carico}) \end{aligned}$$

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22,2 \quad \text{t}$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 14,58 \quad \text{t}$$

### **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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
485.95	58.78	60.84	81.64

### ### 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)	
486	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
58.78	-60.84

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)
485.95	81.64

### 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 (t)	H <sub>I</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>I</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	19.31	0.00	19.99
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>485.95</b>	<b>14.58</b>	<b>19.31</b>	<b>0.00</b>	<b>19.99</b>

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

Az. progetto	N (t)	H <sub>I</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>I</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	307.98	0.00	0.00	0.00	494.23
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	28.38	0.00	65.55
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>793.93</b>	<b>14.58</b>	<b>28.38</b>	<b>0.00</b>	<b>559.78</b>

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

Az. progetto	N (t)	H <sub>I</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>I</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	249.71	0.00	0.00	0.00	676.31
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	28.38	0.00	65.55
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>735.66</b>	<b>14.58</b>	<b>28.38</b>	<b>0.00</b>	<b>741.86</b>

COMB. 4 Perm. + Acc. DISP. 1 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + 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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	307.98	0.00	0.00	0.00	494.23
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.46	0.00	21.85
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>793.93</b>	<b>36.78</b>	<b>9.46</b>	<b>0.00</b>	<b>516.08</b>

COMB. 5 Perm. + Acc. DISP. 2 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + 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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	249.71	0.00	0.00	0.00	676.31
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.46	0.00	21.85
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>735.66</b>	<b>36.78</b>	<b>9.46</b>	<b>0.00</b>	<b>698.16</b>

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

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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84
Sisma vert. +	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>567.59</b>	<b>0.00</b>	<b>58.78</b>	<b>0.00</b>	<b>60.84</b>

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

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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84
Sisma vert. -	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>404.31</b>	<b>0.00</b>	<b>58.78</b>	<b>0.00</b>	<b>60.84</b>

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

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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	58.78	0.00	-60.84	0.00
Sisma vert. +	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>567.59</b>	<b>58.78</b>	<b>0.00</b>	<b>-60.84</b>	<b>0.00</b>

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

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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	58.78	0.00	-60.84	0.00
Sisma vert. -	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>404.31</b>	<b>58.8</b>	<b>0.00</b>	<b>-60.8</b>	<b>0.00</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	485.95	14.58	19.31	0.00	19.99
2	793.93	14.58	28.38	0.00	559.78
3	735.66	14.58	28.38	0.00	741.86
4	793.93	36.78	9.46	0.00	516.08
5	735.66	36.78	9.46	0.00	698.16

Eserc.	6.7	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.8	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84
Sisma Trasv.	8.9	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	8.9	0.00	58.78	0.00	-60.84	0.00
Sisma Long.	6.7	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.8	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	171.68	13.30
Fusto pila	190.99	6.03
	362.67	9.47

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	20.77	13.30	-276.27
Fusto pila	23.10	6.03	-139.31
	43.87		-415.58

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	20.77	13.30	276.27
Fusto pila	23.10	6.03	139.31
	43.87		415.58

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	362.67	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	43.87	0.00	-415.58	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	43.87	0.00	415.58
Sisma vert. + Incr. peso	60.93	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-60.93	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

$$A_r = 41.63 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 7.63 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	41.63	10.41	7.63	79.42

## 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.

$$e_v = -14.96 \text{ m}$$

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

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

(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	485.95	14.58	19.31	-218.09	308.93
	2	793.93	14.58	28.38	-218.09	984.39
	3	735.66	14.58	28.38	-218.09	1166.47
	4	793.93	36.78	9.46	-550.21	657.61
	5	735.66	36.78	9.46	-550.21	839.70
Cond. Norm. Eserc.						

<i>Perm.</i>	6.7	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	58.78	0.00	940.20	
<i>Perm.</i>	8.9	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	58.78	0.00	-940.20	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	848.62	14.58	29.72	-218.09	388.35
	2	1 156.60	14.58	34.63	-218.09	1 032.04
	3	1 098.34	14.58	34.63	-218.09	1 214.12
	4	1 156.60	36.78	15.71	-550.21	705.26
	5	1 098.34	36.78	15.71	-550.21	887.35
Cond. Norm. Eserc.						

<i>Perm.</i>	6.7	848.62	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	142.57	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-142.57	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	102.65	0.00	1 355.78	
<i>Perm.</i>	8.9	848.62	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	142.57	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-142.57	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	102.65	0.00	-1 355.78	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	409.50	1.40
Terreno portato	28.17	2.95
	437.67	1.50

**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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Zattera	41.28	1.40	-57.79
Terreno portato	2.84	2.95	-8.38
	44.12		-66.17

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	41.28	1.40	57.79
Terreno portato	2.84	2.95	8.38
	44.12		66.17

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	437.67	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	44.12	0.00	-66.17	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	44.12	0.00	66.17
Sisma vert. + Incr. peso	73.53	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-73.53	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	848.62	14.58	29.72	-218.09	388.35	Cond. Norm. Eserc.
2	1 156.60	14.58	34.63	-218.09	1 032.04	
3	1 098.34	14.58	34.63	-218.09	1 214.12	
4	1 156.60	36.78	15.71	-550.21	705.26	
5	1 098.34	36.78	15.71	-550.21	887.35	
<i>Perm.</i>	6.7	848.62	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	142.57	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-142.57	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	85.54	1 129.81	
<i>Perm.</i>	8.9	848.62	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	142.57	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-142.57	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	85.54	0.00	-1 129.81	

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.

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

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

con

$$h_{zattera} = 2.80 \quad m$$

Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera)						Cond. Norm. Eserc.
	<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	1 286.29	14.58	29.72	-258.91	471.57	
2	1 594.27	14.58	34.63	-258.91	1 129.00	
3	1 536.01	14.58	34.63	-258.91	1 311.08	
4	1 594.27	36.78	15.71	-653.19	749.24	
5	1 536.01	36.78	15.71	-653.19	931.32	

<i>Perm.</i>	6.7	1 286.29	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	216.10	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-216.10	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	129.66	0.00	1 435.49	
<i>Perm.</i>	8.9	1 286.29	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	216.10	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-216.10	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	129.66	0.00	-1 435.49	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
6.50	9.00	2.80

Area fondazione  $58.50 \text{ m}^2$

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.

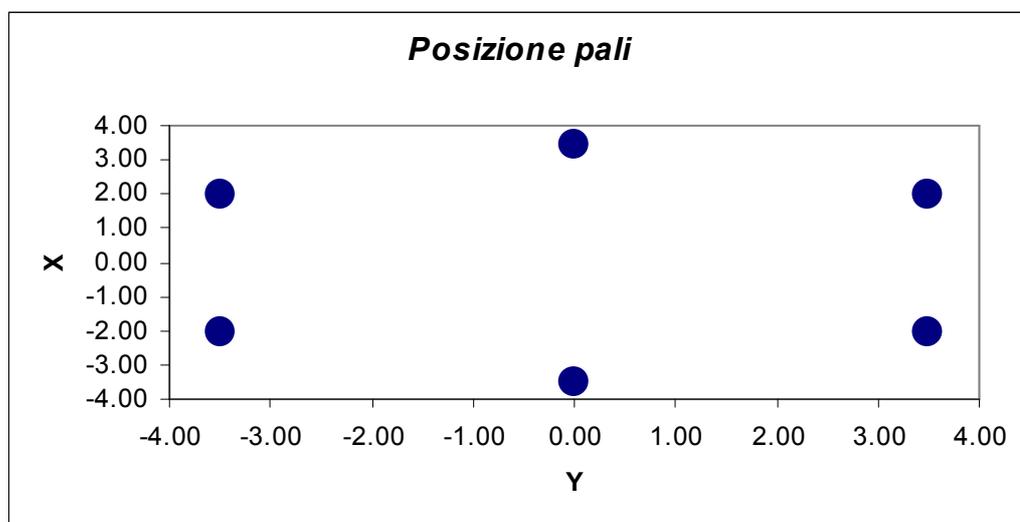
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
40.5	49

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

Pali	X (m)	Y (m)	$X_{Gi}$ (m)	$Y_{Gi}$ (m)	$W_l$ (m)	$W_t$ (m)
1	2.00	3.50	2.00	3.50	20.25	14.00
2	3.50	0.00	3.50	0.00	11.57	Infinito
3	2.00	-3.50	2.00	-3.50	20.25	-14.00
4	-2.00	3.50	-2.00	3.50	-20.25	14.00
5	-3.50	0.00	-3.50	0.00	-11.57	Infinito
6	-2.00	-3.50	-2.00	-3.50	-20.25	-14.00
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	1 286.29	14.58	29.72	-258.91	471.57	Eserc.
	2	1 594.27	14.58	34.63	-258.91	1 129.00	
	3	1 536.01	14.58	34.63	-258.91	1 311.08	
	4	1 594.27	36.78	15.71	-653.19	749.24	
	5	1 536.01	36.78	15.71	-653.19	931.32	
<i>Perm.</i>	6.7	1 286.29	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	216.10	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-216.10	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	129.66	0.00	1 435.49	
<i>Perm.</i>	8.9	1 286.29	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	216.10	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-216.10	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	129.66	0.00	-1 435.49	0.00	

Al fine di ottenere gli sforzi assiali in testa ai pali si adoterà 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)**

<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	260.9	359.1	362.4	351.5	354.8	352.9	280.9	321.3	249.3
2	236.8	288.1	278.4	322.2	312.5	250.4	178.4	374.5	302.4
3	193.5	197.9	175.1	244.5	221.7	147.9	75.8	321.3	249.3
4	235.3	333.6	336.9	287.0	290.3	352.9	280.9	179.5	107.5
5	192.0	243.3	233.6	209.3	199.6	250.4	178.4	126.3	54.3
6	167.9	172.3	149.6	179.9	157.2	147.9	75.8	179.5	107.5
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{max}$  374.5 t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{min}$  54.3 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> (t)	H <sub>t</sub> (t)	T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
1	14.6	29.7	2.43	4.95	5.52
2	14.6	34.6	2.43	5.77	6.26
3	14.6	34.6	2.43	5.77	6.26
4	36.8	15.7	6.13	2.62	6.67
5	36.8	15.7	6.13	2.62	6.67
6	0.0	129.7	0.00	21.61	21.61
7	0.0	129.7	0.00	21.61	21.61
8	129.7	0.0	21.61	0.00	21.61
9	129.7	0.0	21.61	0.00	21.61

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 21.61 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
374.5	N <sub>max</sub>	362.4
54.3	N <sub>min</sub>	149.6
21.6	T <sub>max</sub>	6.7

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

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 125.0 \text{ cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 321\,994 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_0 = 4.260 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 46.027 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 374.5 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 54.3 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 58.50 \text{ cm} \qquad \text{Copriferro} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 74.3 \text{ cm}^2$$

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

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile cls} = 102.5 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

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

$$\text{Area ideale} = 1.34 \text{ m}^2$$

$$\text{Momento d'inerzia della sezione ideale} = 2.24\text{E}+07 \text{ m}^4$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 40.96 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione min di compressione Cls} = 14.98 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 149.66 \text{ }^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 46.15 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 40.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 984.03 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

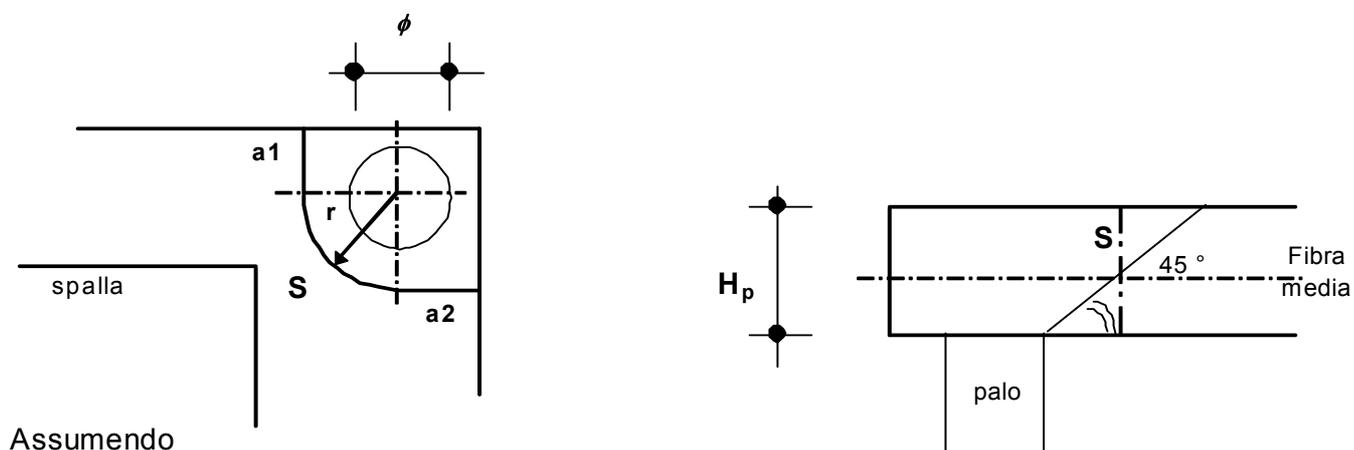
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 374.45 \text{ t}$$

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:



$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 2.03 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r/2 + a2) = 14.51 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 2.58 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\begin{aligned} R_{ck} \text{ fondazione} &= 320 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c0} &= 6.26667 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c1} &= 18.8571 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## 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 = 320. ; E = 321994. ; Samm= 102.5 .  
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.	142.	1	137.6	0.	28.	6.1575
1_2	142.	0.	2	133.3	34.2	28.	6.1575
1_3	0.	-142.	3	120.6	66.3	28.	6.1575
1_4	-142.	0.	4	100.3	94.2	28.	6.1575
			5	73.7	116.2	28.	6.1575
			6	42.5	130.9	28.	6.1575
			7	8.6	137.3	28.	6.1575
			8	-25.8	135.2	28.	6.1575
			9	-58.6	124.5	28.	6.1575
			10	-87.7	106.	28.	6.1575
			11	-111.3	80.9	28.	6.1575
			12	-127.9	50.7	28.	6.1575
			13	-136.5	17.2	28.	6.1575
			14	-136.5	-17.2	28.	6.1575
			15	-127.9	-50.7	28.	6.1575
			16	-111.3	-80.9	28.	6.1575
			17	-87.7	-106.	28.	6.1575
			18	-58.6	-124.5	28.	6.1575
			19	-25.8	-135.2	28.	6.1575
			20	8.6	-137.3	28.	6.1575
			21	42.5	-130.9	28.	6.1575
			22	73.7	-116.2	28.	6.1575
			23	100.3	-94.2	28.	6.1575
			24	120.6	-66.3	28.	6.1575
			25	133.3	-34.2	28.	6.1575

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	-1156600	103204000	-21809000	
2	-991190	135578000	0	

RISULTATI

Piani di equilibrio (eps= muz \* y +muy \* z + lam):

Sol.	muz	muy	lambda
1	-.00000160155	.00000033844	-.00000939376
2	-.00000365712	.00000000006	.00014064397

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls			Acciaio lento		
	vert.	S cls	Ve	ferro	S ferri	Ve
1	1- 1	-79.7	<b>si</b>	8	-1185.	<b>si</b>
2	1- 1	-127.5	<b>no</b>	20	3247.3	<b>no</b>

## Calcolo della Pila 24.

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	2.80	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	6.50	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	10.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.20	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 $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	14.38	m

#### **Sezioni in pianta**

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	6.33	$m^2$

#### **Baricentri**

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	7.19	m

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

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	3.19	$m^4$
---	------	-------

#### **Prospetti longitudinali**

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	2.84	m
Altezza fusto pila dal p.c.	13.98	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	6.99	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:

$$\lambda = 48.68$$

## **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:

$$N_{app} = 485.95 \text{ t}$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 308.00 & t \\ M_t & 494.25 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 249.73 & t \\ M_t & 676.35 & t \cdot m \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
19.31	19.99

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
47.31	676.35

### **### 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:

n° campate collegate	1	
lunghezza complessiva campate collegate	34	m
$H_{f1,a}=0,10*(3*20+3*(lunghezza\ compless.\ campate\ collegate - 9))=$	13.5	t
$H_{f1,b}=0,20*(3*20*(1+0,5+0.35))=$	22.2	t (3 colonne di carico)

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad t$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 14.58 \quad t$$

### **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 ( $T_0 < 0.8$  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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
485.95	58.78	60.84	81.64

### ### 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)	
486	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
58.78	-60.84

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  $M_{s,l}$ :

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

W	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
485.95	81.64

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	19.31	0.00	19.99
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
TOT	485.95	14.58	19.31	0.00	19.99

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	308.00	0.00	0.00	0.00	494.25
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	28.38	0.00	405.81
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
TOT	793.95	14.58	28.38	0.00	900.06

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	249.73	0.00	0.00	0.00	676.35
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	28.38	0.00	405.81
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
TOT	735.68	14.58	28.38	0.00	1082.15

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	308.00	0.00	0.00	0.00	494.25
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.46	0.00	135.27
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>793.95</b>	<b>36.78</b>	<b>9.46</b>	<b>0.00</b>	<b>629.52</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	249.73	0.00	0.00	0.00	676.35
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.46	0.00	135.27
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>735.68</b>	<b>36.78</b>	<b>9.46</b>	<b>0.00</b>	<b>811.62</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84
Sisma vert. +	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>567.59</b>	<b>0.00</b>	<b>58.78</b>	<b>0.00</b>	<b>60.84</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84
Sisma vert. -	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>404.31</b>	<b>0.00</b>	<b>58.78</b>	<b>0.00</b>	<b>60.84</b>

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

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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	58.78	0.00	-60.84	0.00
Sisma vert. +	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	567.59	58.78	0.00	-60.84	0.00

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

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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	58.78	0.00	-60.84	0.00
Sisma vert. -	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	404.31	58.8	0.00	-60.8	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 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	485.95	14.58	19.31	0.00	19.99
2	793.95	14.58	28.38	0.00	900.06
3	735.68	14.58	28.38	0.00	1082.15
4	793.95	36.78	9.46	0.00	629.52
5	735.68	36.78	9.46	0.00	811.62

Eserc.	6.7	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84
Sisma Trasv.	8.9	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	8.9	0.00	58.78	0.00	-60.84	0.00
Sisma Long.						

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	171.68	15.62
Fusto pila	227.73	7.19
	399.41	10.82

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	20.77	15.62	-324.45
Fusto pila	27.55	7.19	-198.06
	48.31		-522.51

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	20.77	15.62	324.45
Fusto pila	27.55	7.19	198.06
	48.31		522.51

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	399.41	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	48.31	0.00	-522.51	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	48.31	0.00	522.51
Sisma vert. + Incr. peso	67.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-67.10	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

$$A_r = 47.94 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 8.84 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	47.94	11.98	8.84	105.95

## 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.

$$e_v = -17.28 \text{ m}$$

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

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

(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	485.95	14.58	19.31	-251.92	353.74	Cond. Norm. Eserc.
2	793.95	14.58	28.38	-251.92	1390.52	
3	735.68	14.58	28.38	-251.92	1572.62	
4	793.95	36.78	9.46	-635.53	793.01	
5	735.68	36.78	9.46	-635.53	975.10	

<i>Perm.</i>	6.7	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	58.78	0.00	1076.57	
<i>Perm.</i>	8.9	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	58.78	0.00	-1076.57	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	885.36	14.58	31.30	-251.92	459.68	Cond. Norm. Eserc.
2	1 193.36	14.58	35.57	-251.92	1 454.09	
3	1 135.09	14.58	35.57	-251.92	1 636.18	
4	1 193.36	36.78	16.65	-635.53	856.58	
5	1 135.09	36.78	16.65	-635.53	1 038.67	

<i>Perm.</i>	6.7	885.36	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	148.74	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-148.74	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	107.09	0.00	1 599.08	
<i>Perm.</i>	8.9	885.36	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	148.74	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-148.74	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	107.09	0.00	-1 599.08	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	455.00	1.40
Terreno portato	42.24	3.00
	497.24	1.54

**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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Zattera	45.86	1.40	-64.21
Terreno portato	4.26	3.00	-12.77
	50.12		-76.98

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	45.86	1.40	64.21
Terreno portato	4.26	3.00	12.77
	50.12		76.98

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	497.24	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	50.12	0.00	-76.98	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	50.12	0.00	76.98
Sisma vert. + Incr. peso	83.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-83.54	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	885.36	14.58	31.30	-251.92	459.68	Cond. Norm. Eserc.
2	1 193.36	14.58	35.57	-251.92	1 454.09	
3	1 135.09	14.58	35.57	-251.92	1 636.18	
4	1 193.36	36.78	16.65	-635.53	856.58	
5	1 135.09	36.78	16.65	-635.53	1 038.67	
Perm.	6.7	885.36	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	148.74	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-148.74	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	89.24	1 332.56	
Perm.	8.9	885.36	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	148.74	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-148.74	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	89.24	0.00	-1 332.56	

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

$$h_{zattera} = 2.80 \text{ m}$$

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	1 382.60	14.58	31.30	-292.74	547.32	Cond. Norm. Eserc.
2	1 690.60	14.58	35.57	-292.74	1 553.70	
3	1 632.33	14.58	35.57	-292.74	1 735.79	
4	1 690.60	36.78	16.65	-738.51	903.20	
5	1 632.33	36.78	16.65	-738.51	1 085.30	

<i>Perm.</i>	6.7	1 382.60	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	232.28	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-232.28	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	139.37	0.00	1 659.43	
<i>Perm.</i>	8.9	1 382.60	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	232.28	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-232.28	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	139.37	0.00	-1 659.43	0.00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 7$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
6.50	10.00	2.80

Area fondazione  $65.00 \text{ m}^2$

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.

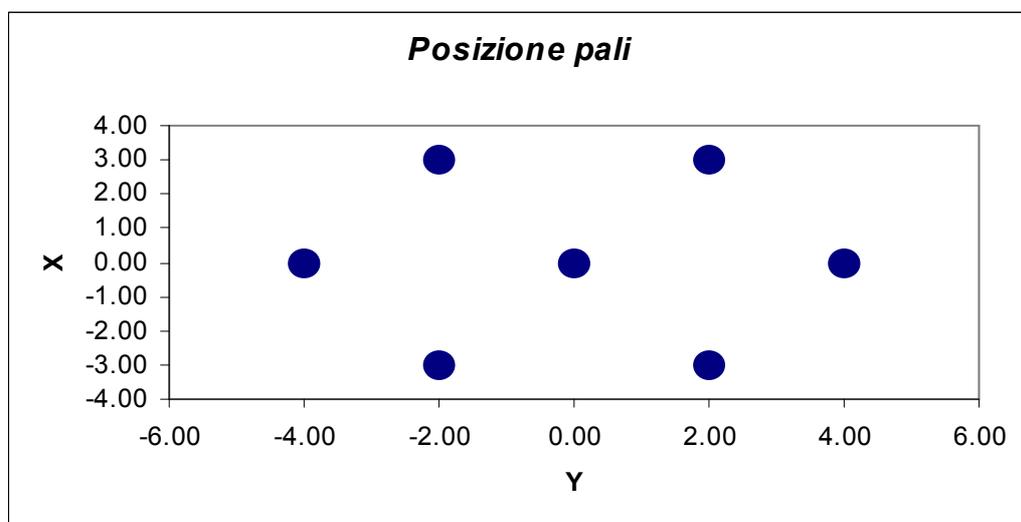
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
36	48

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

Pali	X (m)	Y (m)	$X_{Gi}$ (m)	$Y_{Gi}$ (m)	$W_l$ (m)	$W_t$ (m)
1	3.00	2.00	3.00	2.00	12.00	24.00
2	3.00	-2.00	3.00	-2.00	12.00	-24.00
3	0.00	4.00	0.00	4.00	Infinito	12.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	Infinito	Infinito
5	0.00	-4.00	0.00	-4.00	Infinito	-12.00
6	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-12.00	24.00
7	-3.00	-2.00	-3.00	-2.00	-12.00	-24.00
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	1 382.60	14.58	31.30	-292.74	547.32	Eserc.
	2	1 690.60	14.58	35.57	-292.74	1 553.70	
	3	1 632.33	14.58	35.57	-292.74	1 735.79	
	4	1 690.60	36.78	16.65	-738.51	903.20	
	5	1 632.33	36.78	16.65	-738.51	1 085.30	
<i>Perm.</i>	6.7	1 382.60	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	232.28	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-232.28	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	139.37	0.00	1 659.43	
<i>Perm.</i>	8.9	1 382.60	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	232.28	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-232.28	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	139.37	0.00	-1 659.43	0.00	

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

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

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:

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

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	244.7	330.6	329.9	340.7	340.0	299.8	233.5	369.0	302.6
2	199.1	201.2	185.3	265.4	249.5	161.6	95.2	369.0	302.6
3	243.1	371.0	377.8	316.8	323.6	369.0	302.6	230.7	164.3
4	197.5	241.5	233.2	241.5	233.2	230.7	164.3	230.7	164.3
5	151.9	112.0	88.5	166.2	142.7	92.4	26.0	230.7	164.3
6	195.9	281.9	281.1	217.6	216.9	299.8	233.5	92.4	26.0
7	150.3	152.4	136.5	142.3	126.4	161.6	95.2	92.4	26.0
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{max}$     377.8    t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{min}$     26.0    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> (t)	H <sub>t</sub> (t)	T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
1	14.6	31.3	2.08	4.47	4.93
2	14.6	35.6	2.08	5.08	5.49
3	14.6	35.6	2.08	5.08	5.49
4	36.8	16.7	5.25	2.38	5.77
5	36.8	16.7	5.25	2.38	5.77
6	0.0	139.4	0.00	19.91	19.91
7	0.0	139.4	0.00	19.91	19.91
8	139.4	0.0	19.91	0.00	19.91
9	139.4	0.0	19.91	0.00	19.91

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 19.91 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
369.0	N <sub>max</sub>	377.8
26.0	N <sub>min</sub>	88.5
19.9	T <sub>max</sub>	5.8

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

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} = \text{diametro del palo} &= 125.0 \text{ cm} \\ K_w = \text{modulo di Winkler del terreno} &= 2\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} = \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} &= 321\,994 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_0 = 4.260 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 42.406 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 369.0 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 26.0 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 58.50 \text{ cm} \qquad \text{Copriferro} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 74.3 \text{ cm}^2$$

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

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile cls} = 102.5 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

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

$$\text{Area ideale} = 1.34 \text{ m}^2$$

$$\text{Momento d'inerzia della sezione ideale} = 2.24\text{E}+07 \text{ m}^4$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 39.53 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione min di compressione Cls} = 15.59 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 134.68 \text{ }^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 38.42 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 38.98 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 1256.67 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

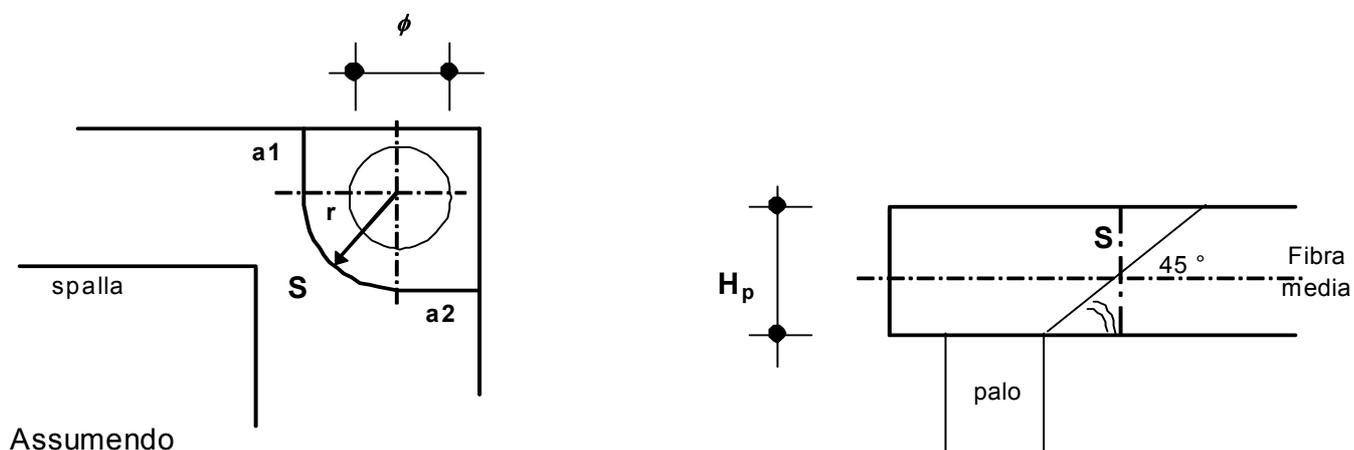
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 377.84 \text{ t}$$

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

$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 2.03 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r/2 + a2) = 14.51 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 2.60 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\begin{aligned} R_{ck} \text{ fondazione} &= 320 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c0} &= 6.26667 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c1} &= 18.8571 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## 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 = 320. ; E = 321994. ; Samm= 102.5 .  
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.	142.	1	137.1	0.	28.	6.1575
1_2	142.	0.	2	136.1	16.8	28.	6.1575
1_3	0.	-142.	3	133.	33.4	28.	6.1575
1_4	-142.	0.	4	127.8	49.5	28.	6.1575
			5	120.8	64.9	28.	6.1575
			6	111.9	79.2	28.	6.1575
			7	101.3	92.4	28.	6.1575
			8	89.2	104.1	28.	6.1575
			9	75.7	114.3	28.	6.1575
			10	61.1	122.7	28.	6.1575
			11	45.6	129.3	28.	6.1575
			12	29.3	133.9	28.	6.1575
			13	12.6	136.5	28.	6.1575
			14	-4.2	137.	28.	6.1575
			15	-21.	135.5	28.	6.1575
			16	-37.5	131.9	28.	6.1575
			17	-53.4	126.3	28.	6.1575
			18	-68.6	118.7	28.	6.1575
			19	-82.6	109.4	28.	6.1575
			20	-95.4	98.4	28.	6.1575
			21	-106.8	85.9	28.	6.1575
			22	-116.6	72.2	28.	6.1575
			23	-124.6	57.3	28.	6.1575
			24	-130.7	41.6	28.	6.1575
			25	-134.8	25.2	28.	6.1575
			26	-136.8	8.4	28.	6.1575
			27	-136.8	-8.5	28.	6.1575
			28	-134.8	-25.2	28.	6.1575
			29	-130.6	-41.6	28.	6.1575
			30	-124.5	-57.3	28.	6.1575
			31	-116.6	-72.2	28.	6.1575

32	-106.8	-86.	28.	6.1575
33	-95.4	-98.4	28.	6.1575
34	-82.6	-109.4	28.	6.1575
35	-68.5	-118.7	28.	6.1575
36	-53.4	-126.3	28.	6.1575
37	-37.5	-131.9	28.	6.1575
38	-21.	-135.5	28.	6.1575
39	-4.2	-137.	28.	6.1575
40	12.7	-136.5	28.	6.1575
41	29.3	-133.9	28.	6.1575
42	45.6	-129.3	28.	6.1575
43	61.1	-122.7	28.	6.1575
44	75.7	-114.3	28.	6.1575
45	89.2	-104.1	28.	6.1575
46	101.3	-92.3	28.	6.1575
47	111.9	-79.2	28.	6.1575
48	120.8	-64.8	28.	6.1575
49	127.8	-49.5	28.	6.1575
50	133.	-33.4	28.	6.1575
51	136.1	-16.8	28.	6.1575

#### 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	-1193360	145409000	-25192000	
2	-1034100	159908000	0	

#### RISULTATI

Piani di equilibrio ( $\text{eps} = \text{muz} * y + \text{muy} * z + \text{lam}$ ):

Sol.	muz	muy	lambda
1	-.00000244436	.00000042347	.00003355725
2	-.00000320334	-.00000000002	.00009319051

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls			Acciaio lento		
	vert.	S cls	Ve	ferro	S ferri	Ve
1	1- 1	-105.6	no	41	1885.8	si
2	1- 1	-121.8	no	39	2688.1	no

## Calcolo della Pila 26.

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	2.80	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	6.50	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	10.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.20	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 $h_{bagg}$	0.55	m
Pulvino $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	16.39	m

#### *Sezioni in pianta*

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	6.33	$m^2$

#### *Baricentri*

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	8.20	m

#### *Momenti d'inerzia*

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	3.19	$m^4$
---	------	-------

#### *Prospetti longitudinali*

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	2.84	m
Altezza fusto pila dal p.c.	15.99	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	8.00	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:

$$\lambda = 54.34$$

## **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:

$$N_{app} = 463.68 \quad t$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 303.47 & t \\ M_t & 486.99 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 246.06 & t \\ M_t & 666.41 & t \cdot m \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
18.67	19.32

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
45.72	105.58

### **### 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:

n° campate collegate	1	
lunghezza complessiva campate collegate	34	m
$H_{f1,a}=0,10*(3*20+3*(lunghezza\ compless.\ campate\ collegate - 9))=$	13.5	t
$H_{f1,b}=0,20*(3*20*(1+0,5+0.35))=$	22.2	t (3 colonne di carico)

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad t$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 13.91 \quad t$$

### **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 ( $T_0 < 0.8$  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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
463.68	56.09	58.05	77.90

### ### 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)	
464	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
56.09	-58.05

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  $M_{s,l}$ :

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

$W$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
463.68	77.90

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	18.67	0.00	19.32
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	463.68	13.91	18.67	0.00	19.32

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	303.47	0.00	0.00	0.00	486.99
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	27.43	0.00	63.35
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	767.15	13.91	27.43	0.00	550.34

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	246.06	0.00	0.00	0.00	666.41
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	27.43	0.00	63.35
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	709.74	13.91	27.43	0.00	729.76

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	303.47	0.00	0.00	0.00	486.99
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.14	0.00	21.12
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>767.15</b>	<b>36.11</b>	<b>9.14</b>	<b>0.00</b>	<b>508.11</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	246.06	0.00	0.00	0.00	666.41
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.14	0.00	21.12
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>709.74</b>	<b>36.11</b>	<b>9.14</b>	<b>0.00</b>	<b>687.53</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05
Sisma vert. +	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>541.57</b>	<b>0.00</b>	<b>56.09</b>	<b>0.00</b>	<b>58.05</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05
Sisma vert. -	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>385.78</b>	<b>0.00</b>	<b>56.09</b>	<b>0.00</b>	<b>58.05</b>

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

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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	56.09	0.00	-58.05	0.00
Sisma vert. +	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>541.57</b>	<b>56.09</b>	<b>0.00</b>	<b>-58.05</b>	<b>0.00</b>

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

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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	56.09	0.00	-58.05	0.00
Sisma vert. -	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>385.78</b>	<b>56.1</b>	<b>0.00</b>	<b>-58.0</b>	<b>0.00</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	463.68	13.91	18.67	0.00	19.32
2	767.15	13.91	27.43	0.00	550.34
3	709.74	13.91	27.43	0.00	729.76
4	767.15	36.11	9.14	0.00	508.11
5	709.74	36.11	9.14	0.00	687.53

Eserc.	6.7	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05
Sisma Trasv.	8.9	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	8.9	0.00	56.09	0.00	-58.05	0.00
Sisma Long.	6.7	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	171.68	17.63
Fusto pila	259.56	8.20
	431.24	11.95

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	20.77	17.63	-366.19
Fusto pila	31.40	8.20	-257.30
	52.16		-623.49

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	20.77	17.63	366.19
Fusto pila	31.40	8.20	257.30
	52.16		623.49

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	431.24	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	52.16	0.00	-623.49	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	52.16	0.00	623.49
Sisma vert. + Incr. peso	72.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-72.45	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

$$A_r = 53.65 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 9.85 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	53.65	13.41	9.85	132.04

## 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.

$$e_v = -19.29 \text{ m}$$

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

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

(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	463.68	13.91	18.67	-268.33	379.38	Cond. Norm. Eserc.
	2	767.15	13.91	27.43	-268.33	1079.47	
	3	709.74	13.91	27.43	-268.33	1258.89	
	4	767.15	36.11	9.14	-696.57	684.49	
	5	709.74	36.11	9.14	-696.57	863.91	

<i>Perm.</i>	6.7	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	56.09	0.00	1139.95	
<i>Perm.</i>	8.9	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	56.09	0.00	-1139.95	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	894.92	13.91	32.08	-268.33	511.42	Cond. Norm. Eserc.
	2	1 198.40	13.91	35.48	-268.33	1 158.70	
	3	1 140.98	13.91	35.48	-268.33	1 338.11	
	4	1 198.40	36.11	17.19	-696.57	763.71	
	5	1 140.98	36.11	17.19	-696.57	943.13	

<i>Perm.</i>	6.7	894.92	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	150.35	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-150.35	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	108.25	0.00	1 763.44	
<i>Perm.</i>	8.9	894.92	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	150.35	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-150.35	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	108.25	0.00	-1 763.44	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	455.00	1.40
Terreno portato	42.24	3.00
	497.24	1.54

**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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Zattera	45.86	1.40	-64.21
Terreno portato	4.26	3.00	-12.77
	50.12		-76.98

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub></b> <b>(t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub></b> <b>(m)</b>	<b>M<sub>t</sub></b> <b>(t*m)</b>
Zattera	45.86	1.40	64.21
Terreno portato	4.26	3.00	12.77
	50.12		76.98

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:

<i>Az. progetto</i>	<b>N</b> <b>(t)</b>	<b>H<sub>l</sub></b> <b>(t)</b>	<b>H<sub>t</sub></b> <b>(t)</b>	<b>M<sub>l</sub></b> <b>(t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub></b> <b>(t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	497.24	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	50.12	0.00	-76.98	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	50.12	0.00	76.98
Sisma vert. + Incr. peso	83.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-83.54	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	894.92	13.91	32.08	-268.33	511.42	Cond. Norm. Eserc.
2	1 198.40	13.91	35.48	-268.33	1 158.70	
3	1 140.98	13.91	35.48	-268.33	1 338.11	
4	1 198.40	36.11	17.19	-696.57	763.71	
5	1 140.98	36.11	17.19	-696.57	943.13	
<i>Perm.</i>	6.7	894.92	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	150.35	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-150.35	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	90.21	1 469.54	
<i>Perm.</i>	8.9	894.92	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	150.35	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-150.35	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	90.21	0.00	-1 469.54	

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

$$h_{zattera} = 2.80 \text{ m}$$

Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera)						Cond. Norm. Eserc.
	<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	1 392.16	13.91	32.08	-307.28	601.23	
2	1 695.63	13.91	35.48	-307.28	1 258.03	
3	1 638.22	13.91	35.48	-307.28	1 437.45	
4	1 695.63	36.11	17.19	-797.68	811.84	
5	1 638.22	36.11	17.19	-797.68	991.26	

<i>Perm.</i>	6.7	1 392.16	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	233.88	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-233.88	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	140.33	0.00	1 799.10	
<i>Perm.</i>	8.9	1 392.16	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	233.88	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-233.88	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	140.33	0.00	-1 799.10	0.00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 7$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
6.50	10.00	2.80

Area fondazione  $65.00 \text{ m}^2$

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

X	Y
0.00	0.00

Baricentro palificata

$X_G$	$Y_G$
0.00	0.00

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

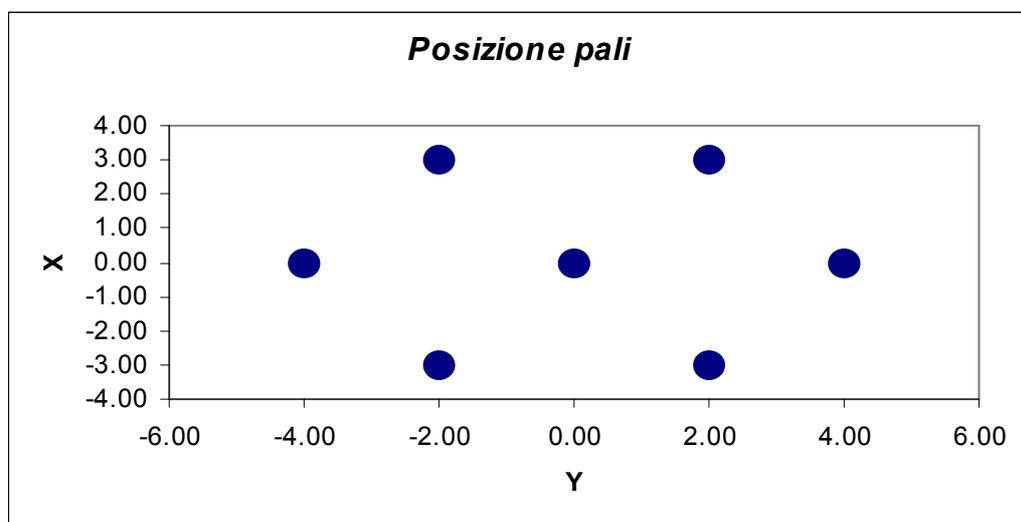
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
36	48

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

Pali	X (m)	Y (m)	$X_{Gi}$ (m)	$Y_{Gi}$ (m)	$W_l$ (m)	$W_t$ (m)
1	3.00	2.00	3.00	2.00	12.00	24.00
2	3.00	-2.00	3.00	-2.00	12.00	-24.00
3	0.00	4.00	0.00	4.00	Infinito	12.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	Infinito	Infinito
5	0.00	-4.00	0.00	-4.00	Infinito	-12.00
6	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-12.00	24.00
7	-3.00	-2.00	-3.00	-2.00	-12.00	-24.00
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	1 392.16	13.91	32.08	-307.28	601.23	Eserc.
	2	1 695.63	13.91	35.48	-307.28	1 258.03	
	3	1 638.22	13.91	35.48	-307.28	1 437.45	
	4	1 695.63	36.11	17.19	-797.68	811.84	
	5	1 638.22	36.11	17.19	-797.68	991.26	
<i>Perm.</i>	6.7	1 392.16	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	233.88	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-233.88	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	140.33	0.00	1 799.10	
<i>Perm.</i>	8.9	1 392.16	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	233.88	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-233.88	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	140.33	0.00	-1 799.10	0.00	

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

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

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:

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

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	249.5	320.3	319.5	342.5	341.8	307.3	240.4	382.2	315.4
2	199.4	215.4	199.7	274.9	259.2	157.3	90.5	382.2	315.4
3	249.0	347.1	353.8	309.9	316.6	382.2	315.4	232.3	165.5
4	198.9	242.2	234.0	242.2	234.0	232.3	165.5	232.3	165.5
5	148.8	137.4	114.2	174.6	151.4	82.4	15.5	232.3	165.5
6	198.3	269.0	268.3	209.6	208.9	307.3	240.4	82.4	15.5
7	148.2	164.2	148.5	141.9	126.3	157.3	90.5	82.4	15.5
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{max}$  382.2 t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{min}$  15.5 t

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

Sollecitazioni a quota intradosso zattera					
COMB.	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
1	13.9	32.1	1.99	4.58	4.99
2	13.9	35.5	1.99	5.07	5.44
3	13.9	35.5	1.99	5.07	5.44
4	36.1	17.2	5.16	2.46	5.71
5	36.1	17.2	5.16	2.46	5.71
6	0.0	140.3	0.00	20.05	20.05
7	0.0	140.3	0.00	20.05	20.05
8	140.3	0.0	20.05	0.00	20.05
9	140.3	0.0	20.05	0.00	20.05

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 20.05 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
382.2	N <sub>max</sub>	353.8
15.5	N <sub>min</sub>	114.2
20.0	T <sub>max</sub>	5.7

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

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 125.0 \text{ cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 321\,994 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_0 = 4.260 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 42.699 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 382.2 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 15.5 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 58.50 \text{ cm} \qquad \text{Copriferro} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 74.3 \text{ cm}^2$$

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

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile cls} = 102.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2\,600 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Area ideale} = 1.34 \text{ m}^2$$

$$\text{Momento d'inerzia della sezione ideale} = 2.24\text{E}+07 \text{ m}^4$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 40.60 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione min di compressione Cls} = 16.50 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 128.89 \text{ }^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 35.54 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 39.75 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 1\,434.09 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

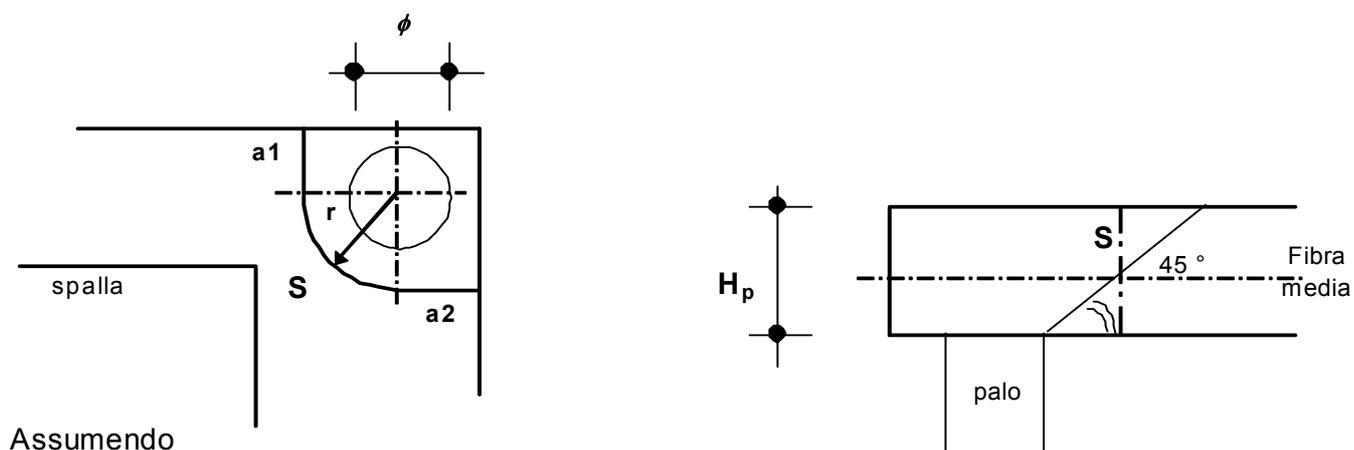
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 382.22 \text{ t}$$

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

$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 2.03 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r/2 + a2) = 14.51 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 2.63 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\begin{aligned} R_{ck} \text{ fondazione} &= 320 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c0} &= 6.26667 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c1} &= 18.8571 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## 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 = 320. ; E = 321994. ; Samm= 102.5 .  
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.	142.	1	137.6	0.	28.	6.1575
1_2	142.	0.	2	136.6	16.9	28.	6.1575
1_3	0.	-142.	3	133.4	33.6	28.	6.1575
1_4	-142.	0.	4	128.3	49.7	28.	6.1575
			5	121.2	65.1	28.	6.1575
			6	112.3	79.5	28.	6.1575
			7	101.7	92.7	28.	6.1575
			8	89.5	104.5	28.	6.1575
			9	76.	114.7	28.	6.1575
			10	61.3	123.2	28.	6.1575
			11	45.7	129.8	28.	6.1575
			12	29.4	134.4	28.	6.1575
			13	12.7	137.	28.	6.1575
			14	-4.3	137.5	28.	6.1575
			15	-21.1	136.	28.	6.1575
			16	-37.7	132.3	28.	6.1575
			17	-53.7	126.7	28.	6.1575
			18	-68.8	119.1	28.	6.1575
			19	-83.	109.8	28.	6.1575
			20	-95.8	98.7	28.	6.1575
			21	-107.2	86.2	28.	6.1575
			22	-117.	72.4	28.	6.1575
			23	-125.	57.5	28.	6.1575
			24	-131.1	41.7	28.	6.1575
			25	-135.3	25.2	28.	6.1575
			26	-137.3	8.4	28.	6.1575
			27	-137.3	-8.5	28.	6.1575
			28	-135.2	-25.4	28.	6.1575
			29	-131.1	-41.8	28.	6.1575
			30	-125.	-57.6	28.	6.1575
			31	-116.9	-72.5	28.	6.1575

32	-107.1	-86.3	28.		6.1575	
33	-95.7	-98.8	28.		6.1575	
34	-82.8	-109.9	28.		6.1575	
35	-68.7	-119.2	28.		6.1575	
36	-53.5	-126.8	28.		6.1575	
37	-37.6	-132.4	28.		6.1575	
38	-21.	-136.	28.		6.1575	
39	-4.1	-137.5	28.		6.1575	
40	12.8	-137.	28.		6.1575	
41	29.5	-134.4	28.		6.1575	
42	45.8	-129.7	28.		6.1575	
43	61.4	-123.1	28.		6.1575	
44	76.1	-114.6	28.		6.1575	
45	89.6	-104.4	28.		6.1575	
46	101.8	-92.6	28.		6.1575	
47	112.4	-79.4	28.		6.1575	
48	121.3	-65.	28.		6.1575	
49	128.4	-49.6	28.		6.1575	
50	133.5	-33.4	28.		6.1575	
51	136.6	-16.8	28.		6.1575	

#### 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	-1198400	115870000	-26833000	
2	-1045270	176344000	0	

#### RISULTATI

Piani di equilibrio ( $\text{eps} = \text{muz} * y + \text{muy} * z + \text{lam}$ ):

Sol.	muz	muy	lambda	
1	-.0000015807	.00000036603	-.00001308919	
2	-.00000372764	-.000000000008	.00012558206	

Tensioni massime sui materiali:

	Cls			Acciaio lento		
sol	vert.	S cls	Ve	ferro	S ferri	Ve
1	1- 1	-80.	<b>si</b>	16	-1192.5	<b>si</b>
2	1- 1	-136.	<b>no</b>	39	3224.1	<b>no</b>

## Calcolo della Pila 30.

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	2.80	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	8.00	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	10.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.10	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 $h_{bagg}$	0.55	m
Pulvino $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	18.01	m

#### **Sezioni in pianta**

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	6.33	$m^2$

#### **Baricentri**

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	9.01	m

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

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	3.19	$m^4$
---	------	-------

#### **Prospetti longitudinali**

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	2.84	m
Altezza fusto pila dal p.c.	17.71	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	8.86	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:

$$\lambda = 58.90$$

## **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:

$$N_{app} = 494.86 \quad t$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 309.00 & t \\ M_t & 495.86 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 250.54 & t \\ M_t & 678.54 & t \cdot m \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
17.74	18.36

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
43.45	110.39

### **### 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:

$$\begin{aligned} \text{n° campate collegate} & \quad 1 \\ \text{lunghezza complessiva campate collegate} & \quad 34.03 \quad \text{m} \\ H_{f1,a} & = 0,10 * (3 * 20 + 3 * (\text{lunghezza compless. campate collegate} - 9)) = 13.509 \quad \text{t} \\ H_{f1,b} & = 0,20 * (3 * 20 * (1 + 0,5 + 0,35)) = 22.2 \quad \text{t} \quad (3 \text{ colonne di carico}) \end{aligned}$$

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad \text{t}$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 14.85 \quad \text{t}$$

### **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

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

$W_h$

CARICHI PERMANENTI

S

grado di sismicità

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

coefficiente di intensità sismica

$$R = 1.00$$

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

$$\varepsilon = 1.20$$

coefficiente di fondazione

$$\beta = 1.20$$

coefficiente di struttura ISOSTATICA

$$I = 1.20$$

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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
494.86	59.86	61.95	83.14

### ### 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)	
495	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
59.86	-61.95

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)
494.86	83.14

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	17.74	0.00	18.36
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
TOT	494.86	14.85	17.74	0.00	18.36

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	309.00	0.00	0.00	0.00	495.86
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	26.07	0.00	66.23
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
TOT	803.85	14.85	26.07	0.00	562.09

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	250.54	0.00	0.00	0.00	678.54
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	26.07	0.00	66.23
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
TOT	745.40	14.85	26.07	0.00	744.78

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	309.00	0.00	0.00	0.00	495.86
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	8.69	0.00	22.08
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>803.85</b>	<b>37.05</b>	<b>8.69</b>	<b>0.00</b>	<b>517.94</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	250.54	0.00	0.00	0.00	678.54
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	8.69	0.00	22.08
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>745.40</b>	<b>37.05</b>	<b>8.69</b>	<b>0.00</b>	<b>700.62</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	59.86	0.00	61.95
Sisma vert. +	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>577.99</b>	<b>0.00</b>	<b>59.86</b>	<b>0.00</b>	<b>61.95</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	59.86	0.00	61.95
Sisma vert. -	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>411.72</b>	<b>0.00</b>	<b>59.86</b>	<b>0.00</b>	<b>61.95</b>

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

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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	59.86	0.00	-61.95	0.00
Sisma vert. +	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	577.99	59.86	0.00	-61.95	0.00

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

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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	59.86	0.00	-61.95	0.00
Sisma vert. -	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	411.72	59.9	0.00	-62.0	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 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	494.86	14.85	17.74	0.00	18.36
2	803.85	14.85	26.07	0.00	562.09
3	745.40	14.85	26.07	0.00	744.78
4	803.85	37.05	8.69	0.00	517.94
5	745.40	37.05	8.69	0.00	700.62

Perm.	6.7	494.86	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	83.14	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-83.14	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	59.86	61.95	
Perm.	8.9	494.86	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	83.14	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-83.14	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	59.86	0.00	-61.95	

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	171.68	19.25
Fusto pila	285.22	9.01
	456.90	12.86

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	20.77	19.25	-399.83
Fusto pila	34.50	9.01	-310.67
	55.27		-710.51

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	20.77	19.25	399.83
Fusto pila	34.50	9.01	310.67
	55.27		710.51

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:

<i>Az. progetto</i>	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	456.90	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	55.27	0.00	-710.51	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	55.27	0.00	710.51
Sisma vert. + Incr. peso	76.76	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-76.76	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

$$A_r = 58.53 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 10.61 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	58.53	14.63	10.61	155.18

## 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.

$$e_v = -20.91 \text{ m}$$

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

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

(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	494.86	14.85	17.74	-310.42	389.32	Cond. Norm. Eserc.
2	803.85	14.85	26.07	-310.42	1107.24	
3	745.40	14.85	26.07	-310.42	1289.93	
4	803.85	37.05	8.69	-774.63	699.65	
5	745.40	37.05	8.69	-774.63	882.34	

<i>Perm.</i>	6.7	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	59.86	0.00	1313.58	
<i>Perm.</i>	8.9	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	59.86	0.00	-1313.58	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	951.76	14.85	32.37	-310.42	544.51	Cond. Norm. Eserc.
2	1 260.75	14.85	34.85	-310.42	1 200.36	
3	1 202.30	14.85	34.85	-310.42	1 383.04	
4	1 260.75	37.05	17.47	-774.63	792.76	
5	1 202.30	37.05	17.47	-774.63	975.45	

<i>Perm.</i>	6.7	951.76	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	159.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-159.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	115.12	0.00	2 024.09	
<i>Perm.</i>	8.9	951.76	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	159.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-159.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	115.12	0.00	-2 024.09	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	560.00	1.40
Terreno portato	39.78	2.95
	599.78	1.50

**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_I</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_I</math> (t*m)</b>
Zattera	56.45	1.40	-79.03
Terreno portato	4.01	2.95	-11.83
	60.46		-90.86

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	56.45	1.40	79.03
Terreno portato	4.01	2.95	11.83
	60.46		90.86

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	599.78	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	60.46	0.00	-90.86	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	60.46	0.00	90.86
Sisma vert. + Incr. peso	100.76	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-100.76	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	951.76	14.85	32.37	-310.42	544.51	Cond. Norm. Eserc.
2	1 260.75	14.85	34.85	-310.42	1 200.36	
3	1 202.30	14.85	34.85	-310.42	1 383.04	
4	1 260.75	37.05	17.47	-774.63	792.76	
5	1 202.30	37.05	17.47	-774.63	975.45	
Perm.	6.7	951.76	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	159.90	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-159.90	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	95.94	1 686.74	
Perm.	8.9	951.76	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	159.90	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-159.90	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	95.94	0.00	-1 686.74	

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

$$h_{zattera} = 2.80 \text{ m}$$

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	1 551.54	14.85	32.37	-351.99	635.16	Cond. Norm. Eserc.
2	1 860.53	14.85	34.85	-351.99	1 297.94	
3	1 802.07	14.85	34.85	-351.99	1 480.62	
4	1 860.53	37.05	17.47	-878.35	841.68	
5	1 802.07	37.05	17.47	-878.35	1 024.37	

<i>Perm.</i>	6.7	1 551.54	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	260.66	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-260.66	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	156.39	0.00	2 046.22	
<i>Perm.</i>	8.9	1 551.54	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	260.66	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-260.66	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	156.39	0.00	-2 046.22	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
8.00	10.00	2.80

Area fondazione  $80.00 \text{ m}^2$

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.

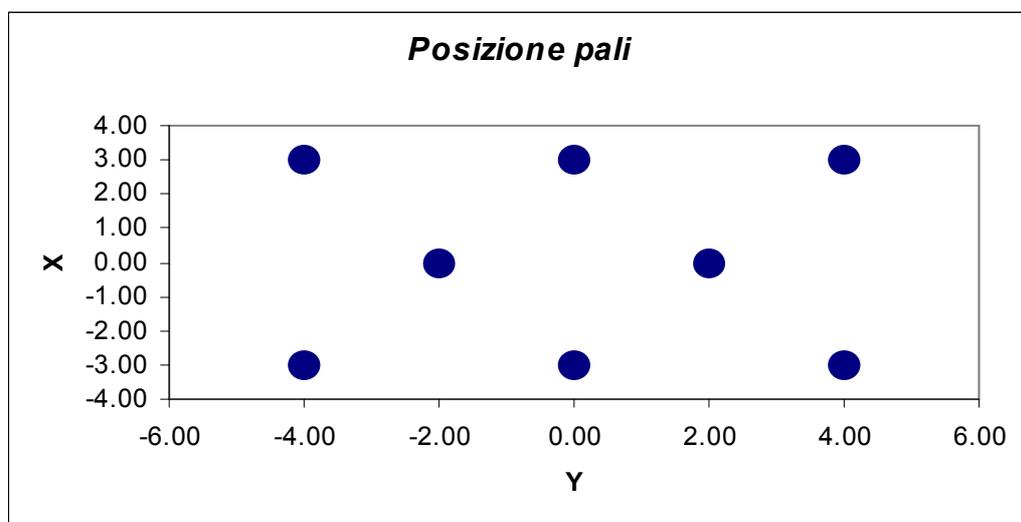
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
54	72

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

Pali	X (m)	Y (m)	$X_{Gi}$ (m)	$Y_{Gi}$ (m)	$W_l$ (m)	$W_t$ (m)
1	3.00	4.00	3.00	4.00	18.00	18.00
2	3.00	0.00	3.00	0.00	18.00	Infinito
3	3.00	-4.00	3.00	-4.00	18.00	-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	-3.00	4.00	-3.00	4.00	-18.00	18.00
7	-3.00	0.00	-3.00	0.00	-18.00	Infinito
8	-3.00	-4.00	-3.00	-4.00	-18.00	-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	1 551.54	14.85	32.37	-351.99	635.16	Eserc.
	2	1 860.53	14.85	34.85	-351.99	1 297.94	
	3	1 802.07	14.85	34.85	-351.99	1 480.62	
	4	1 860.53	37.05	17.47	-878.35	841.68	
	5	1 802.07	37.05	17.47	-878.35	1 024.37	
<i>Perm.</i>	6.7	1 551.54	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	260.66	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-260.66	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	156.39	0.00	2 046.22	
<i>Perm.</i>	8.9	1 551.54	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	260.66	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-260.66	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	156.39	0.00	-2 046.22	0.00	

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

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

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:

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

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	248.8	324.2	327.1	328.1	331.0	340.2	275.0	340.2	275.0
2	213.5	252.1	244.8	281.4	274.1	226.5	161.4	340.2	275.0
3	178.2	180.0	162.6	234.6	217.1	112.8	47.7	340.2	275.0
4	211.6	268.6	266.4	255.9	253.7	283.4	218.2	226.5	161.4
5	176.3	196.5	184.1	209.2	196.8	169.7	104.5	226.5	161.4
6	209.7	285.1	288.0	230.5	233.4	340.2	275.0	112.8	47.7
7	174.4	213.0	205.7	183.8	176.5	226.5	161.4	112.8	47.7
8	139.1	140.9	123.4	137.0	119.6	112.8	47.7	112.8	47.7
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{\max}$     340.2        t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{\min}$     47.7        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> (t)	H <sub>t</sub> (t)	T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
1	14.8	32.4	1.86	4.05	4.45
2	14.8	34.9	1.86	4.36	4.74
3	14.8	34.9	1.86	4.36	4.74
4	37.0	17.5	4.63	2.18	5.12
5	37.0	17.5	4.63	2.18	5.12
6	0.0	156.4	0.00	19.55	19.55
7	0.0	156.4	0.00	19.55	19.55
8	156.4	0.0	19.55	0.00	19.55
9	156.4	0.0	19.55	0.00	19.55

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 19.55 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
340.2	N <sub>max</sub>	331.0
47.7	N <sub>min</sub>	119.6
19.5	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  $L_0$  lunghezza elastica del palo

Ponendo

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} = \text{diametro del palo} &= 125.0 \text{ cm} \\ K_w = \text{modulo di Winkler del terreno} &= 2\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} = \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} &= 321\,994 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_0 = 4.260 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 41.639 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 340.2 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 47.7 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 58.50 \text{ cm} \qquad \text{Copriferro} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 74.3 \text{ cm}^2$$

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

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile cls} = 102.5 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

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

$$\text{Area ideale} = 1.34 \text{ m}^2$$

$$\text{Momento d'inerzia della sezione ideale} = 2.24\text{E}+07 \text{ m}^4$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 37.17 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione min di compressione Cls} = 13.66 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 148.65 \text{ }^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 45.62 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 36.71 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 910.00 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

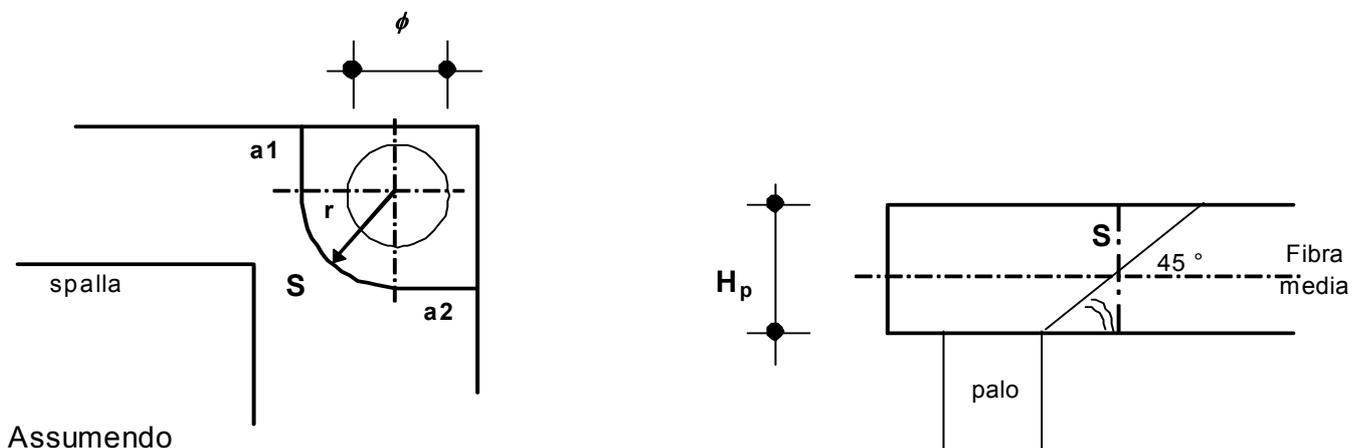
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 340.20 \text{ t}$$

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:



$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 2.03 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r/2 + a2) = 14.51 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 2.35 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\begin{aligned} R_{ck} \text{ fondazione} &= 320 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c0} &= 6.26667 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c1} &= 18.8571 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## 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 = 320. ; E = 321994. ; Samm= 102.5 .  
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.	142.	1	136.6	0.	28.	6.1575
1_2	142.	0.	2	135.4	17.8	28.	6.1575
1_3	0.	-142.	3	131.9	35.4	28.	6.1575
1_4	-142.	0.	4	126.2	52.3	28.	6.1575
			5	118.3	68.3	28.	6.1575
			6	108.4	83.2	28.	6.1575
			7	96.6	96.6	28.	6.1575
			8	83.2	108.4	28.	6.1575
			9	68.3	118.3	28.	6.1575
			10	52.3	126.2	28.	6.1575
			11	35.4	131.9	28.	6.1575
			12	17.8	135.4	28.	6.1575
			13	0.	136.6	28.	6.1575
			14	-17.8	135.4	28.	6.1575
			15	-35.4	131.9	28.	6.1575
			16	-52.3	126.2	28.	6.1575
			17	-68.3	118.3	28.	6.1575
			18	-83.2	108.4	28.	6.1575
			19	-96.6	96.6	28.	6.1575
			20	-108.4	83.2	28.	6.1575
			21	-118.3	68.3	28.	6.1575
			22	-126.2	52.3	28.	6.1575
			23	-131.9	35.4	28.	6.1575
			24	-135.4	17.8	28.	6.1575
			25	-136.6	0.	28.	6.1575
			26	-135.4	-17.8	28.	6.1575
			27	-131.9	-35.4	28.	6.1575
			28	-126.2	-52.3	28.	6.1575
			29	-118.3	-68.3	28.	6.1575
			30	-108.4	-83.2	28.	6.1575
			31	-96.6	-96.6	28.	6.1575

32	-83.2	-108.4	28.		6.1575
33	-68.3	-118.3	28.		6.1575
34	-52.3	-126.2	28.		6.1575
35	-35.4	-131.9	28.		6.1575
36	-17.8	-135.4	28.		6.1575
37	0.	-136.6	28.		6.1575
38	17.8	-135.4	28.		6.1575
39	35.4	-131.9	28.		6.1575
40	52.3	-126.2	28.		6.1575
41	68.3	-118.3	28.		6.1575
42	83.2	-108.4	28.		6.1575
43	96.6	-96.6	28.		6.1575
44	108.4	-83.2	28.		6.1575
45	118.3	-68.3	28.		6.1575
46	126.2	-52.3	28.		6.1575
47	131.9	-35.4	28.		6.1575
48	135.4	-17.8	28.		6.1575

#### 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	-1260750		120036000		-31042000		
2	-1111650		300553000		0		

#### RISULTATI

Piani di equilibrio ( $\text{eps} = \text{muz} * y + \text{muy} * z + \text{lam}$ ):

Sol.	muz		muy		lambda	
1	-.00000166917		.00000043165		-.00001297871	
2	-.00000835772		0.		.000437866	

Tensioni massime sui materiali:

Cls				Acciaio lento			
sol	vert.	S cls	Ve	ferro	S ferri	Ve	
1	1- 1	-84.2	<b>si</b>	15	-1255.1	<b>si</b>	
2	1- 1	-252.2	<b>no</b>	37	7978.6	<b>no</b>	

## Calcolo della Pila 36.

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	2.80	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	8.00	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	10.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.40	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 $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	24.04	m

#### **Sezioni in pianta**

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	m <sup>2</sup>
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	m <sup>2</sup>
Area fusto pila allo spiccato pila	6.33	m <sup>2</sup>

#### **Baricentri**

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	12.02	m

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

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	3.19	m <sup>4</sup>
---	------	----------------

#### **Prospetti longitudinali**

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	2.84	m
Altezza fusto pila dal p.c.	23.44	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	11.72	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:

$$\lambda = 75.89$$

## **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:

$$N_{app} = 569.45 \text{ t}$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 319.50 & \text{t} \\ M_t & 512.71 & \text{t*m} \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 259.05 & \text{t} \\ M_t & 701.60 & \text{t*m} \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
19.89	20.58

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
48.71	123.75

### **### 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:

$$\begin{aligned} \text{n° campate collegate} & \quad 1 \\ \text{lunghezza complessiva campate collegate} & \quad 33.91 \quad \text{m} \\ H_{f1,a} & = 0,10 * (3 * 20 + 3 * (\text{lunghezza compless. campate collegate} - 9)) = 13.473 \quad \text{t} \\ H_{f1,b} & = 0,20 * (3 * 20 * (1 + 0,5 + 0,35)) = 22.2 \quad \text{t} \quad (3 \text{ colonne di carico}) \end{aligned}$$

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad \text{t}$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 17.08 \quad \text{t}$$

### **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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
569.45	68.88	71.29	95.67

### ### 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)	
569	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
68.88	-71.29

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  $M_{s,l}$ :

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

$W$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
569.45	95.67

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	19.89	0.00	20.58
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
TOT	569.45	17.08	19.89	0.00	20.58

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	319.50	0.00	0.00	0.00	512.71
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	29.23	0.00	74.25
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
TOT	888.95	17.08	29.23	0.00	586.96

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	259.05	0.00	0.00	0.00	701.60
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	29.23	0.00	74.25
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
TOT	828.50	17.08	29.23	0.00	775.85

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	319.50	0.00	0.00	0.00	512.71
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.74	0.00	24.75
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>888.95</b>	<b>39.28</b>	<b>9.74</b>	<b>0.00</b>	<b>537.46</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	259.05	0.00	0.00	0.00	701.60
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.74	0.00	24.75
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>828.50</b>	<b>39.28</b>	<b>9.74</b>	<b>0.00</b>	<b>726.35</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	68.88	0.00	71.29
Sisma vert. +	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>665.12</b>	<b>0.00</b>	<b>68.88</b>	<b>0.00</b>	<b>71.29</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	68.88	0.00	71.29
Sisma vert. -	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>473.78</b>	<b>0.00</b>	<b>68.88</b>	<b>0.00</b>	<b>71.29</b>

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

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	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	68.88	0.00	-71.29	0.00
Sisma vert. +	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>665.12</b>	<b>68.88</b>	<b>0.00</b>	<b>-71.29</b>	<b>0.00</b>

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

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	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	68.88	0.00	-71.29	0.00
Sisma vert. -	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>473.78</b>	<b>68.9</b>	<b>0.00</b>	<b>-71.3</b>	<b>0.00</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	569.45	17.08	19.89	0.00	20.58
2	888.95	17.08	29.23	0.00	586.96
3	828.50	17.08	29.23	0.00	775.85
4	888.95	39.28	9.74	0.00	537.46
5	828.50	39.28	9.74	0.00	726.35

Eserc.	6.7	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	68.88	0.00	71.29
	8.9	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma Trasv.	6.7	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	68.88	0.00	71.29
Sisma Long.	8.9	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	8.9	0.00	68.88	0.00	-71.29	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	171.68	25.28
Fusto pila	380.72	12.02
	552.40	16.14

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	20.77	25.28	-525.05
Fusto pila	46.05	12.02	-553.54
	66.82		-1078.59

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	20.77	25.28	525.05
Fusto pila	46.05	12.02	553.54
	66.82		1078.59

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	552.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	66.82	0.00	-1 078.59	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	66.82	0.00	1 078.59
Sisma vert. + Incr. peso	92.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-92.80	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

$$A_r = 74.81 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 13.77 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	74.81	18.70	13.77	257.52

## 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.

$$e_v = -26.94 \text{ m}$$

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

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

(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	569.45	17.08	19.89	-460.23	556.39	Cond. Norm. Eserc.
2	888.95	17.08	29.23	-460.23	1374.35	
3	828.50	17.08	29.23	-460.23	1563.25	
4	888.95	39.28	9.74	-1058.30	799.92	
5	828.50	39.28	9.74	-1058.30	988.82	

<i>Perm.</i>	6.7	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	68.88	0.00	1926.94	
<i>Perm.</i>	8.9	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	68.88	0.00	-1926.94	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	1 121.85	17.08	38.59	-460.23	813.90	Cond. Norm. Eserc.
2	1 441.34	17.08	40.45	-460.23	1 528.87	
3	1 380.90	17.08	40.45	-460.23	1 717.76	
4	1 441.34	39.28	20.96	-1 058.30	954.43	
5	1 380.90	39.28	20.96	-1 058.30	1 143.33	

<i>Perm.</i>	6.7	1 121.85	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	188.47	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-188.47	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	135.70	0.00	3 005.53	
<i>Perm.</i>	8.9	1 121.85	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	188.47	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-188.47	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	135.70	0.00	-3 005.53	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	560.00	1.40
Terreno portato	79.56	3.10
	639.56	1.61

**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_I</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_I</math> (t*m)</b>
Zattera	56.45	1.40	-79.03
Terreno portato	8.02	3.10	-24.86
	64.47		-103.89

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	56.45	1.40	79.03
Terreno portato	8.02	3.10	24.86
	64.47		103.89

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	639.56	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	64.47	0.00	-103.89	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	64.47	0.00	103.89
Sisma vert. + Incr. peso	107.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-107.45	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	1 121.85	17.08	38.59	-460.23	813.90	Cond. Norm. Eserc.
2	1 441.34	17.08	40.45	-460.23	1 528.87	
3	1 380.90	17.08	40.45	-460.23	1 717.76	
4	1 441.34	39.28	20.96	-1 058.30	954.43	
5	1 380.90	39.28	20.96	-1 058.30	1 143.33	
<i>Perm.</i>	6.7	1 121.85	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	188.47	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-188.47	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	113.08	2 504.61	
<i>Perm.</i>	8.9	1 121.85	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	188.47	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-188.47	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	113.08	0.00	-2 504.61	

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

$$h_{zattera} = 2.80 \text{ m}$$

Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera)						Cond. Norm. Eserc.
	<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	1 761.40	17.08	38.59	-508.06	921.96	
2	2 080.90	17.08	40.45	-508.06	1 642.12	
3	2 020.46	17.08	40.45	-508.06	1 831.01	
4	2 080.90	39.28	20.96	-1 168.29	1 013.13	
5	2 020.46	39.28	20.96	-1 168.29	1 202.02	

<i>Perm.</i>	6.7	1 761.40	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	295.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-295.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	177.55	0.00	2 925.13	
<i>Perm.</i>	8.9	1 761.40	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	295.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-295.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	177.55	0.00	-2 925.13	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
8.00	10.00	2.80

Area fondazione  $80.00 \text{ m}^2$

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.

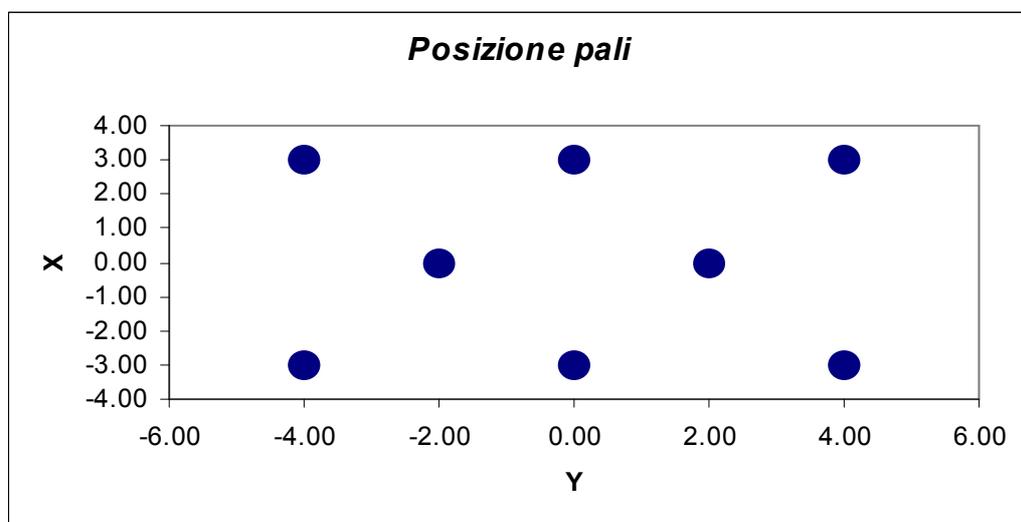
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
54	72

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

Pali	X (m)	Y (m)	$X_{Gi}$ (m)	$Y_{Gi}$ (m)	$W_l$ (m)	$W_t$ (m)
1	3.00	4.00	3.00	4.00	18.00	18.00
2	3.00	0.00	3.00	0.00	18.00	Infinito
3	3.00	-4.00	3.00	-4.00	18.00	-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	-3.00	4.00	-3.00	4.00	-18.00	18.00
7	-3.00	0.00	-3.00	0.00	-18.00	Infinito
8	-3.00	-4.00	-3.00	-4.00	-18.00	-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	1 761.40	17.08	38.59	-508.06	921.96	Eserc.
	2	2 080.90	17.08	40.45	-508.06	1 642.12	
	3	2 020.46	17.08	40.45	-508.06	1 831.01	
	4	2 080.90	39.28	20.96	-1 168.29	1 013.13	
	5	2 020.46	39.28	20.96	-1 168.29	1 202.02	
<i>Perm.</i>	6.7	1 761.40	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	295.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-295.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	177.55	0.00	2 925.13	
<i>Perm.</i>	8.9	1 761.40	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	295.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-295.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	177.55	0.00	-2 925.13	0.00	

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

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

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:

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

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	299.6	379.6	382.5	381.3	384.2	419.7	345.7	419.7	345.7
2	248.4	288.3	280.8	325.0	317.5	257.2	183.2	419.7	345.7
3	197.2	197.1	179.1	268.7	250.7	94.7	20.7	419.7	345.7
4	245.8	305.7	303.4	288.3	285.9	338.4	264.4	257.2	183.2
5	194.6	214.5	201.7	232.0	219.2	175.9	101.9	257.2	183.2
6	243.2	323.1	326.1	251.5	254.4	419.7	345.7	94.7	20.7
7	192.0	231.9	224.3	195.2	187.7	257.2	183.2	94.7	20.7
8	140.7	140.7	122.6	138.9	120.9	94.7	20.7	94.7	20.7
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{max}$     419.7        t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{min}$     20.7        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> (t)	H <sub>t</sub> (t)	T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
1	17.1	38.6	2.14	4.82	5.28
2	17.1	40.4	2.14	5.06	5.49
3	17.1	40.4	2.14	5.06	5.49
4	39.3	21.0	4.91	2.62	5.57
5	39.3	21.0	4.91	2.62	5.57
6	0.0	177.5	0.00	22.19	22.19
7	0.0	177.5	0.00	22.19	22.19
8	177.5	0.0	22.19	0.00	22.19
9	177.5	0.0	22.19	0.00	22.19

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 22.19 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
419.7	N <sub>max</sub>	384.2
20.7	N <sub>min</sub>	120.9
22.2	T <sub>max</sub>	5.6

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

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 125.0 \text{ cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 321\,994 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_0 = 4.260 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 47.271 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 419.7 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 20.7 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 58.50 \text{ cm} \qquad \text{Copriferro} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 74.3 \text{ cm}^2$$

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

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile cls} = 102.5 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

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

$$\text{Area ideale} = 1.34 \text{ m}^2$$

$$\text{Momento d'inerzia della sezione ideale} = 2.24\text{E}+07 \text{ m}^4$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 44.69 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione min di compressione Cls} = 18.01 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 130.54 \text{ }^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 36.36 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 43.87 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 1532.06 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

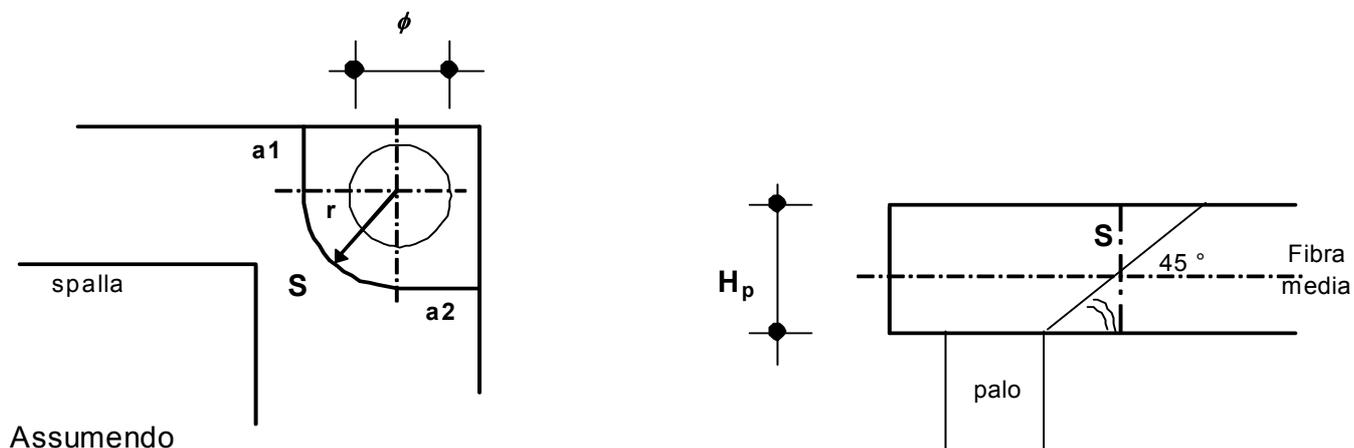
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 419.67 \text{ t}$$

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

$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 2.03 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r/2 + a2) = 14.51 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 2.89 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\begin{aligned} R_{ck} \text{ fondazione} &= 320 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c0} &= 6.26667 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c1} &= 18.8571 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## 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 = 320. ; E = 321994. ; Samm= 102.5  
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.	142.	1	136.6	0.	28.	6.1575
1_2	142.	0.	2	136.	13.	28.	6.1575
1_3	0.	-142.	3	134.1	25.8	28.	6.1575
1_4	-142.	0.	4	131.1	38.5	28.	6.1575
			5	126.8	50.7	28.	6.1575
			6	121.4	62.5	28.	6.1575
			7	115.	73.8	28.	6.1575
			8	107.4	84.4	28.	6.1575
			9	98.9	94.2	28.	6.1575
			10	89.5	103.2	28.	6.1575
			11	79.3	111.2	28.	6.1575
			12	68.4	118.2	28.	6.1575
			13	56.9	124.2	28.	6.1575
			14	44.8	129.	28.	6.1575
			15	32.4	132.7	28.	6.1575
			16	19.6	135.2	28.	6.1575
			17	6.7	136.4	28.	6.1575
			18	-6.3	136.5	28.	6.1575
			19	-19.2	135.2	28.	6.1575
			20	-32.	132.8	28.	6.1575
			21	-44.5	129.2	28.	6.1575
			22	-56.5	124.3	28.	6.1575
			23	-68.1	118.4	28.	6.1575
			24	-79.	111.4	28.	6.1575
			25	-89.3	103.4	28.	6.1575
			26	-98.7	94.5	28.	6.1575
			27	-107.2	84.7	28.	6.1575
			28	-114.8	74.1	28.	6.1575
			29	-121.3	62.9	28.	6.1575
			30	-126.7	51.1	28.	6.1575
			31	-131.	38.8	28.	6.1575

32	-134.1	26.2	28.	6.1575
33	-135.9	13.3	28.	6.1575
34	-136.6	.4	28.	6.1575
35	-136.	-12.6	28.	6.1575
36	-134.2	-25.5	28.	6.1575
37	-131.2	-38.1	28.	6.1575
38	-127.	-50.4	28.	6.1575
39	-121.6	-62.2	28.	6.1575
40	-115.1	-73.5	28.	6.1575
41	-107.6	-84.1	28.	6.1575
42	-99.2	-93.9	28.	6.1575
43	-89.8	-102.9	28.	6.1575
44	-79.6	-111.	28.	6.1575
45	-68.7	-118.1	28.	6.1575
46	-57.2	-124.1	28.	6.1575
47	-45.1	-128.9	28.	6.1575
48	-32.7	-132.6	28.	6.1575
49	-20.	-135.1	28.	6.1575
50	-7.	-136.4	28.	6.1575
51	6.	-136.5	28.	6.1575
52	18.9	-135.3	28.	6.1575
53	31.7	-132.9	28.	6.1575
54	44.1	-129.3	28.	6.1575
55	56.2	-124.5	28.	6.1575
56	67.8	-118.6	28.	6.1575
57	78.7	-111.6	28.	6.1575
58	89.	-103.6	28.	6.1575
59	98.4	-94.7	28.	6.1575
60	107.	-84.9	28.	6.1575
61	114.6	-74.4	28.	6.1575
62	121.1	-63.2	28.	6.1575
63	126.6	-51.4	28.	6.1575
64	130.9	-39.1	28.	6.1575
65	134.	-26.5	28.	6.1575
66	135.9	-13.7	28.	6.1575

#### 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	-1441340	152887000	-46023000	
2	-1310320	300553000	0	

## RISULTATI

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

Sol.	$\mu_z$	$\mu_y$	$\lambda$
1	-0.00000207703	0.00000062554	-0.00000485436
2	-0.00000626847	0.00000000141	0.00024860185

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls			Acciaio lento		
	vert.	S cls	Ve	ferro	S ferri	Ve
1	1- 1	-101.	<b>si</b>	21	-1520.1	<b>si</b>
2	1- 1	-216.	<b>no</b>	51	5576.9	<b>no</b>

## PARTE II

## **PREMESSA**

Il presente calcolo riguarda le verifiche dei fusti pila di nuova realizzazione, limitati alle pile in alveo in cui l'intervento prevede la demolizione totale di 5 pile (nn° 3-4-5-6-7) ed il rifacimento di 3 pile (nn° 3-4-5) con luci differenti (60.00 m anziché 34.00 m).

Da questo intervento consegue una nuova numerazione delle pile che differisce dalla precedente per il fatto di avere due numeri in meno a partire dalla pila 6 (ex pila 8), fino alla pila 35 (ex pila 37).

Nel caso in esame verranno quindi esaminate le pile 3, 4, 5, e la spalla A, anch'essa di nuova realizzazione.

## Calcolo della Pila 3

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	2.30	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	7.49	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	11.54	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	5.50	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 $h_{pila}$	4.37	m

#### **Sezioni in pianta**

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	30.62	$m^2$
Fusto pila $A_{pila}$	9.62	$m^2$

#### **Baricentri**

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.39	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	2.19	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	2.50	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	1.17	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	0.59	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 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:

$$N_{app} = 784.85 \quad t$$

### ### RITIRO

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

$$N_{\text{ritiro}} = 4.02 \quad \text{t}$$

### ### GRADIENTE TERMICO

Si considera un gradiente termico pari a

$$\Delta T = 10 \quad ^\circ \quad (\text{soletta pi\`u calda})$$

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

$$N_{\Delta T} = 1.26 \quad \text{t}$$

### ### 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:

$$\begin{array}{ll} N & 435.85 \quad \text{t} \\ M_t & 699.41 \quad \text{t*m} \end{array}$$

DISP. 2 Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

N	353.39	t
$M_t$	957.09	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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
33.81	45.14

(2) Impalcato carico

	$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
$K_w=0,6$	71.80	205.63

### **### 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  $k_{att} = 0,03$ .

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 23.55 \quad t$$

### **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.

$$h_{bar,p} = 1.34 \text{ m}$$

	Orizzont.		Vert.
W (t)	H <sub>s,t</sub> (t)	M <sub>s,t</sub> (t*m)	ΔN <sub>s,t</sub> (t)
784.85	94.93	126.74	131.85

### ### 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>i</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>i</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	790.13	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	33.81	0.00	45.14
Attrito * 1.00	0.00	23.55	0.00	0.00	0.00
TOT	790.13	23.55	33.81	0.00	45.14

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

Az. progetto	N (t)	H <sub>i</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>i</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	790.13	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	435.85	0.00	0.00	0.00	699.41
Vento (2) * 0.60	0.00	0.00	71.80	0.00	205.63
Attrito * 1.00	0.00	23.55	0.00	0.00	0.00
TOT	1225.98	23.55	71.80	0.00	905.05

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + 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	790.13	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	353.39	0.00	0.00	0.00	957.09
Vento (2) * 0.60	0.00	0.00	71.80	0.00	205.63
Attrito * 1.00	0.00	23.55	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>1143.52</b>	<b>23.55</b>	<b>71.80</b>	<b>0.00</b>	<b>1162.73</b>

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

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	790.13	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	94.93	0.00	126.74
Sisma vert. +	131.85	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>921.99</b>	<b>0.00</b>	<b>94.93</b>	<b>0.00</b>	<b>126.74</b>

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

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	790.13	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	94.93	0.00	126.74
Sisma vert. -	-131.85	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>658.28</b>	<b>0.00</b>	<b>94.93</b>	<b>0.00</b>	<b>126.74</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	790.13	23.55	33.81	0.00	45.14	Cond. Norm. Eserc.
2	1225.98	23.55	71.80	0.00	905.05	
3	1143.52	23.55	71.80	0.00	1162.73	

Perm.	4.5	790.13	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	4	131.85	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	5	-131.85	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	4.5	0.00	0.00	94.93	126.74	

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	239.60	5.76
Fusto pila	105.10	2.19
	344.70	4.67

### ### 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:

$$\lambda = 17.14$$

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	28.98	5.76	166.94
Fusto pila	12.71	2.19	27.78
	41.69		194.71

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	344.70	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	136.63	0.00	1 033.46
Sisma vert. + Incr. peso	57.91	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-57.91	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

$$A_r = 15.05 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 2.83 \text{ m}$$

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

<b>q<sub>vento</sub> (t/m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>r</sub> (m<sup>2</sup>)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>h<sub>vento</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
0.25	15.05	3.76	2.83	10.65

### **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.

$$e_v = -7.50 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

Azioni impalcato rispetto baric. pila (estradosso zattera)						
<b>COMB.</b>	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>	
1	790.13	23.55	33.81	-176.59	298.73	Cond. Norm. Eserc.
2	1225.98	23.55	71.80	-176.59	1443.57	
3	1143.52	23.55	71.80	-176.59	1701.25	

<i>Perm.</i>	4.5	790.13	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	4	131.85	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	5	-131.85	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	4.5	0.00	0.00	94.93	0.00	838.75	

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>	
1	1 134.83	23.55	37.57	-176.59	309.38	Cond. Norm. Eserc.
2	1 570.68	23.55	74.06	-176.59	1 449.96	
3	1 488.22	23.55	74.06	-176.59	1 707.64	

<i>Perm.</i>	4.5	1 134.83	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	4	189.76	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	5	-189.76	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	4.5	0.00	0.00	231.56	0.00	1 033.46	

## 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  $\gamma_t = 1.80 \text{ t/m}^3$

	N (t)	$e_{v,N}$ (m)
Zattera	497.00	1.15
Terreno portato	442.45	3.90
	939.45	2.45

## 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

S	C	$K_h$	$K_v$
9	0.07	0.1008	0.1680

Le azioni si calcolano riportate a quota intradosso zattera.

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	$H_t$ (t)	$e_{v,N}$ (m)	$M_t$ (t*m)
Zattera	50.10	1.15	57.61
Terreno portato	44.60	3.90	173.94
	94.70		231.55

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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Peso proprio zattera + terreno portato	939.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	94.70	0.00	231.55
Sisma vert. + Incr. peso	157.83	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-157.83	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.

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

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

con

$$h_{zattera} = 2.30 \text{ m}$$

Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera)						
COMB.	N (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	2 074.28	23.55	37.57	-230.74	395.80	Cond. Norm. Eserc.
2	2 510.13	23.55	74.06	-230.74	1 620.30	
3	2 427.67	23.55	74.06	-230.74	1 877.98	

Perm.	4.5	2 074.28	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	4	347.59	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	5	-347.59	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	4.5	0.00	0.00	326.26	0.00	1 797.61	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 7$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
7.49	11.54	2.30

Area fondazione  $86.43 \text{ m}^2$

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.

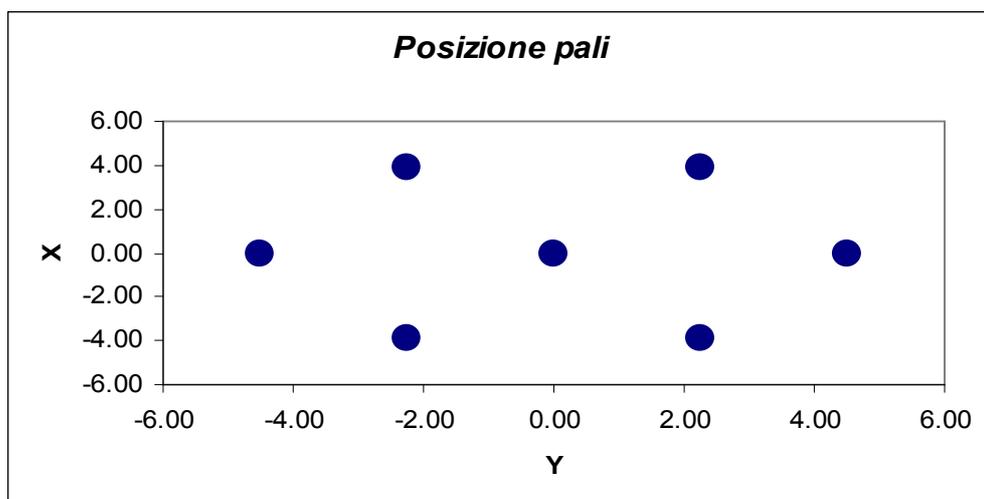
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
60.84	60.75

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	3.90	2.25	3.90	2.25	15.60	27.00
2	3.90	-2.25	3.90	-2.25	15.60	-27.00
3	0.00	4.50	0.00	4.50	Infinito	13.50
4	0.00	0.00	0.00	0.00	Infinito	Infinito
5	0.00	-4.50	0.00	-4.50	Infinito	-13.50
6	-3.90	2.25	-3.90	2.25	-15.60	27.00
7	-3.90	-2.25	-3.90	-2.25	-15.60	-27.00
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:

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

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

		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	2 074.28	23.55	37.57	-230.74	395.80	Cond.
	2	2 510.13	23.55	74.06	-230.74	1 620.30	Norm.
	3	2 427.67	23.55	74.06	-230.74	1 877.98	Eserc.
<i>Perm.</i>	4.5	2 074.28	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	4	347.59	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	5	-347.59	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	4.5	0.00	0.00	326.26	0.00	1 797.61	

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:

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

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>
1	325.8	433.4	431.2	412.6	313.2
2	296.5	313.4	292.0	279.4	180.1
3	325.6	478.6	485.9	479.1	379.8
4	296.3	358.6	346.8	346.0	246.7
5	267.0	238.6	207.7	212.8	113.5
6	296.2	403.8	401.6	412.6	313.2
7	266.9	283.8	262.5	279.4	180.1
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

$N_{\max}$  (t)    325.8    478.6    485.9    479.1    379.8

$N_{\min}$  (t)    266.9    238.6    207.7    212.8    113.5

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{\max}$     485.9    t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{\min}$     113.5    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> (t)	H <sub>t</sub> (t)
1	23.5	37.6
2	23.5	74.1
3	23.5	74.1
4	0.0	326.3
5	0.0	326.3

T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
3.36	5.37	6.33
3.36	10.58	11.10
3.36	10.58	11.10
0.00	46.61	46.61
0.00	46.61	46.61

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 46.61 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
479.1	N <sub>max</sub>	485.9
113.5	N <sub>min</sub>	207.7
46.6	T <sub>max</sub>	11.1

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  $L_0$  lunghezza elastica del palo

Ponendo

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} = \text{diametro del palo} &= 150.0 \text{ cm} \\ K_w = \text{modulo di Winkler del terreno} &= 1\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} = \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} &= 360\,000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_0 = 5.706 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 132.98 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 479.1 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 113.5 \text{ t}$$

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 esterno al nocciolo centrale d'inerzia (Grande eccentricità)

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 261.98^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 124.20 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 62.54 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 145.80 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 141.085^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 50.02 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 74.7657 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 2096.09 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

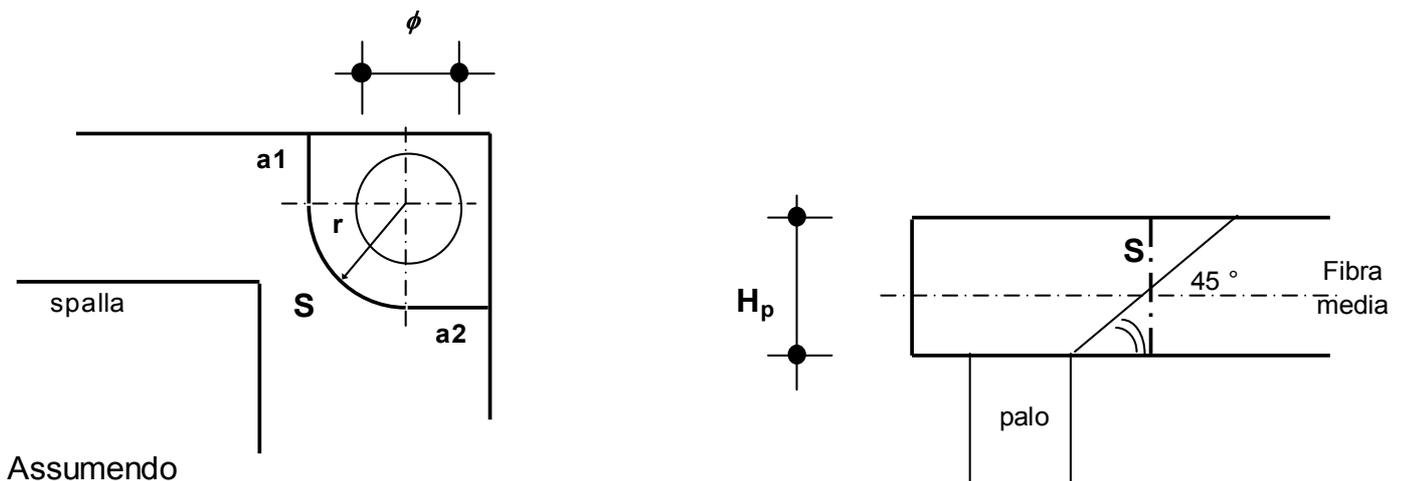
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 485.92 \text{ t}$$

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

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

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

$$r = 1.90 \text{ m}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a_1 + \pi \cdot r/2 + a_2) = 11.46 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,max} / S = 4.24 \text{ kg/cm}^2$$

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	169.6	0.	20.	3.1416
1_2	175.	0.	2	169.2	11.8	20.	3.1416
1_3	0.	-175.	3	167.9	23.6	20.	3.1416
1_4	-175.	0.	4	165.9	35.3	20.	3.1416
			5	163.	46.7	20.	3.1416
			6	159.4	58.	20.	3.1416
			7	154.9	69.	20.	3.1416
			8	149.7	79.6	20.	3.1416
			9	143.8	89.9	20.	3.1416
			10	137.2	99.7	20.	3.1416
			11	129.9	109.	20.	3.1416
			12	122.	117.8	20.	3.1416
			13	113.5	126.	20.	3.1416
			14	104.4	133.6	20.	3.1416
			15	94.8	140.6	20.	3.1416
			16	84.8	146.9	20.	3.1416
			17	74.3	152.4	20.	3.1416
			18	63.5	157.3	20.	3.1416
			19	52.4	161.3	20.	3.1416
			20	41.	164.6	20.	3.1416
			21	29.5	167.	20.	3.1416
			22	17.7	168.7	20.	3.1416
			23	5.9	169.5	20.	3.1416
			24	-5.9	169.5	20.	3.1416
			25	-17.7	168.7	20.	3.1416
			26	-29.5	167.	20.	3.1416
			27	-41.	164.6	20.	3.1416
			28	-52.4	161.3	20.	3.1416
			29	-63.5	157.3	20.	3.1416
			30	-74.3	152.4	20.	3.1416
			31	-84.8	146.9	20.	3.1416

32		-94.8		140.6		20.		3.1416	
33		-104.4		133.6		20.		3.1416	
34		-113.5		126.		20.		3.1416	
35		-122.		117.8		20.		3.1416	
36		-129.9		109.		20.		3.1416	
37		-137.2		99.7		20.		3.1416	
38		-143.8		89.9		20.		3.1416	
39		-149.7		79.6		20.		3.1416	
40		-154.9		69.		20.		3.1416	
41		-159.4		58.		20.		3.1416	
42		-163.		46.7		20.		3.1416	
43		-165.9		35.3		20.		3.1416	
44		-167.9		23.6		20.		3.1416	
45		-169.2		11.8		20.		3.1416	
46		-169.6		0.		20.		3.1416	
47		-169.2		-11.8		20.		3.1416	
48		-167.9		-23.6		20.		3.1416	
49		-165.9		-35.3		20.		3.1416	
50		-163.		-46.7		20.		3.1416	
51		-159.4		-58.		20.		3.1416	
52		-154.9		-69.		20.		3.1416	
53		-149.7		-79.6		20.		3.1416	
54		-143.8		-89.9		20.		3.1416	
55		-137.2		-99.7		20.		3.1416	
56		-129.9		-109.		20.		3.1416	
57		-122.		-117.8		20.		3.1416	
58		-113.5		-126.		20.		3.1416	
59		-104.4		-133.6		20.		3.1416	
60		-94.8		-140.6		20.		3.1416	
61		-84.8		-146.9		20.		3.1416	
62		-74.3		-152.4		20.		3.1416	
63		-63.5		-157.2		20.		3.1416	
64		-52.4		-161.3		20.		3.1416	
65		-41.		-164.6		20.		3.1416	
66		-29.5		-167.		20.		3.1416	
67		-17.7		-168.7		20.		3.1416	
68		-5.9		-169.5		20.		3.1416	
69		5.9		-169.5		20.		3.1416	
70		17.7		-168.7		20.		3.1416	
71		29.5		-167.		20.		3.1416	
72		41.		-164.6		20.		3.1416	
73		52.4		-161.3		20.		3.1416	
74		63.5		-157.2		20.		3.1416	
75		74.3		-152.4		20.		3.1416	
76		84.8		-146.9		20.		3.1416	
77		94.8		-140.6		20.		3.1416	
78		104.4		-133.6		20.		3.1416	
79		113.5		-126.		20.		3.1416	
80		122.		-117.8		20.		3.1416	
81		129.9		-109.		20.		3.1416	
82		137.2		-99.7		20.		3.1416	
83		143.8		-89.9		20.		3.1416	
84		149.7		-79.6		20.		3.1416	

85	154.9	-69.	20.	3.1416
86	159.4	-58.	20.	3.1416
87	163.	-46.7	20.	3.1416
88	165.9	-35.3	20.	3.1416
89	167.9	-23.6	20.	3.1416
90	169.2	-11.8	20.	3.1416

#### 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	-1570680	17659000	145668000	
2	-1714360	17659000	171436000	

#### RISULTATI

Piani di equilibrio (eps= muz \* y +muy \* z + lam):

Sol.	muz	muy	lambda	
1	-.00000008484	-.00000069987	-.00003107614	
2	-.00000009201	-.00000089327	-.00002736132	

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls	vert.	S cls	Ve	Acciaio lento	ferro	S ferri	Ve
1	1- 2	-55.3	<b>si</b>		3	-813.4	<b>si</b>	
2	1- 2	-66.1	<b>si</b>		2	-969.7	<b>si</b>	

## Calcolo della Pila 4

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	2.30	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	7.86	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	13.54	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.98	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 $h_{pila}$	4.87	m

#### **Sezioni in pianta**

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	30.62	$m^2$
Fusto pila $A_{pila}$	9.62	$m^2$

#### **Baricentri**

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.39	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	2.44	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	2.50	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	3.19	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	1.60	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:

$$N_{app} = 998.81 \quad t$$

### ### RITIRO

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

$$N_{\text{ritiro}} = -0.71 \quad \text{t}$$

### ### GRADIENTE TERMICO

Si considera un gradiente termico pari a

$$\Delta T = 10 \quad ^\circ \quad (\text{soletta pi\`u calda})$$

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

$$N_{\Delta T} = -4.70 \quad \text{t}$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 430.52 & \text{t} \\ M_t & 690.87 & \text{t}\cdot\text{m} \end{array}$$

DISP. 2 Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

N	349.07	t
$M_t$	945.40	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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
41.79	55.79

(2) Impalcato carico

	$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
$K_w=0,6$	53.25	152.49

### **### 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  $k_{att} = 0,03$ .

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 29.96 \quad t$$

### **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.

$$h_{bar,p} = 1.34 \text{ m}$$

W (t)	Orizzont.		Vert.
	H <sub>s,t</sub> (t)	M <sub>s,t</sub> (t*m)	ΔN <sub>s,t</sub> (t)
998.81	120.82	161.29	167.80

### ### 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	993.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	41.79	0.00	55.79
Attrito * 1.00	0.00	29.96	0.00	0.00	0.00
<i>TOT</i>	993.40	29.96	41.79	0.00	55.79

**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	993.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	430.52	0.00	0.00	0.00	690.87
Vento (2) * 0.60	0.00	0.00	53.25	0.00	152.49
Attrito * 1.00	0.00	29.96	0.00	0.00	0.00
<i>TOT</i>	1423.93	29.96	53.25	0.00	843.36

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + 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	993.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	349.07	0.00	0.00	0.00	945.40
Vento (2) * 0.60	0.00	0.00	53.25	0.00	152.49
Attrito * 1.00	0.00	29.96	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>1342.48</b>	<b>29.96</b>	<b>53.25</b>	<b>0.00</b>	<b>1097.89</b>

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

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	993.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	120.82	0.00	161.29
Sisma vert. +	167.80	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>1161.20</b>	<b>0.00</b>	<b>120.82</b>	<b>0.00</b>	<b>161.29</b>

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

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	993.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	120.82	0.00	161.29
Sisma vert. -	-167.80	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>825.60</b>	<b>0.00</b>	<b>120.82</b>	<b>0.00</b>	<b>161.29</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						Cond. Norm. Eserc.
COMB.	N (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	993.40	29.96	41.79	0.00	55.79	Cond. Norm. Eserc.
2	1423.93	29.96	53.25	0.00	843.36	
3	1342.48	29.96	53.25	0.00	1097.89	

Perm. Vert. + Vert. - Orizz.	4.5	993.40	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
	4	167.80	0.00	0.00	0.00	
	5	-167.80	0.00	0.00	0.00	
	4.5	0.00	0.00	120.82	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	239.60	6.26
Fusto pila	117.12	2.44
	356.73	5.00

### ### 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:

$$\lambda = 18.28$$

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	28.98	6.26	181.43
Fusto pila	14.17	2.44	34.50
	43.15		215.93

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	N (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	356.73	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	163.97	0.00	1,343.74
Sisma vert. + Incr. peso	59.93	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-59.93	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

$$A_r = 22.12 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 3.62 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	22.12	5.53	3.62	20.04

### 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.

$$e_v = -8.00 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

Azioni impalcato rispetto baric. pila (estradosso zattera)					
COMB.	N (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	993.40	29.96	41.79	-239.71	390.11
2	1423.93	29.96	53.25	-239.71	1269.34
3	1342.48	29.96	53.25	-239.71	1523.87

Perm.	4.5	993.40	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	4	167.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	5	-167.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	4.5	0.00	0.00	120.82	0.00	1127.82	

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)					
COMB.	N (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	1,350.13	29.96	47.32	-239.71	410.15
2	1,780.65	29.96	56.57	-239.71	1,281.36
3	1,699.20	29.96	56.57	-239.71	1,535.89

Perm.	4.5	1,350.13	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	4	227.73	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	5	-227.73	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	4.5	0.00	0.00	284.78	0.00	1,343.74	

## 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  $\gamma_t = 1.80 \text{ t/m}^3$

	N (t)	$e_{v,N}$ (m)
Zattera	612.25	1.15
Terreno portato	292.90	3.14
	905.15	1.79

## 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

S	C	$K_h$	$K_v$
9	0.07	0.1008	0.1680

Le azioni si calcolano riportate a quota intradosso zattera.

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	$H_t$ (t)	$e_{v,N}$ (m)	$M_t$ (t*m)
Zattera	61.71	1.15	70.97
Terreno portato	29.52	3.14	92.71
	91.24		163.68

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 (t)	H <sub>i</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>i</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Peso proprio zattera + terreno portato	905.15	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	91.24	0.00	163.68
Sisma vert. + Incr. peso	152.07	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-152.07	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

$$h_{zattera} = 2.30 \quad m$$

Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera)						Cond. Norm. Eserc.
COMB.	N (t)	H <sub>i</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>i</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	2,255.28	29.96	47.32	-308.63	518.98	
2	2,685.80	29.96	56.57	-308.63	1,411.46	
3	2,604.35	29.96	56.57	-308.63	1,665.99	

Perm.	4.5	2,255.28	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	4	379.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	5	-379.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	4.5	0.00	0.00	376.02	0.00	2,162.42	

## 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
7.86	13.54	2.30

Area fondazione 106.48 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.

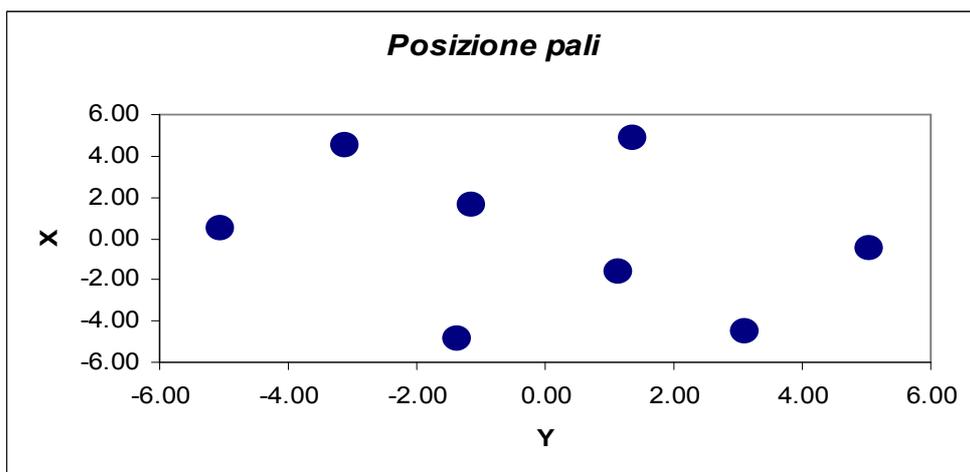
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata (m<sup>2</sup>)

J <sub>I</sub>	J <sub>t</sub>
94.704	76.8826

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	4.89	1.37	4.89	1.37	19.37	56.16
2	4.53	-3.12	4.53	-3.12	20.91	-24.65
3	0.47	-5.06	0.47	-5.06	203.66	-15.21
4	1.65	-1.13	1.65	-1.13	57.50	-67.80
5	-0.47	5.06	-0.47	5.06	-203.66	15.21
6	-4.53	3.12	-4.53	3.12	-20.91	24.65
7	-4.89	-1.37	-4.89	-1.37	-19.37	-56.16
8	-1.65	1.13	-1.65	1.13	-57.50	67.80
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	2,255.28	29.96	47.32	-308.63	518.98	Cond.
	2	2,685.80	29.96	56.57	-308.63	1,411.46	Norm.
	3	2,604.35	29.96	56.57	-308.63	1,665.99	Eserc.
<i>Perm.</i>	4.5	2,255.28	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	4	379.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	5	-379.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	4.5	0.00	0.00	376.02	0.00	2,162.42	

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)**

<b>Combinazioni di carico</b>					
<b>PALI</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	307.1	376.8	371.1	367.9	272.9
2	275.6	293.2	272.7	241.7	146.7
3	249.3	244.4	217.5	187.2	92.3
4	279.6	320.3	306.3	297.5	202.5
5	314.5	427.0	433.6	471.6	376.6
6	288.2	378.2	378.4	417.1	322.2
7	256.7	294.7	279.9	290.9	195.9
8	284.2	351.2	344.7	361.3	266.3
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

$N_{max}$  (t)    314.5    427.0    433.6    471.6    376.6

$N_{min}$  (t)    249.3    244.4    217.5    187.2    92.3

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{max}$     471.6    t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{min}$     92.3    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> (t)	H <sub>t</sub> (t)	T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
1	30.0	47.3	3.75	5.92	7.00
2	30.0	56.6	3.75	7.07	8.00
3	30.0	56.6	3.75	7.07	8.00
4	0.0	376.0	0.00	47.00	47.00
5	0.0	376.0	0.00	47.00	47.00

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 47.00$  t

PALI		
SISM		ESER
471.6	N <sub>max</sub>	433.6
92.3	N <sub>min</sub>	217.5
47.0	T <sub>max</sub>	8.0

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

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 150.0 & \text{cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 1,500 & \text{t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360,000 & \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 5.706 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 134.11 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 471.6 \text{ t}$$

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

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:

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

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2,600 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 258.39^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 122.40 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 62.64 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 162.02 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 135.791^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 46.78 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 77.1276 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 2,392.16 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

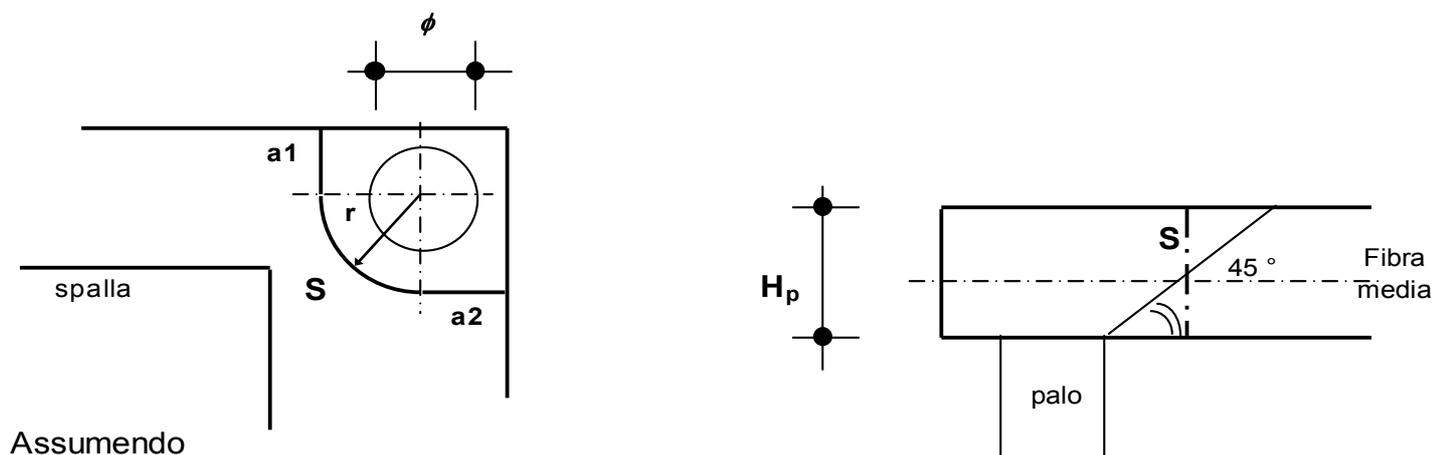
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 376.79 \text{ t}$$

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

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

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

$$r = 1.90 \text{ m}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a_1 + \pi \cdot r / 2 + a_2) = 11.46 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,max} / S = 3.29 \text{ kg/cm}^2$$

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	169.5	0.	20.	3.1416
1_2	175.	0.	2	169.1	11.8	20.	3.1416
1_3	0.	-175.	3	167.8	23.6	20.	3.1416
1_4	-175.	0.	4	165.8	35.2	20.	3.1416
			5	162.9	46.7	20.	3.1416
			6	159.3	58.	20.	3.1416
			7	154.8	68.9	20.	3.1416
			8	149.7	79.6	20.	3.1416
			9	143.7	89.8	20.	3.1416
			10	137.1	99.6	20.	3.1416
			11	129.8	109.	20.	3.1416
			12	121.9	117.7	20.	3.1416
			13	113.4	126.	20.	3.1416
			14	104.4	133.6	20.	3.1416
			15	94.8	140.5	20.	3.1416
			16	84.8	146.8	20.	3.1416
			17	74.3	152.3	20.	3.1416
			18	63.5	157.2	20.	3.1416
			19	52.4	161.2	20.	3.1416
			20	41.	164.5	20.	3.1416
			21	29.4	166.9	20.	3.1416
			22	17.7	168.6	20.	3.1416
			23	5.9	169.4	20.	3.1416
			24	-5.9	169.4	20.	3.1416
			25	-17.7	168.6	20.	3.1416
			26	-29.4	166.9	20.	3.1416
			27	-41.	164.5	20.	3.1416
			28	-52.4	161.2	20.	3.1416
			29	-63.5	157.2	20.	3.1416
			30	-74.3	152.3	20.	3.1416
			31	-84.7	146.8	20.	3.1416

32		-94.8		140.5		20.		3.1416	
33		-104.4		133.6		20.		3.1416	
34		-113.4		126.		20.		3.1416	
35		-121.9		117.7		20.		3.1416	
36		-129.8		109.		20.		3.1416	
37		-137.1		99.6		20.		3.1416	
38		-143.7		89.8		20.		3.1416	
39		-149.7		79.6		20.		3.1416	
40		-154.8		68.9		20.		3.1416	
41		-159.3		58.		20.		3.1416	
42		-162.9		46.7		20.		3.1416	
43		-165.8		35.2		20.		3.1416	
44		-167.8		23.6		20.		3.1416	
45		-169.1		11.8		20.		3.1416	
46		-169.5		0.		20.		3.1416	
47		-169.1		-11.8		20.		3.1416	
48		-167.8		-23.6		20.		3.1416	
49		-165.8		-35.2		20.		3.1416	
50		-162.9		-46.7		20.		3.1416	
51		-159.3		-58.		20.		3.1416	
52		-154.8		-68.9		20.		3.1416	
53		-149.7		-79.6		20.		3.1416	
54		-143.7		-89.8		20.		3.1416	
55		-137.1		-99.6		20.		3.1416	
56		-129.8		-109.		20.		3.1416	
57		-121.9		-117.7		20.		3.1416	
58		-113.4		-126.		20.		3.1416	
59		-104.4		-133.6		20.		3.1416	
60		-94.8		-140.5		20.		3.1416	
61		-84.7		-146.8		20.		3.1416	
62		-74.3		-152.3		20.		3.1416	
63		-63.5		-157.2		20.		3.1416	
64		-52.4		-161.2		20.		3.1416	
65		-41.		-164.5		20.		3.1416	
66		-29.4		-166.9		20.		3.1416	
67		-17.7		-168.6		20.		3.1416	
68		-5.9		-169.4		20.		3.1416	
69		5.9		-169.4		20.		3.1416	
70		17.7		-168.6		20.		3.1416	
71		29.4		-166.9		20.		3.1416	
72		41.		-164.5		20.		3.1416	
73		52.4		-161.2		20.		3.1416	
74		63.5		-157.2		20.		3.1416	
75		74.3		-152.3		20.		3.1416	
76		84.8		-146.8		20.		3.1416	
77		94.8		-140.5		20.		3.1416	
78		104.4		-133.6		20.		3.1416	
79		113.4		-126.		20.		3.1416	
80		121.9		-117.7		20.		3.1416	
81		129.8		-109.		20.		3.1416	
82		137.1		-99.6		20.		3.1416	
83		143.7		-89.8		20.		3.1416	
84		149.7		-79.6		20.		3.1416	

85	154.8	-68.9	20.		3.1416	
86	159.3	-58.		20.		3.1416
87	162.9	-46.7	20.		3.1416	
88	165.8	-35.2	20.		3.1416	
89	167.8	-23.6	20.		3.1416	
90	169.1	-11.8	20.		3.1416	

#### 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	-1780650	23971000	-128460000	
2	-1699200	23971000	-153913000	

#### RISULTATI

Piani di equilibrio (eps= muz \* y +muy \* z + lam):

Sol.	muz	muy	lambda	
1	-.00000009448	.00000050632	-.0000461963	
2	-.00000011298	.00000072541	-.00003495828	

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls	vert.	S cls	Ve	Acciaio lento	ferro S ferri	Ve
1	1- 4	-48.5	<b>si</b>		43	-720.7	<b>si</b>
2	1- 4	-58.3	<b>si</b>		44	-860.7	<b>si</b>

## Calcolo della Pila 5

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	2.30	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	7.86	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	13.54	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.98	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 $h_{pila}$	4.87	m

#### *Sezioni in pianta*

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	30.62	$m^2$
Fusto pila $A_{pila}$	9.62	$m^2$

#### *Baricentri*

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.39	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	2.44	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	2.50	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	3.19	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	1.60	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:

$$N_{app} = 826.99 \quad t$$

### ### RITIRO

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

$$N_{\text{ritiro}} = 21.18 \quad t$$

### ### GRADIENTE TERMICO

Si considera un gradiente termico pari a

$$\Delta T = 10 \quad ^\circ \quad (\text{soletta pi\`u calda})$$

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

$$N_{\Delta T} = -19.77 \quad t$$

### ### 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:

$$\begin{array}{ll} N & 434.89 \quad t \\ M_t & 697.89 \quad t \cdot m \end{array}$$

DISP. 2 Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

N	352.62	t
$M_t$	955.00	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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
27.54	28.50

(2) Impalcato carico

	$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
$K_w=0,6$	40.47	129.62

### **### 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  $k_{att} = 0,03$ .

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 24.81 \quad t$$

### **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 ( $T_0 < 0.8$  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.

$$h_{bar,p} = 1.34 \text{ m}$$

W (t)	Orizzont.		Vert.
	H <sub>s,t</sub> (t)	M <sub>s,t</sub> (t*m)	ΔN <sub>s,t</sub> (t)
826.99	100.03	133.54	138.93

### ### 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	828.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	27.54	0.00	28.50
Attrito * 1.00	0.00	24.81	0.00	0.00	0.00
TOT	828.40	24.81	27.54	0.00	28.50

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	828.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	434.89	0.00	0.00	0.00	697.89
Vento (2) * 0.60	0.00	0.00	40.47	0.00	129.62
Attrito * 1.00	0.00	24.81	0.00	0.00	0.00
TOT	1263.29	24.81	40.47	0.00	827.51

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + 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	828.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	352.62	0.00	0.00	0.00	955.00
Vento (2) * 0.60	0.00	0.00	40.47	0.00	129.62
Attrito * 1.00	0.00	24.81	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>1181.01</b>	<b>24.81</b>	<b>40.47</b>	<b>0.00</b>	<b>1084.63</b>

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

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	828.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	100.03	0.00	133.54
Sisma vert. +	138.93	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>967.33</b>	<b>0.00</b>	<b>100.03</b>	<b>0.00</b>	<b>133.54</b>

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

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	828.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	100.03	0.00	133.54
Sisma vert. -	-138.93	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>689.46</b>	<b>0.00</b>	<b>100.03</b>	<b>0.00</b>	<b>133.54</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	828.40	24.81	27.54	0.00	28.50	Cond. Norm. Eserc.
2	1263.29	24.81	40.47	0.00	827.51	
3	1181.01	24.81	40.47	0.00	1084.63	

Perm.	4.5	828.40	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	4	138.93	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	5	-138.93	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	4.5	0.00	0.00	100.03	133.54	

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	239.60	6.26
Fusto pila	117.12	2.44
	356.73	5.00

### ### 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:

$$\lambda = 18.28$$

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	28.98	6.26	181.43
Fusto pila	14.17	2.44	34.50
	43.15		215.93

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	356.73	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	143.18	0.00	1 149.73
Sisma vert. + Incr. peso	59.93	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-59.93	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

$$A_r = 22.12 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 3.62 \text{ m}$$

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

<b>q<sub>vento</sub> (t/m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>r</sub> (m<sup>2</sup>)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>h<sub>vento</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
0.25	22.12	5.53	3.62	20.04

### **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.

$$e_v = -8.00 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

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	828.40	24.81	27.54	-198.48	248.83	Cond. Norm. Eserc.
2	1263.29	24.81	40.47	-198.48	1151.30	
3	1181.01	24.81	40.47	-198.48	1408.41	

<i>Perm.</i>	4.5	828.40	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	4	138.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	5	-138.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	4.5	0.00	0.00	100.03	0.00	933.81	

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>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	1 185.12	24.81	33.07	-198.48	268.87	Cond. Norm. Eserc.
2	1 620.02	24.81	43.79	-198.48	1 163.32	
3	1 537.74	24.81	43.79	-198.48	1 420.43	

<i>Perm.</i>	4.5	1 185.12	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	4	198.86	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	5	-198.86	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	4.5	0.00	0.00	243.22	0.00	1 149.73	

**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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	612.25	1.15
Terreno portato	292.90	3.14
	905.15	1.79

**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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Zattera	61.71	1.15	70.97
Terreno portato	29.52	3.14	92.71
	91.24		163.68

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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Peso proprio zattera + terreno portato	905.15	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	91.24	0.00	163.68
Sisma vert. + Incr. peso	152.07	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-152.07	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.

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

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

con

$$h_{zattera} = 2.30 \quad m$$

Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera)						Cond. Norm. Eserc.
COMB.	N (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	2 090.27	24.81	33.07	-255.54	344.93	
2	2 525.17	24.81	43.79	-255.54	1 264.04	
3	2 442.89	24.81	43.79	-255.54	1 521.15	

Perm.	4.5	2 090.27	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	4	350.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	5	-350.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	4.5	0.00	0.00	334.45	0.00	1 872.81	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 7$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
7.86	13.54	2.30

Area fondazione 106.48 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.

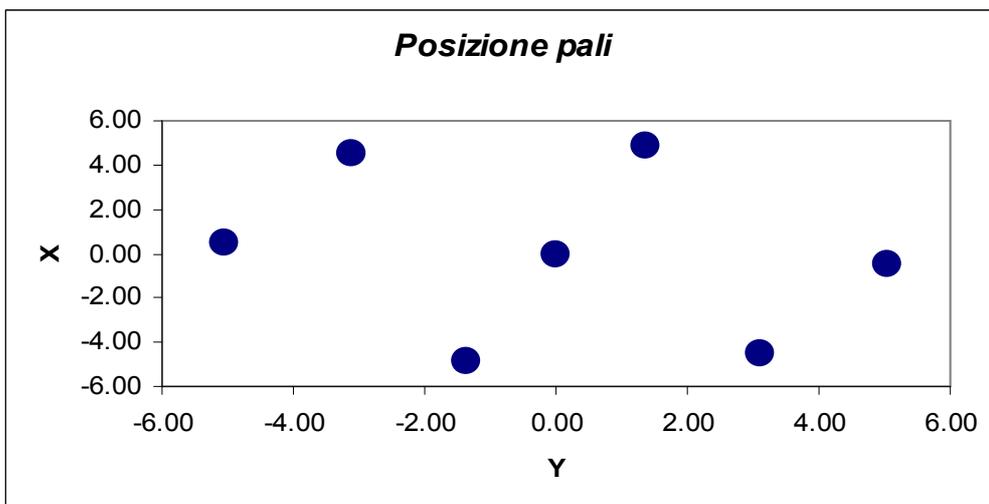
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata (m<sup>2</sup>)

J <sub>I</sub>	J <sub>t</sub>
89.279	74.3107

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	4.89	1.37	4.89	1.37	18.26	54.28
2	4.53	-3.12	4.53	-3.12	19.71	-23.83
3	0.47	-5.06	0.47	-5.06	192.00	-14.70
4	0.00	0.00	0.00	0.00	Infinito	Infinito
5	-0.47	5.06	-0.47	5.06	-192.00	14.70
6	-4.53	3.12	-4.53	3.12	-19.71	23.83
7	-4.89	-1.37	-4.89	-1.37	-18.26	-54.28
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:

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

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

		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	2 090.27	24.81	33.07	-255.54	344.93	Cond.
	2	2 525.17	24.81	43.79	-255.54	1 264.04	Norm.
	3	2 442.89	24.81	43.79	-255.54	1 521.15	Eserc.
<i>Perm.</i>	4.5	2 090.27	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	4	350.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	5	-350.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	4.5	0.00	0.00	334.45	0.00	1 872.81	

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:

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

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>
1	319.0	398.0	391.0	383.2	283.0
2	297.1	320.6	298.1	270.1	169.9
3	276.5	276.1	246.8	221.3	121.1
4	298.6	360.7	349.0	348.7	248.5
5	320.7	445.4	451.1	476.1	375.9
6	300.1	400.8	399.9	427.3	327.1
7	278.3	323.5	307.0	314.2	214.0
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

$N_{max}$  (t)    320.7    445.4    451.1    476.1    375.9

$N_{min}$  (t)    276.5    276.1    246.8    221.3    121.1

Sollecitazione max sui pali di fondazione  $N_{max}$     476.1    t

Sollecitazione min sui pali di fondazione  $N_{min}$     121.1    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> (t)	H <sub>t</sub> (t)
1	24.8	33.1
2	24.8	43.8
3	24.8	43.8
4	0.0	334.5
5	0.0	334.5

T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
3.54	4.72	5.91
3.54	6.26	7.19
3.54	6.26	7.19
0.00	47.78	47.78
0.00	47.78	47.78

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 47.78 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
476.1	N <sub>max</sub>	451.1
121.1	N <sub>min</sub>	246.8
47.8	T <sub>max</sub>	7.2

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

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

con  $L_0$  lunghezza elastica del palo

Ponendo

$$\begin{aligned} \phi \text{ palo} = \text{diametro del palo} &= 150.0 \text{ cm} \\ K_w = \text{modulo di Winkler del terreno} &= 1\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} = \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} &= 360\,000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

risulta

$$L_0 = 5.706 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 136.32 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 476.1 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 121.1 \text{ t}$$

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 esterno al nocciolo centrale d'inerzia (Grande eccentricità)

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 257.41^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 121.90 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 63.57 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 168.98 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 142.244^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 50.73 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 76.2529 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 2091.45 \text{ kg/cm}^2$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

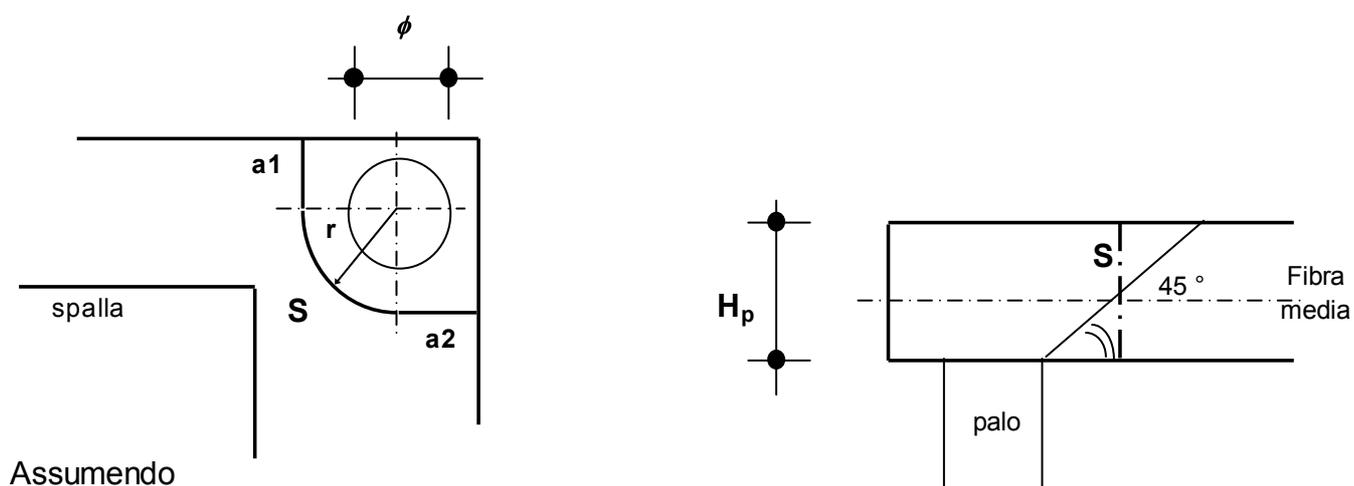
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 398.02 \text{ t}$$

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:



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

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

$$r = 1.90 \text{ m}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a_1 + \pi \cdot r / 2 + a_2) = 11.46 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,max} / S = 3.47 \text{ kg/cm}^2$$

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	169.6	0.	20.	3.1416
1_2	175.	0.	2	169.2	11.8	20.	3.1416
1_3	0.	-175.	3	167.9	23.6	20.	3.1416
1_4	-175.	0.	4	165.9	35.3	20.	3.1416
			5	163.	46.7	20.	3.1416
			6	159.4	58.	20.	3.1416
			7	154.9	69.	20.	3.1416
			8	149.7	79.6	20.	3.1416
			9	143.8	89.9	20.	3.1416
			10	137.2	99.7	20.	3.1416
			11	129.9	109.	20.	3.1416
			12	122.	117.8	20.	3.1416
			13	113.5	126.	20.	3.1416
			14	104.4	133.6	20.	3.1416
			15	94.8	140.6	20.	3.1416
			16	84.8	146.9	20.	3.1416
			17	74.3	152.4	20.	3.1416
			18	63.5	157.3	20.	3.1416
			19	52.4	161.3	20.	3.1416
			20	41.	164.6	20.	3.1416
			21	29.5	167.	20.	3.1416
			22	17.7	168.7	20.	3.1416
			23	5.9	169.5	20.	3.1416
			24	-5.9	169.5	20.	3.1416
			25	-17.7	168.7	20.	3.1416
			26	-29.5	167.	20.	3.1416
			27	-41.	164.6	20.	3.1416
			28	-52.4	161.3	20.	3.1416
			29	-63.5	157.3	20.	3.1416
			30	-74.3	152.4	20.	3.1416
			31	-84.8	146.9	20.	3.1416

32		-94.8		140.6		20.		3.1416	
33		-104.4		133.6		20.		3.1416	
34		-113.5		126.		20.		3.1416	
35		-122.		117.8		20.		3.1416	
36		-129.9		109.		20.		3.1416	
37		-137.2		99.7		20.		3.1416	
38		-143.8		89.9		20.		3.1416	
39		-149.7		79.6		20.		3.1416	
40		-154.9		69.		20.		3.1416	
41		-159.4		58.		20.		3.1416	
42		-163.		46.7		20.		3.1416	
43		-165.9		35.3		20.		3.1416	
44		-167.9		23.6		20.		3.1416	
45		-169.2		11.8		20.		3.1416	
46		-169.6		0.		20.		3.1416	
47		-169.2		-11.8		20.		3.1416	
48		-167.9		-23.6		20.		3.1416	
49		-165.9		-35.3		20.		3.1416	
50		-163.		-46.7		20.		3.1416	
51		-159.4		-58.		20.		3.1416	
52		-154.9		-69.		20.		3.1416	
53		-149.7		-79.6		20.		3.1416	
54		-143.8		-89.9		20.		3.1416	
55		-137.2		-99.7		20.		3.1416	
56		-129.9		-109.		20.		3.1416	
57		-122.		-117.8		20.		3.1416	
58		-113.5		-126.		20.		3.1416	
59		-104.4		-133.6		20.		3.1416	
60		-94.8		-140.6		20.		3.1416	
61		-84.8		-146.9		20.		3.1416	
62		-74.3		-152.4		20.		3.1416	
63		-63.5		-157.2		20.		3.1416	
64		-52.4		-161.3		20.		3.1416	
65		-41.		-164.6		20.		3.1416	
66		-29.5		-167.		20.		3.1416	
67		-17.7		-168.7		20.		3.1416	
68		-5.9		-169.5		20.		3.1416	
69		5.9		-169.5		20.		3.1416	
70		17.7		-168.7		20.		3.1416	
71		29.5		-167.		20.		3.1416	
72		41.		-164.6		20.		3.1416	
73		52.4		-161.3		20.		3.1416	
74		63.5		-157.2		20.		3.1416	
75		74.3		-152.4		20.		3.1416	
76		84.8		-146.9		20.		3.1416	
77		94.8		-140.6		20.		3.1416	
78		104.4		-133.6		20.		3.1416	
79		113.5		-126.		20.		3.1416	
80		122.		-117.8		20.		3.1416	
81		129.9		-109.		20.		3.1416	
82		137.2		-99.7		20.		3.1416	
83		143.8		-89.9		20.		3.1416	
84		149.7		-79.6		20.		3.1416	

85	154.9	-69.	20.	3.1416
86	159.4	-58.	20.	3.1416
87	163.	-46.7	20.	3.1416
88	165.9	-35.3	20.	3.1416
89	167.9	-23.6	20.	3.1416
90	169.2	-11.8	20.	3.1416

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	-1620020	19848000	116621000	
2	-1537740	19848000	142333000	

RISULTATI

Piani di equilibrio (eps= muz \* y +muy \* z + lam):

Sol.	muz	muy	lambda
1	-.00000007799	-.00000045824	-.00004213142
2	-.0000000954	-.00000068411	-.00003039956

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls	vert.	S cls	Ve	Acciaio lento	ferro	S ferri	Ve
1	1- 2	-44.	si		3	-653.	si	
2	1- 2	-54.	si		3	-796.8	si	

## Calcolo della Spalla A

### 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.

$B_{lm, sup}$ (m)	$Pend_{-m}$ %	$B_{tm}$ (m)	$H_m$ (m)
1,50	0,000	11,50	4,00

#### *Speroni*

Si indica con  $B_{l\text{esper}}$  la larghezza longitudinale dei due speroni, con  $B_{t\text{esper}}$  la loro larghezza trasversale e con  $H_{\text{esper}}$  la loro altezza

$B_{l\text{esper}}$ (m)	$B_{t\text{esper}}$ (m)	$H_{\text{esper}}$ (m)
2,50	1,60	3,60

#### *Soletta speroni*

Si indica con  $B_{l\text{sol}}$  la larghezza longitudinale della soletta sopra gli speroni, con  $B_{t\text{sol}}$  la sua larghezza trasversale e con  $H_{\text{sol}}$  la sua altezza

$B_{l\text{sol}}$ (m)	$B_{t\text{sol}}$ (m)	$H_{\text{sol}}$ (m)
2,50	11,50	0,40

#### *Paraghiaia*

Si indica con  $B_{l\text{par}}$  lo spessore del muro paraghiaia, con  $B_{t\text{par}}$  la larghezza trasversale del muro e con  $H_{\text{par}}$  l'altezza del muro paraghiaia al di sopra del muro frontale.

$B_{l\text{par}}$ (m)	$B_{t\text{par}}$ (m)	$H_{\text{par}}$ (m)
1,50	11,50	2,43

### *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.

$L_{ms}$ (m)	$B_{tms}$ (m)	$H_{ms,min}$ (m)	$H_{ms,max}$ (m)
0,68	11,50	0,35	0,60

### *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.	$Spt_r$ (m)	$Pend._r$ %	$L_r$ (m)	$H_r$ (m)
Dx	1,00	0,000	6,50	6,43
SX	1,00	0,000	6,50	6,43

### *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.	$L_o$ (m)	$S_o$ (m)	$H_{o,min}$ (m)	$H_{o,max}$ (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.

$B_{lp}$ (m)	$B_{tp}$ (m)	$H_p$ (m)	$S_p$ (m)
12,00	12,35	1,80	4,00

## **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 proseguio 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 :

$$N_{app} = 101,39 \text{ t}$$

#### ### 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	3
DISPOSIZIONE 2	Max momento trasversale $M_t$	2

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
323,4	518,9

DISP. 2 Max momento trasversale  $M_t$

N	M
262,2	710,1

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
5,71	8,71

(2) Impalcato carico

	$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
$K_w=0,6$	6,80	18,25
$K_w=0,2$	2,27	6,08

### **### 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

$$h = 1,22 \text{ m}$$

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:

$$H_f = 43,68 \quad t$$

e genera un momento longitudinale  $M_f$  pari a:

$$M_f = -53,071 \quad t \cdot m$$

### **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

$$H_{vincoli} = 125,91 \quad t$$

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

$$h = 1,22 \quad m$$

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

$$M_{attr} = -152,99 \quad t \cdot m$$

### **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

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

Zona sismica di categoria II

W	$h_{bar,p}$
(t)	
101,39	1,22

Orizzont.		Vert.
$H_{s,t}$	$M_{s,t}$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t*m)	(t)
12,26	14,90	17,03

### ### 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  $h_{sism,l}$

$W_h$ (t)	$W_v$ (t)	$h_{sism,l}$	Orizzont.		Vert.
			$H_{s,l}$ (t)	$M_{s,l}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
4.298,51	101,39	1,22	519,95	-631,74	17,03

### 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

Az. progetto	N (t)	H <sub>1</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	101,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Vento (1) * 1.0	0,00	0,00	5,71	0,00	8,71
Attrito * 1.00	0,00	125,91	0,00	-152,99	0,00
TOT	101,39	125,91	5,71	-152,99	8,71

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

Az. progetto	N (t)	H <sub>1</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	101,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Acc. disp. 1	323,38	0,00	0,00	0,00	518,93
Vento (2) * 0.60	0,00	0,00	6,80	0,00	18,25
Attrito * 1.00	0,00	125,91	0,00	-152,99	0,00
TOT	424,76	125,91	6,80	-152,99	537,18

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

Az. progetto	N (t)	H <sub>1</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	101,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Acc. disp. 2	262,20	0,00	0,00	0,00	710,12
Vento (2) * 0.60	0,00	0,00	6,80	0,00	18,25
Attrito * 1.00	0,00	125,91	0,00	-152,99	0,00
TOT	363,58	125,91	6,80	-152,99	728,37

COMB. 4 Perm. + Acc. DISP. 1 + Fren. \* 1.0 + Vento (2) \* 0.2 + Attr. \* 1.0

Az. progetto	N (t)	H <sub>1</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	101,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Acc. disp. 1	323,38	0,00	0,00	0,00	518,93
Fren. * 1.00	0,00	43,68	0,00	-53,07	0,00
Vento (2) * 0.20	0,00	0,00	2,27	0,00	6,08
Attrito * 1.00	0,00	125,91	0,00	-152,99	0,00
TOT	424,76	169,59	2,27	-206,06	525,02

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	101,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Acc. disp. 2	262,20	0,00	0,00	0,00	710,12
Fren. * 1.00	0,00	43,68	0,00	-53,07	0,00
Vento (2) * 0.20	0,00	0,00	2,27	0,00	6,08
Attrito * 1.00	0,00	125,91	0,00	-152,99	0,00
<b>TOT</b>	<b>363,58</b>	<b>169,59</b>	<b>2,27</b>	<b>-206,06</b>	<b>716,20</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	101,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Sisma orizz. trasv.	0,00	0,00	12,26	0,00	14,90
Sisma vert. +	17,03	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOT</b>	<b>118,42</b>	<b>0,00</b>	<b>12,26</b>	<b>0,00</b>	<b>14,90</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	101,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Sisma orizz. trasv.	0,00	0,00	12,26	0,00	14,90
Sisma vert. -	-17,03	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOT</b>	<b>84,35</b>	<b>0,00</b>	<b>12,26</b>	<b>0,00</b>	<b>14,90</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	101,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Sisma orizz. long.	0,00	519,95	0,00	-631,74	0,00
Sisma vert. +	17,03	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOT</b>	<b>118,42</b>	<b>519,95</b>	<b>0,00</b>	<b>-631,74</b>	<b>0,00</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	101,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Sisma orizz. long.	0,00	519,95	0,00	-631,74	0,00
Sisma vert. -	-17,03	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOT</b>	<b>84,35</b>	<b>519,9</b>	<b>0,00</b>	<b>-631,7</b>	<b>0,00</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 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. Norm. Eserc.
COMB.	N (t)	H <sub>i</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>i</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	101,39	125,91	5,71	-152,99	8,71	
2	424,76	125,91	6,80	-152,99	537,18	
3	363,58	125,91	6,80	-152,99	728,37	
4	424,76	169,59	2,27	-206,06	525,02	
5	363,58	169,59	2,27	-206,06	716,20	

Perm.	6,7	101,39	0,00	0,00	0,00	0,00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	17,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
Vert. -	7	-17,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
Orizz.	6,7	0,00	0,00	12,26	0,00	14,90	
Perm.	8,9	101,39	0,00	0,00	0,00	0,00	Sisma Long.
Vert. +	8	17,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
Vert. -	9	-17,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
Orizz.	8,9	0,00	519,95	0,00	-631,74	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:

$$\gamma_t = 1,80 \quad t/m^3 \qquad \phi' = 35^\circ$$

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:

$$q_s = 2,00 \quad t/m^2$$

## 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:

$B_{lp}$ (m)	$B_{tp}$ (m)	$S_p$ (m)	$B_{lm,sup}$ (m)	$Pend._m$ %	$H_{m+par}$ (m)	$Spt_r dx$ (m)	$Pend._r dx$ %	$Spt_r sx$ (m)
12,00	12,35	4,00	1,50	0	6,43	1,00	0	1,00

$Pend._r sx$ %	$H_r dx$ (m)	$H_r sx$ (m)
0	6,43	6,43

$Q_t$ (t)	$Q_s$ (t)	$e_{Qt}$ (m)	$e_{Qs}$ (m)
778,64	134,55	8,75	8,75

## 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):

$B_{tp}$ (m)	$H_p$ (m)	$H_{m+par}$ (m)	$S_{a,t}$ (t)	$S_{a,s}$ (t)	$e_{Sa,t}$ (m)	$e_{Sa,s}$ (m)
12,35	1,80	6,43	204,02	55,09	2,74	4,12

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> (t)	<b>H<sub>i</sub></b> (t)	<b>H<sub>t</sub></b> (t)	<b>M<sub>i</sub></b> (t*m)	<b>M<sub>t</sub></b> (t*m)
Terreno sopra platea	913,19	0,00	0,00	7.990,42	0
Spinta della terra	0,00	204,02	0,00	-559,68	0,00
Spinta per carico acc.	0,00	55,09	0,00	-226,68	0,00
<i>TOT</i>	913,19	259,10	0,00	7.204,05	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

$B_{tp}$ (m)	$H_p$ (m)	$H_m$ (m)	$H_{par}$ (m)
12,35	1,80	4,00	2,43

orizzontale						verticale
$\Delta S_{a,t}$ (t)	$e_{sa,t}$ (t*m)	$\Delta M_{sa,t}$ (t*m)	$F_{iQt}$ (t)	$e_{FiQt}$ (m)	$M_{FiQt}$ (t*m)	$\Delta Q_{s,l}$ (t)
29,06	5,49	-159,42	94,18	5,02	-472,33	130,81

### ### SISMA TRASVERSALE

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

orizzontale			verticale
$F_{iQt}$ (t)	$e_{FiQt}$ (m)	$M_{FiQt}$ (t*m)	$\Delta Q_{s,t}$ (t)
94,18	5,02	472,33	130,81

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

<i>Az. progetto</i>	N (t)	$H_i$ (t)	$H_t$ (t)	$M_i$ (t*m)	$M_t$ (t*m)
Peso terreno sopra platea	778,64	0,00	0,00	7.990,42	0,00
Spinta attiva terreno	0,00	259,10	0,00	-786,37	0,00
Sisma long. orizzontale	0,00	123,24	0,00	-631,76	0,00
Sisma trasv. orizzontale	0,00	0,00	94,18	0,00	472,33
Sisma vert. + Incr. peso	130,81	0,00	0,00	1.144,60	0,00
Sisma vert. +Decr. peso	-130,81	0,00	0,00	-1.144,60	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  $e_{i,N}$ ,  $e_{t,N}$ ,  $e_{v,N}$  eccentricità longitudinale, trasversale e verticale del peso degli elementi:

	N (t)	$e_{i,N}$ (m)	$e_{t,N}$ (m)	$e_{v,N}$ (m)
Muro frontale	172,50	4,75	0,00	3,80
Speroni	72,00	2,75	0,00	3,60
Soletta speroni	28,75	2,75	0,00	5,20
Paraghiaia	104,79	4,75	0,00	7,02
Mensola	9,29	3,66	0,00	7,99
	387,33	4,20	0,00	4,84
Muro di risvolto dx	104,49	8,75	5,68	5,02
Muro di risvolto sx	104,49	8,75	-5,68	5,02
	208,98	8,75	0,00	5,02

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	666,90	6,00	0,00	0,90
----------------------	--------	------	------	------

*tot*            1.263,21    5,90            0,00            2,79

Riassumendo

*Az. progetto*

	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio	1.263,21	0,00	0,00	7.458,14	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> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>
Muro frontale	20,87	3,80	-79,29
Speroni	8,71	3,60	-31,35
Soletta speroni	3,48	5,20	-18,08
Paraghiaia	12,68	7,02	-88,92
Mensola	1,12	7,99	-8,97
Muro di risvolto dx	12,64	5,02	-63,38
Muro di risvolto sx	12,64	5,02	-63,38
Orecchia dx	0,00	0,00	0,00
Orecchia sx	0,00	0,00	0,00
Platea di fondazione	80,67	0,90	-72,60
<i>TOT</i>	152,80		-425,99

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub></b> <b>(t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub></b> <b>(m)</b>	<b>M<sub>t</sub></b> <b>(t*m)</b>
Muro frontale	20,87	3,80	79,29
Speroni	8,71	3,60	31,35
Soletta speroni	3,48	5,20	18,08
Paraghiaia	12,68	7,02	88,92
Mensola	1,12	7,99	8,97
Muro di risvolto dx	12,64	5,02	63,38
Muro di risvolto sx	12,64	5,02	63,38
Orecchia dx	0,00	0,00	0,00
Orecchia sx	0,00	0,00	0,00
Platea di fondazione	80,67	0,90	72,60
<i>TOT</i>	152,80		425,99

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

<i>Az. progetto</i>	<b>N</b> <b>(t)</b>	<b>H<sub>l</sub></b> <b>(t)</b>	<b>H<sub>t</sub></b> <b>(t)</b>	<b>M<sub>l</sub></b> <b>(t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub></b> <b>(t*m)</b>
Peso proprio spalla	1.263,21	0,00	0,00	7.458,14	0,00
Sisma long. orizzontale	0,00	152,80	0,00	-425,99	0,00
Sisma trasv. orizzontale	0,00	0,00	152,80	0,00	425,99
Sisma vert. + Incr. peso	212,22	0,00	0,00	1.252,97	0,00
Sisma vert. - Decr. peso	-212,22	0,00	0,00	-1.252,97	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.

$$e_l = -2,40 \text{ m}$$

$$e_t = 0,38 \text{ m}$$

$$e_v = -5,80 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

Azioni impalcato rispetto filo anteriore inf. platea						Cond. Norm. Eserc.
<b>COMB.</b>	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>	
1	101,39	125,91	5,71	-639,96	79,86	
2	424,76	125,91	6,80	136,15	735,90	
3	363,58	125,91	6,80	-10,68	904,15	
4	424,76	169,59	2,27	-170,27	697,45	
5	363,58	169,59	2,27	-317,10	865,69	

<i>Perm.</i>	6,7	101,39	0,00	0,00	243,33	38,02	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	17,03	0,00	0,00	40,88	6,39	
<i>Vert. -</i>	7	-17,03	0,00	0,00	-40,88	-6,39	
<i>Orizz.</i>	6,7	0,00	0,00	12,26	0,00	86,03	
<i>Perm.</i>	8,9	101,39	0,00	0,00	243,33	38,02	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	17,03	0,00	0,00	40,88	6,39	
<i>Vert. -</i>	9	-17,03	0,00	0,00	-40,88	-6,39	
<i>Orizz.</i>	8,9	0,00	519,95	0,00	-3647,44	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>COMB.</b>	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>	
1	2.277,78	385,02	5,71	14.022,24	79,86	Cond. Norm. Eserc.
2	2.601,16	385,02	6,80	14.798,35	735,90	
3	2.539,98	385,02	6,80	14.651,51	904,15	
4	2.601,16	428,70	2,27	14.491,93	697,45	
5	2.539,98	428,70	2,27	14.345,10	865,69	

<i>Perm.</i>	6,7	2.143,23	204,02	0,00	14.905,52	38,02	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	360,06	0,00	0,00	2.438,45	6,39	
<i>Vert. -</i>	7	-360,06	0,00	0,00	-2.438,45	-6,39	
<i>Orizz.</i>	6,7	0,00	0,00	259,25	0,00	984,35	
<i>Perm.</i>	8,9	2.143,23	204,02	0,00	14.905,52	38,02	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	360,06	0,00	0,00	2.438,45	6,39	
<i>Vert. -</i>	9	-360,06	0,00	0,00	-2.438,45	-6,39	
<i>Orizz.</i>	8,9	0,00	795,99	0,00	-4.705,18	0,00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA SPALLA

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 18$

Dimensioni platea di fondazione (m)

X	Y	Z
12,00	12,35	1,80

Area fondazione 148,20 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.

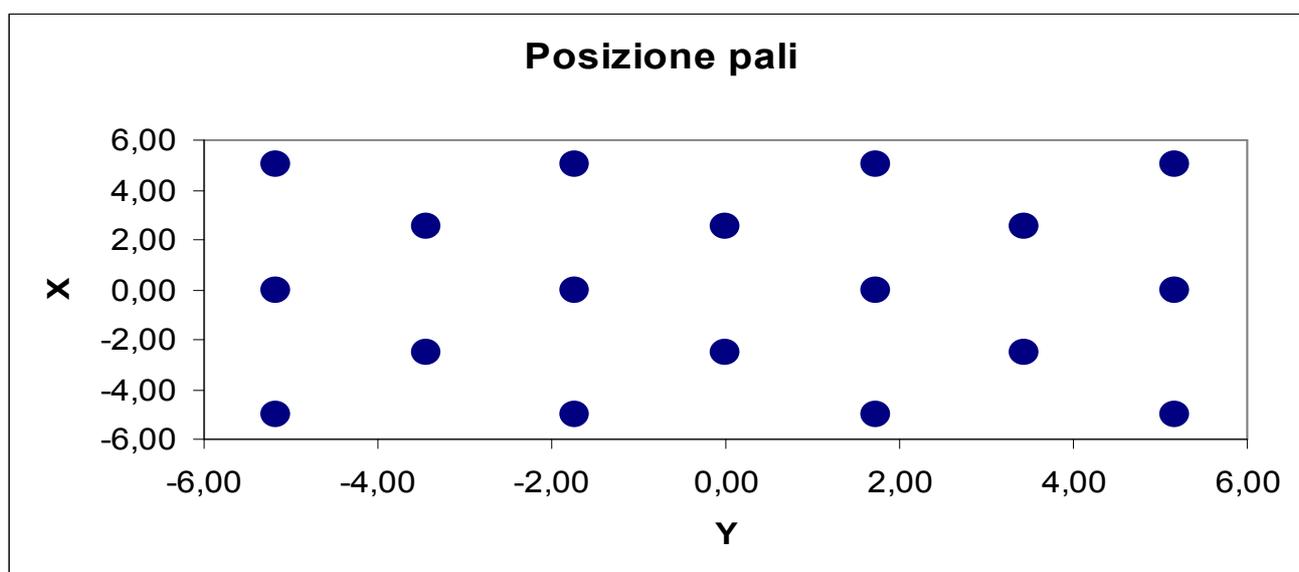
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata (m<sup>2</sup>)

J <sub>I</sub>	J <sub>t</sub>
237,5	226,148

Coordinate pali rispetto al baricentro platea (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	5,00	5,18	5,00	5,18	47,50	43,70
2	5,00	1,73	5,00	1,73	47,50	131,10
3	5,00	-1,73	5,00	-1,73	47,50	-131,10
4	5,00	-5,18	5,00	-5,18	47,50	-43,70
5	2,50	3,45	2,50	3,45	95,00	65,55
6	2,50	0,00	2,50	0,00	95,00	Infinito
7	2,50	-3,45	2,50	-3,45	95,00	-65,55
8	0,00	5,18	0,00	5,18	Infinito	43,70
9	0,00	1,73	0,00	1,73	Infinito	131,10
10	0,00	-1,73	0,00	-1,73	Infinito	-131,10
11	0,00	-5,18	0,00	-5,18	Infinito	-43,70
12	-2,50	3,45	-2,50	3,45	-95,00	65,55
13	-2,50	0,00	-2,50	0,00	-95,00	Infinito
14	-2,50	-3,45	-2,50	-3,45	-95,00	-65,55
15	-5,00	5,18	-5,00	5,18	-47,50	43,70
16	-5,00	1,73	-5,00	1,73	-47,50	131,10
17	-5,00	-1,73	-5,00	-1,73	-47,50	-131,10
18	-5,00	-5,18	-5,00	-5,18	-47,50	-43,70
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:

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

$$e_{l, \text{pali}} = 6,00 \text{ m}$$

		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	2.277,78	385,02	5,71	355,55	79,86	Cond. Norm. Eserc.
	2	2.601,16	385,02	6,80	-808,61	735,90	
	3	2.539,98	385,02	6,80	-588,37	904,15	
	4	2.601,16	428,70	2,27	-1.115,03	697,45	
	5	2.539,98	428,70	2,27	-894,78	865,69	
<i>Perm.</i>	6,7	2.143,23	204,02	0,00	2.046,13	38,02	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	360,06	0,00	0,00	278,07	6,39	
<i>Vert. -</i>	7	-360,06	0,00	0,00	-278,07	-6,39	
<i>Orizz.</i>	6,7	0,00	0,00	259,25	0,00	984,35	
<i>Perm.</i>	8,9	2.143,23	204,02	0,00	2.046,13	38,02	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	360,06	0,00	0,00	278,07	6,39	
<i>Vert. -</i>	9	-360,06	0,00	0,00	-278,07	-6,39	
<i>Orizz.</i>	8,9	0,00	795,99	0,00	-4.705,18	0,00	

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

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

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:

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

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)**

<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	120,9	178,4	174,2	183,9	179,8	113,5	85,1	190,2	155,9
2	119,7	167,1	160,4	173,3	166,6	97,9	69,6	189,5	155,5
3	118,4	155,9	146,6	162,7	153,3	82,3	54,1	188,9	155,0
4	117,2	144,7	132,8	152,0	140,1	66,7	38,6	188,2	154,5
5	124,0	164,2	161,1	166,9	163,7	130,2	96,0	164,8	127,6
6	122,8	153,0	147,3	156,2	150,5	114,6	80,5	164,1	127,1
7	121,6	141,8	133,5	145,6	137,3	99,0	65,0	163,5	126,7
8	128,4	161,3	161,8	160,5	160,9	162,5	122,3	140,1	99,8
9	127,2	150,1	148,0	149,8	147,7	146,9	106,8	139,4	99,3
10	125,9	138,9	134,2	139,2	134,5	131,3	91,3	138,7	98,8
11	124,7	127,7	120,4	128,6	121,3	115,7	75,8	138,1	98,3
12	131,5	147,2	148,7	143,4	144,9	179,1	133,2	114,7	71,5
13	130,3	136,0	134,9	132,8	131,7	163,5	117,7	114,0	71,0
14	129,1	124,8	121,1	122,1	118,5	147,9	102,2	113,3	70,5
15	135,9	144,3	149,4	137,0	142,1	211,4	159,5	90,0	43,6
16	134,6	133,1	135,6	126,4	128,9	195,8	144,0	89,3	43,2
17	133,4	121,9	121,8	115,7	115,7	180,2	128,5	88,6	42,7
18	132,2	110,6	108,0	105,1	102,5	164,6	113,0	87,9	42,2
19									
20									

$N_{\max}$  (t)    135,9    178,4    174,2    183,9    179,8    211,4    159,5    190,2    155,9

$N_{\min}$  (t)    117,2    110,6    108,0    105,1    102,5    66,7    38,6    87,9    42,2

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> (t)	H <sub>t</sub> (t)	T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
1	385,0	5,7	21,39	0,32	21,39
2	385,0	6,8	21,39	0,38	21,39
3	385,0	6,8	21,39	0,38	21,39
4	428,7	2,3	23,82	0,13	23,82
5	428,7	2,3	23,82	0,13	23,82
6	204,0	259,2	11,33	14,40	18,33
7	204,0	259,2	11,33	14,40	18,33
8	1000,0	0,0	55,56	0,00	55,56
9	1000,0	0,0	55,56	0,00	55,56

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 55,56$  t

PALI		
SISM		ESER
211,4	N <sub>max</sub>	183,9
38,6	N <sub>min</sub>	102,5
55,6	T <sub>max</sub>	23,8

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  $L_o$  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

$$L_o = 4,827 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 134,08 \text{ t*m}$$

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

$$N_{\max} = 190,2 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 42,2 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Raggio anello armatura} = 53,50 \text{ cm} \qquad \text{Copriferro} = 6,5 \text{ cm}$$

$$\text{Area armatura anulare} = 191,1 \text{ cm}^2$$

$$\text{Coeff. omogeneizzazione } n = 15,0$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile cls} = 122,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2.600 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 177,19^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 58,53 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 84,31 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 1.187,69 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$\text{Angolo al centro asse neutro} = 147,226^\circ$$

$$\text{Distanza asse neutro da lembo compresso} = 43,07 \text{ cm}$$

$$\text{Tensione max di compressione Cls} = 82,2811 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tensione armatura tesa} = 2.018,05 \text{ kg/cm}^2$$

## 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:

$$e_l = 1,72 \text{ m}$$

$$e_v = -4,00 \text{ m}$$

$$M_l = M_{l,appoggi} - N_{appoggi} * e_l + H_{l,appoggi} * e_v$$

AZIONI IMPALCATO rispetto baricentro muro						
	COMB.	N (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
	1	101,39	125,91	5,71	-830,65	-
	2	424,76	125,91	6,80	-1385,68	-
	3	363,58	125,91	6,80	-1280,67	-
	4	424,76	169,59	2,27	-1613,47	-
	5	363,58	169,59	2,27	-1508,46	-
Perm.	8,9	101,39	0,00	0,00	-174,01	-
Vert. +	8	17,03	0,00	0,00	-29,23	-
Vert. -	9	-17,03	0,00	0,00	29,23	-
Orizz.	8,9	0,00	519,95	0,00	-2079,79	-

### 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 spiccato 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):

$B_{tm}$ (m)	$H_m$ (m)	$H_{par}$ (m)	$S_{a,t}$ (t)	$S_{a,s}$ (t)	$e_{Sa,t}$ (m)	$e_{Sa,s}$ (m)
11,50	4,00	2,43	115,96	40,08	2,14	3,22

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

$\Delta S_{a,t}$ (t)	$e_{\Delta Sa,t}$ (t*m)
16,52	4,29

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 spiccato del muro, si ha:

*Az. progetto*

	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Spinta attiva terreno	0,00	115,96	0,00	-248,55	0,00
Spinta attiva sovraccarico	0,00	40,08	0,00	-128,85	0,00
Sisma long. orizzontale	0,00	16,52	0,00	-70,80	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> (t)</b>	<b>e<sub>l,muro</sub> (m)</b>	<b>N<sub>paragh</sub> (t)</b>	<b>e<sub>l,paragh</sub> (m)</b>	<b>N<sub>soletta</sub> (t)</b>	<b>e<sub>l,soletta</sub> (m)</b>	<b>N<sub>mensola</sub> (t)</b>	<b>e<sub>l,mensola</sub> (m)</b>
244,50	0,00	104,79	0,63	28,75	-1,37	9,29	-0,45

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> (t)</b>	<b>e<sub>v</sub> (t)</b>
46,85	3,04

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio muro front.	244,50	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso proprio paraghiaia	104,79	0,00	0,00	66,40	0,00
Peso proprio soletta	28,75	0,00	0,00	-39,28	0,00
Peso proprio mensola	9,29	0,00	0,00	-4,22	0,00
Sisma long. orizzontale	0,00	46,85	0,00	-142,29	0,00
Sisma vert. + Incr. peso	65,07	0,00	0,00	3,85	0,00
Sisma vert. - Decr. peso	-65,07	0,00	0,00	-3,85	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	488,72	281,95	5,71	-1185,14	-	Cond. Norm. Eserc.
	2	812,09	281,95	6,80	-1740,17	-	
	3	750,91	281,95	6,80	-1635,16	-	
	4	812,09	325,63	2,27	-1967,96	-	
	5	750,91	325,63	2,27	-1862,96	-	
Perm.	8,9	488,72	115,96	0,00	-399,66	-	Sisma Long.
Vert. +	8	82,10	0,00	0,00	-25,39	-	
Vert. -	9	-82,10	0,00	0,00	25,39	-	
Orizz.	8,9	0,00	583,32	0,00	-2292,87	-	

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	244,36	140,98	2,86	-592,57	-	Cond. Norm. Eserc.
	2	406,05	140,98	3,40	-870,08	-	
	3	375,46	140,98	3,40	-817,58	-	
	4	406,05	162,82	1,13	-983,98	-	
	5	375,46	162,82	1,13	-931,48	-	
Vert. +	8	285,41	349,64	0,00	-1346,34	-	Sisma Long.
Vert. -	9	203,31	349,64	0,00	-1333,57	-	

## VERIFICHE DEGLI ELEMENTI DELLA SPALLA

### VERIFICA MURO FRONTALE

Segue la verifica a pressoflessione per le varie combinazioni di carico:

Altezza totale sezione	400,00	cm
Altezza ala	150,00	cm
Larghezza anima	160,00	cm
Larghezza ala	575,00	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	-592,57	t*m
Sforzo normale	244,36	t

#### Sezione parzializzata

Dist. asse neutro da lembo compresso	208,31	cm
Tensione max cls	16,34	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione armatura tesa	-219,67	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione armatura compressa	239,24	kg/cm <sup>2</sup>

#### *Combinazione 2*

Momento flettente	-870,08	t*m
Sforzo normale	406,05	t

#### Sezione parzializzata

Dist. asse neutro da lembo compresso	237,21	cm
Tensione max cls	22,78	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione armatura tesa	-227,35	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione armatura compressa	334,57	kg/cm <sup>2</sup>

### Combinazione 3

Momento flettente	-817,58	t*m
Sforzo normale	375,46	t

#### Sezione parzializzata

Dist. asse neutro da lembo compresso	233,05	cm
Tensione max cls	21,56	kg/cm2
Tensione armatura tesa	-224,70	kg/cm2
Tensione armatura compressa	316,42	kg/cm2

### Combinazione 4

Momento flettente	-983,98	t*m
Sforzo normale	406,05	t

#### Sezione parzializzata

Dist. asse neutro da lembo compresso	208,46	cm
Tensione max cls	27,13	kg/cm2
Tensione armatura tesa	-364,14	kg/cm2
Tensione armatura compressa	397,15	kg/cm2

### Combinazione 5

Momento flettente	-931,48	t*m
Sforzo normale	375,46	t

#### Sezione parzializzata

Dist. asse neutro da lembo compresso	203,74	cm
Tensione max cls	25,92	kg/cm2
Tensione armatura tesa	-365,01	kg/cm2
Tensione armatura compressa	379,27	kg/cm2

### Combinazione 8

Momento flettente	-1346,34	t*m
Sforzo normale	285,41	t

#### Sezione parzializzata

Dist. asse neutro da lembo compresso	134,26	cm
Tensione max cls	43,82	kg/cm2
Tensione armatura tesa	-1.276,38	kg/cm2
Tensione armatura compressa	632,78	kg/cm2

## Combinazione 9

Momento flettente -1333,57 t\*m  
Sforzo normale 203,31 t

### Sezione parzializzata

Dist. asse neutro da lembo compresso 120,08 cm  
Tensione max cls 44,76 kg/cm<sup>2</sup>  
Tensione armatura tesa -1.537,16 kg/cm<sup>2</sup>  
Tensione armatura compressa 643,42 kg/cm<sup>2</sup>

Riassumendo per le varie combinazioni si ha

	1	2	3	4	5	8	9
$y_n$	208,3	237,2	233,1	208,5	203,7	134,3	120,1
$\sigma_{c,max}$	16,3	22,8	21,6	27,1	25,9	43,8	44,8
$\sigma_{a,t}$	-219,7	-227,3	-224,7	-364,1	-365,0	-1.276,4	-1.537,2
$\sigma_{a,c}$	239,2	334,6	316,4	397,2	379,3	632,8	643,4

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

$$\gamma_t = 1,80 \text{ t/m}^3 \quad \phi' = 35^\circ \quad q_s = 2,00 \text{ t/m}^2$$

$$K_a = 0,27099$$

$B_{tpar}$ (m)	$H_{par}$ (m)	$S_{a,t}$ (t)	$S_{a,s}$ (t)	$e_{Sa,t}$ (m)	$e_{Sa,s}$ (m)
11,50	2,43	16,56	15,15	0,81	1,22

Riportando tali azioni a metro lineare di muro e calcolando il momento  $M_{I1}$  rispetto alla base del muro paraghiaia, risulta

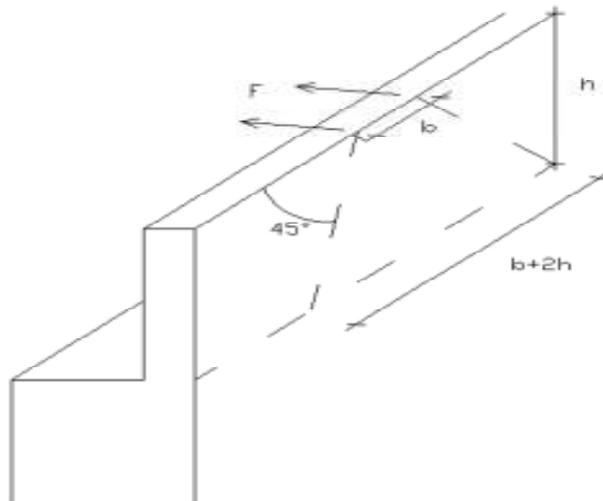
$S_{a,t}$ (t/m)	$S_{a,s}$ (t/m)	$e_{Sa,t}$ (m)	$e_{Sa,s}$ (m)	$M_{I1}$ (t*m/m)
1,44	1,32	0,81	1,22	-2,77

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  $M_{I2}$  per unità di lunghezza del muro, rispetto alla base dello stesso, pari a:

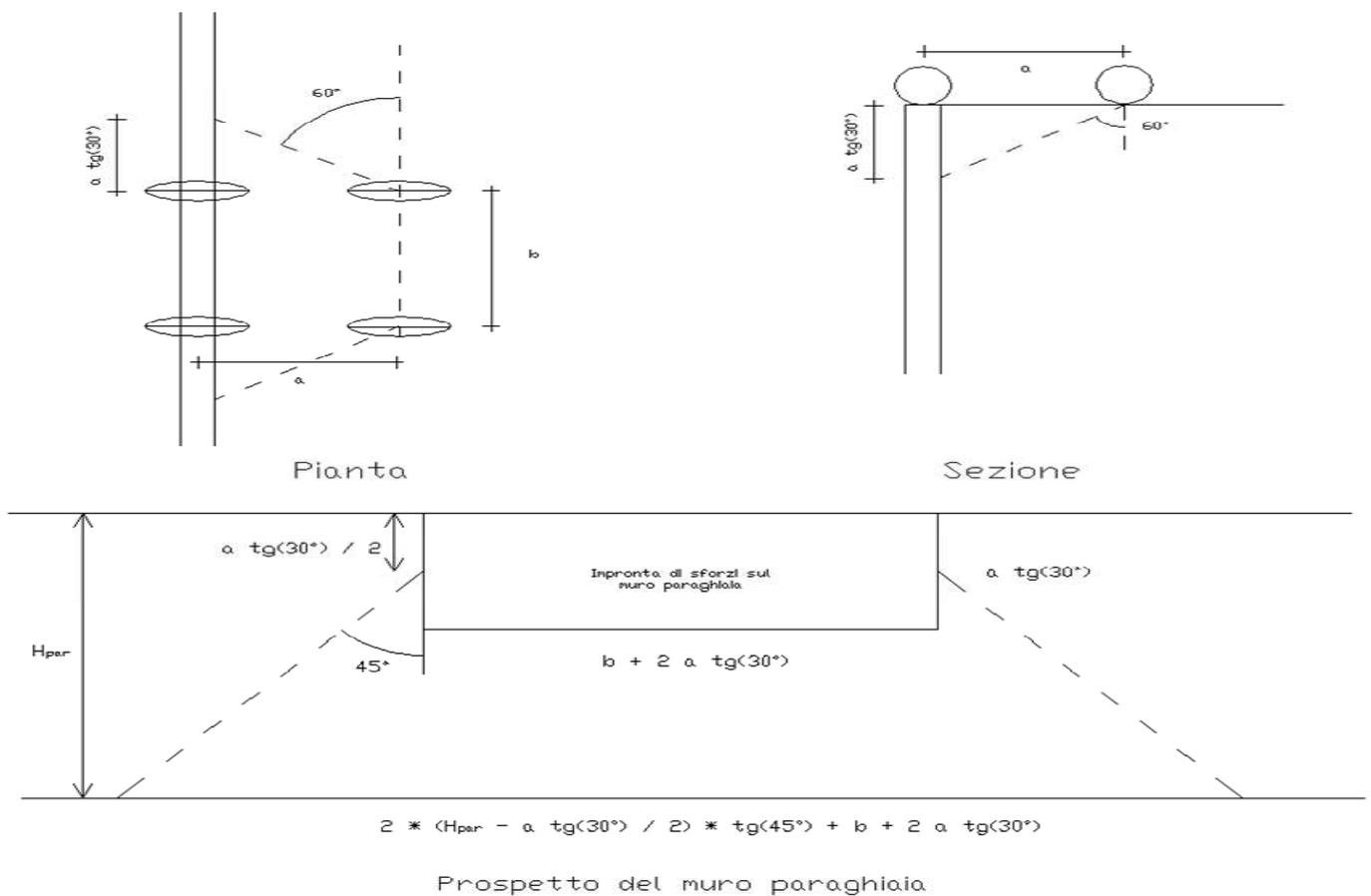
$$H_{par} = 2,43 \text{ m} \qquad F = 4,00 \text{ t} \qquad b = 2,00 \text{ m}$$

$$M_{I2} = (F * H_{par}) / (b + 2 * H_{par}) = -1,42 \text{ t*m/m}$$



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

$$L_{impronta} = 2 * (H_{par} - 0,8655/2) * \text{tg}(45^\circ) + 3,732 = 7,73 \text{ m}$$



Si trova dunque per l'asse che frena sul rilevato a 1,5 m dal paraghiaia un momento  $M_1$  per unità di lunghezza del muro, rispetto alla base dello stesso, pari a:

$$M_{13} = F * (H_{par} - 0,8655/2) / L_{impronta} = -1,03 \quad t^*m/m$$

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):

$H_f$ (t)	$H_{attr}$ (t)	e (m)	$M_f$ (t*m)	$M_{attr}$ (t*m)
43,68	125,91	1,22	-53,07	-152,99

In totale per il momento longitudinale  $M_l$  si ha, con  $B_{l,p}$  larghezza del muro paraghiaia:

$$M_l = M_{l1} + M_{l2} + M_{l3} + (M_f + M_{attr}) / B_{l,p} = -22,39 \quad t \cdot m / m$$

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  $b + 2 \cdot H_{par}$

$$N = 12,03 \quad t / m$$

### ### 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

$$K_{a,s \text{ orizzontale}} = k_{a,s} \cdot \cos(\theta) = 0,3097$$

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:

$B_{t \text{ par}}$ (m)	$H_{par}$ (m)	$S_{a,t \text{ sism}}$ (t)	$e$ (m)	$M_{l1}$ (t*m/m)
11,50	2,43	18,93	1,62	-2,67

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 (spiccato paraghiaia) e con  $M_{sism}$  il momento di tale azione per unità di lunghezza, si ha:

$H_{s,sism}$ (t)	$e$ (m)	$M_{sism}$ (t*m/m)
519,95	1,22	-54,93

In totale per il momento longitudinale  $M_l$  si ha:

$$M_l = M_{l1} + M_{sism} = -57,60 \quad t \cdot m/m$$

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).

$$N = 7,58 \quad t/m$$

Segue la verifica a pressoflessione:

Altezza totale della sezione	150,00	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	38,69	cm
Tensione max cls	10,13	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione armatura tesa	417,47	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione armatura compressa	-132,32	kg/cm <sup>2</sup>

#### Condizioni sismiche

Sezione parzializzata

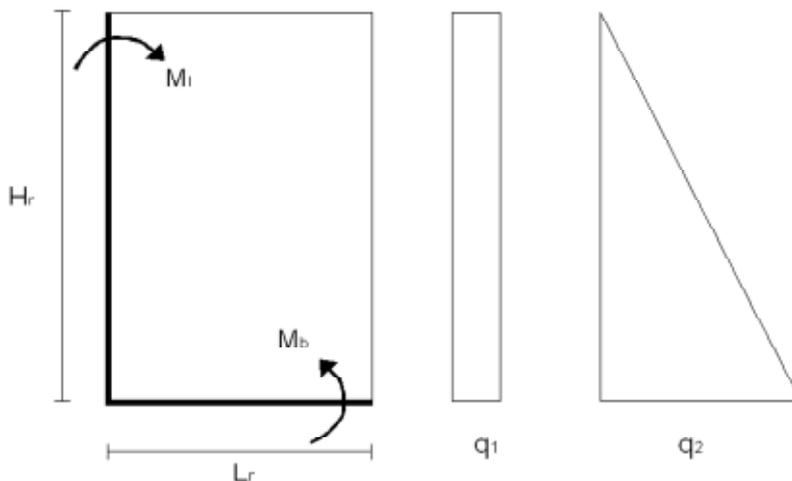
Dist. asse neutro da lembo compresso	29,95	cm
Tensione max cls	25,30	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione armatura tesa	1.457,66	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione armatura compressa	-316,14	kg/cm <sup>2</sup>

## 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:

$$\begin{aligned}q_1 &= q_s * K_a = 0,54 \quad \text{t/m}^2 \\ q_2 &= \gamma_t * K_a * H_r = 3,14 \quad \text{t/m}^2\end{aligned}$$



Per il calcolo dei momenti flettenti, si adottano le tabelle contenute nel Bares. Quale coefficiente dimensionale si ha:

$$\gamma = L_r / H_r = 1,000$$

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 :

$$\begin{aligned}M_b &= -21,61 \quad \text{t*m/m} \\ N_b &= 16,075 \quad \text{t/m}\end{aligned}$$

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	24,28	cm
Tensione max cls	24,80	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione armatura tesa	1.083,50	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione armatura compressa	-295,46	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  $M_1$  orizzontale si ottiene nella sezione di incastro con il muro frontale il valore max:

$$M_1 = -15,53 \text{ t}\cdot\text{m/m}$$

Segue la verifica a flessione semplice della sezione

Dati di calcolo	$M_{ver}$ (t·m/m)	$S_{pr}$ (cm)	$c^{tesa}$ (cm)	$c^{compr}$ (cm)	coeff. omogen	$A_f^{tesa}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$A_f^{compr}$ (cm <sup>2</sup> /m)
	-15,53	100,00	5	5	15	15,7	10,05

Risultati	$y_n$ (cm)	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{c,amm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{at}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ac}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,amm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	17,988	17,3	122,5	1.109,7	-187,1	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)

$c^{compr}$  = 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

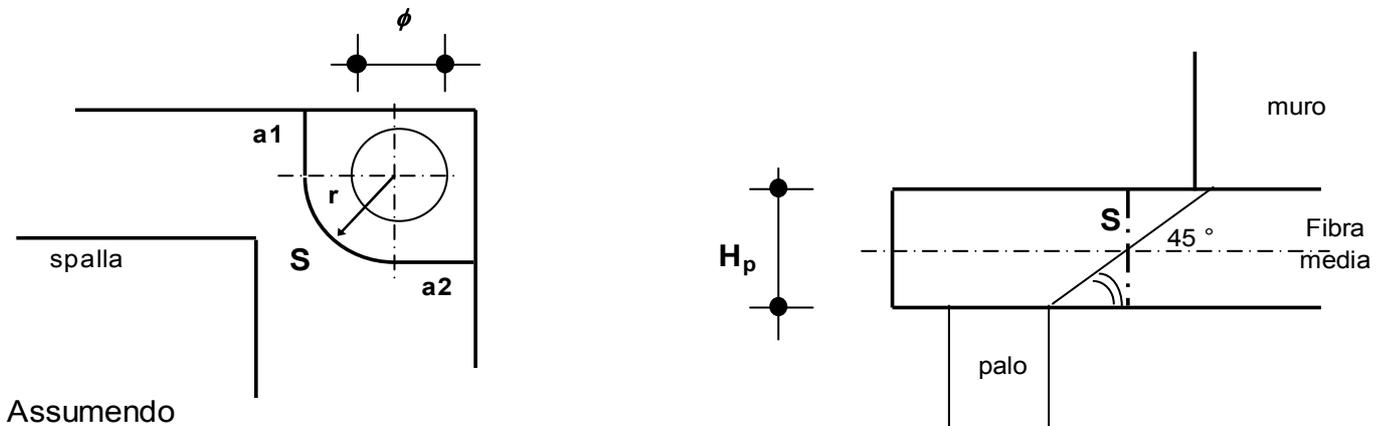
### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo } N_{p,\max} = 190,214 \text{ t}$$

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

$$a1 = 1,00 \text{ m}$$

$$a2 = 1,00 \text{ m}$$

$$r = 1,50 \text{ m}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r / 2 + a2) = 7,84 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 2,43 \text{ kg/cm}^2$$

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 DAVANTI AL MURO DI FONDAZIONE

La sporgenza  $S_p$  della platea oltre il muro di fondazione è pari a:

$$S_p = 4,00 \text{ m}$$

La verifica viene effettuata considerando il momento esercitato dall'azione N del palo anteriore più sollecitato rispetto al muro frontale:

$$N = 190,21 \text{ t}$$

Tale forza ha una eccentricità rispetto al filo anteriore del muro frontale pari a:

$$e = 3,00 \text{ m}$$

Operando poi una diffusione all'interno della platea a  $45^\circ$  dello sforzo normale N si ottiene una larghezza collaborante pari a:

$$b_{\text{collab.}} = 3,45 \text{ m}$$

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:

$$M_{\text{ver}} = N \cdot e / b_{\text{collab.}} - \gamma_{\text{cls}} \cdot H_p \cdot S_p^2 / 2 = 129,40 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m}$$

Segue la verifica a flessione semplice della sezione

Dati di calcolo	$M_{\text{ver}}$ (t*m/m)	$H_p$ (cm)	$c^{\text{tesa}}$ (cm)	$c^{\text{compr}}$ (cm)	Coeff. omogen	$A_f^{\text{tesa}}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$A_f^{\text{compr}}$ (cm <sup>2</sup> /m)
	129,40	180	5	5	15	53,09	26,55

Risultati	$y_n$ (cm)	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{c,\text{amm}}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{at}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ac}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,\text{amm}}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	42,549	32,2	122,5	1.503,5	-426,2	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)

$$T = N^{rid} / b_{collab.} - \gamma_{cls} * H_p * S_p = 29,26 \text{ t/m}$$

da cui:

$$\tau_{cls} = T/A = 1,9 \text{ kg/cm}^2$$

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

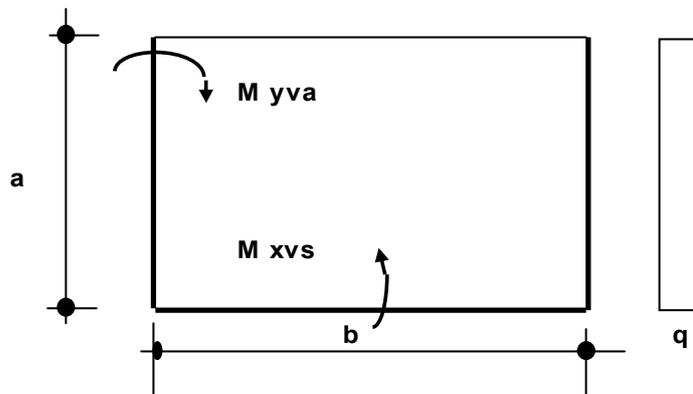
$$R_{ck} \text{ fondazione} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{c0} = 7,33333 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{c1} = 21,1429 \text{ kg/cm}^2$$

### ### 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

$$a = 6,50 \text{ m}$$

$$b = 11,35 \text{ m}$$

Pali con effetto flettente rispetto alla platea di fondazione: 9-10, 12-14, 16-17

Area d'influenza:  $a' = 6,5 \text{ m}$   $b' = 11,35 \text{ m}$

Per il terreno portato si ha :

$$q_{\text{terreno}} = \gamma_t * (H_m + H_{\text{par}}) = 11,57 \text{ t/m}^2$$

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:

$$q_{\text{platea}} = \gamma_{\text{cls}} * H_p = 4,50 \text{ t/m}^2$$

### ### 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:

$$\begin{aligned}\sum N_{\text{pali}} &= -952,0 \text{ t} \\ q_{\text{pali}} &= \sum N_{\text{pali}} / (a' * b') = -12,90 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

da cui si ottiene il carico risultante:

$$q_1 = q_{\text{terreno}} + q_s + q_{\text{platea}} - q_{\text{pali}} = 5,17 \text{ t/m}^2$$

b) - Min. carico verticale sui pali

Per la reazione dei pali si ha:

$$\begin{aligned}\sum N_{\text{pali}} &= -912,0 \text{ t} \\ q_{\text{pali}} &= \sum N_{\text{pali}} / (a' * b') = -12,36 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

da cui si ottiene il carico risultante:

$$q_2 = q_{\text{terreno}} + q_s + q_{\text{platea}} - q_{\text{pali}} = 5,71 \text{ t/m}^2$$

### ### 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:

$$\begin{aligned}\sum N_{\text{pali}} &= -798,1 \text{ t} \\ q_{\text{pali}} &= \sum N_{\text{pali}} / (a' * b') = -10,82 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

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:

$$q_3 = (q_{\text{terreno}} + q_{\text{platea}}) * (1 + K_v) - q_{\text{pali}} = 7,96 \text{ t/m}^2$$

b) - Combinazione di carico 9 (decremento pesi)

Per la reazione dei pali si ha:

$$\begin{aligned}\Sigma N_{\text{pali}} &= -496,9 \text{ t} \\ q_{\text{pali}} &= \Sigma N_{\text{pali}} / (a' * b') = -6,74 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

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:

$$q_4 = (q_{\text{terreno}} + q_{\text{platea}}) * (1 - K_v) - q_{\text{pali}} = 9,34 \text{ t/m}^2$$

La verifica a flessione della platea va fatta sia nei riguardi del carico risultante massimo,  $q_{\text{max}}$ , sia del carico risultante minimo,  $q_{\text{min}}$

$$q_{\text{max}} = 9,34 \text{ t/m}^2$$

$$q_{\text{min}} = 5,17 \text{ t/m}^2$$

Come coefficiente dimensionale per la tabella 1.35 del Bares risulta:

$$\gamma = a/b = 0,57269$$

**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	-93,07	t*m/m
$M_{xvs} =$	M longitudinale all'incastro muro frontale	-63,92	t*m/m
$M_{yas} =$	M trasv. di bordo a centro lastra	37,92	t*m/m
$M_{xs} =$	M longitudinale a centro lastra	6,93	t*m/m

Segue il calcolo dell'armatura di verifica:

coeff. omogeneizzazione = 15

Dati di calcolo	Arm. di verifica	sez.	$M_{ver}$ (t*m/m)	$H_p$ (cm)	$c^{tesa}$ (cm)	$c^{compr}$ (cm)	$A_f^{tesa}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$A_f^{compr}$ (cm <sup>2</sup> /m)
	Arm. trasversale	incastro	-93,07	180	7,5	7,5	26,55	26,55
	Arm. longitud.	incastro	-63,92	180	5	5	26,55	26,55
	Arm. trasversale	centro	37,92	180	7,5	7,5	26,55	26,55
	Arm. longitud.	centro	6,93	180	5	5	26,55	26,55

Risultati	Arm. di verifica	sez.	$y_n$ (cm)	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{c,amm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{at}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ac}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,amm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	Arm. trasversale	incastro	23,086	43,8	122,5	2.126,9	-221,9	2.600
	Arm. longitud.	incastro	23,086	29,1	122,5	1.436,4	-171,0	2.600
	Arm. trasversale	centro	23,086	17,9	122,5	866,6	-90,4	2.600
	Arm. longitud.	centro	23,086	3,2	122,5	155,7	-18,5	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	-51,53	t*m/m
$M_{xvs}$ = M longitudinale all'incastro muro frontale	-35,39	t*m/m
$M_{yas}$ = M trasv. di bordo a centro lastra	21,00	t*m/m
$M_{xs}$ = M longitudinale a centro lastra	3,84	t*m/m

Segue il calcolo dell'armatura di verifica:

coeff. omogeneizzazione = 15

Dati di calcolo	Arm. di verifica	sez.	$M_{ver}$ (t*m/m)	$H_p$ (cm)	$c^{tesa}$ (cm)	$c^{compr}$ (cm)	$A_f^{tesa}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$A_f^{compr}$ (cm <sup>2</sup> /m)
	Arm. trasversale	incastro	-51,53	180	7,5	7,5	26,55	26,55
	Arm. longitud.	incastro	-35,39	180	5	5	26,55	26,55
	Arm. trasversale	centro	21,00	180	7,5	7,5	26,55	26,55
	Arm. longitud.	centro	3,84	180	5	5	26,55	26,55

Risultati	Arm. di verifica	sez.	$y_n$ (cm)	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{c,amm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{at}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ac}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,amm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	Arm. trasversale	incastro	23,086	24,3	122,5	1.177,5	-122,8	2.600
	Arm. longitud.	incastro	23,086	16,1	122,5	795,2	-94,7	2.600
	Arm. trasversale	centro	23,086	9,9	122,5	479,8	-50,0	2.600
	Arm. longitud.	centro	23,086	1,7	122,5	86,2	-10,3	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

## **PARTE III**

## **PREMESSA**

Le pile dalla 21 alla 37 (secondo la Vecchia Numerazione – dalla 19 alla 35 secondo la Nuova Numerazione), per le quali le verifiche di cui alla parte 1 non sono risultate soddisfatte, sono state oggetto di un intervento comprendente l'incamiciatura del fusto esistente per uno spessore di 33 cm. La camicia è stata resa solidale al getto preesistente tramite 12 spine di collegamento  $\Phi 24$  messe a passo 75 cm, inghisate con resina epossidica in fori  $\Phi 30$ . Alla camicia è stato destinato il compito di assorbire tutti i carichi ad eccezione del peso proprio di pila e pulvino esistenti.

Considerando i risultati insoddisfacenti delle indagini per quanto riguarda le fondazioni, si è ritenuto di dover intervenire sulle stesse in modo sistematico: sono stati quindi previsti micropali di rinforzo in numero opportuno su tutte le zattere. Il calcolo è stato sviluppato affidando alle nuove strutture di consolidamento tutti i carichi ad eccezione di quelli derivanti da pulvino, pila e zattera preesistenti. Questa ipotesi, chiaramente in favore di stabilità, permette in definitiva di dimensionare l'intervento prescindendo dal contributo dell'esistente, che le indagini hanno rilevato di incerta qualità.

Nel caso in esame verranno esaminate (secondo la Nuova Numerazione) le pile 12, 14 (più alta a 5 pali), 18, 20 (più alta a 6 pali), 22, 24, 25 (più alta a 7 pali), 28, 32 e 34 (più alta a 8 pali).

## Calcolo della Pila 12

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	0.88	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	6.00	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	8.50	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	2.90	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 $h_{bagg}$	0.53	m
Pulvino $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	4.56	m

#### *Sezioni in pianta*

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	6.33	$m^2$

#### *Baricentri*

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	2.28	m

#### *Momenti d'inerzia*

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	3.19	$m^4$
---	------	-------

#### *Prospetti longitudinali*

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	4.74	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	2.37	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:

$$\lambda = 21.01$$

## **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:

$$N_{app} = 489.14 \quad t$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 308.37 & t \\ M_t & 494.84 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 250.03 & t \\ M_t & 677.15 & t \cdot m \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
17.61	18.23

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
43.14	109.58

### **### 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:

n° campate collegate 1

lunghezza complessiva campate collegate 34.025 m

$$H_{f1,a} = 0,10 * (3 * 20 + 3 * (\text{lunghezza compless. campate collegate} - 9)) = 13.5075 \text{ t}$$

$$H_{f1,b} = 0,20 * (3 * 20 * (1 + 0,5 + 0,35)) = 22.2 \text{ t} \quad (3 \text{ colonne di carico})$$

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \text{ t}$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 14.67 \text{ t}$$

### **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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
489.14	59.17	61.24	82.17

### ### 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)	
489	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
59.17	-61.24

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  $M_{s,l}$ :

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

W	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
489.14	82.17

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	17.61	0.00	18.23
Attrito * 1.00	0.00	14.67	0.00	0.00	0.00
TOT	489.14	14.67	17.61	0.00	18.23

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	308.37	0.00	0.00	0.00	494.84
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	25.88	0.00	65.75
Attrito * 1.00	0.00	14.67	0.00	0.00	0.00
TOT	797.50	14.67	25.88	0.00	560.59

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	250.03	0.00	0.00	0.00	677.15
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	25.88	0.00	65.75
Attrito * 1.00	0.00	14.67	0.00	0.00	0.00
TOT	739.16	14.67	25.88	0.00	742.90

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	308.37	0.00	0.00	0.00	494.84
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	8.63	0.00	21.92
Attrito * 1.00	0.00	14.67	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>797.50</b>	<b>36.87</b>	<b>8.63</b>	<b>0.00</b>	<b>516.76</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	250.03	0.00	0.00	0.00	677.15
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	8.63	0.00	21.92
Attrito * 1.00	0.00	14.67	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>739.16</b>	<b>36.87</b>	<b>8.63</b>	<b>0.00</b>	<b>699.07</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	59.17	0.00	61.24
Sisma vert. +	82.17	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>571.31</b>	<b>0.00</b>	<b>59.17</b>	<b>0.00</b>	<b>61.24</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	59.17	0.00	61.24
Sisma vert. -	-82.17	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>406.96</b>	<b>0.00</b>	<b>59.17</b>	<b>0.00</b>	<b>61.24</b>

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

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	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	59.17	0.00	-61.24	0.00
Sisma vert. +	82.17	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>571.31</b>	<b>59.17</b>	<b>0.00</b>	<b>-61.24</b>	<b>0.00</b>

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

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	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	59.17	0.00	-61.24	0.00
Sisma vert. -	-82.17	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>406.96</b>	<b>59.2</b>	<b>0.00</b>	<b>-61.2</b>	<b>0.00</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	489.14	14.67	17.61	0.00	18.23
2	797.50	14.67	25.88	0.00	560.59
3	739.16	14.67	25.88	0.00	742.90
4	797.50	36.87	8.63	0.00	516.76
5	739.16	36.87	8.63	0.00	699.07

Eserc.	6.7	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	82.17	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-82.17	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	59.17	0.00	61.24
Sisma Trasv.	8.9	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	82.17	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	-82.17	0.00	0.00	0.00	0.00
	8.9	0.00	59.17	0.00	-61.24	0.00
Sisma Long.	6.7	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	82.17	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-82.17	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	59.17	0.00	61.24

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	0.00	0.00
Fusto pila	0.00	0.00
	0.00	0.00

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	0.00	0.00	0.00
	0.00		0.00

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	0.00	0.00	0.00
	0.00		0.00

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

$$A_r = 24.81 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 5.66 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	24.81	6.20	5.66	35.10

## 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.

$$e_v = -7.46 \text{ m}$$

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

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

(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	489.14	14.67	17.61	-109.47	149.61	Cond. Norm. Eserc.
2	797.50	14.67	25.88	-109.47	753.67	
3	739.16	14.67	25.88	-109.47	935.98	
4	797.50	36.87	8.63	-275.08	581.12	
5	739.16	36.87	8.63	-275.08	763.43	

<i>Perm.</i>	6.7	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	82.17	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-82.17	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	59.17	0.00	502.61	
<i>Perm.</i>	8.9	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	82.17	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-82.17	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	59.17	0.00	-502.61	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	489.14	14.67	23.81	-109.47	184.71	Cond. Norm. Eserc.
2	797.50	14.67	29.60	-109.47	774.73	
3	739.16	14.67	29.60	-109.47	957.04	
4	797.50	36.87	12.35	-275.08	602.18	
5	739.16	36.87	12.35	-275.08	784.49	

<i>Perm.</i>	6.7	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	82.17	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-82.17	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	59.17	0.00	502.61	
<i>Perm.</i>	8.9	489.14	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	82.17	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-82.17	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	59.17	0.00	-502.61	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	111.56	0.44
Terreno portato	162.81	1.89
	274.37	1.30

**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_I</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_I</math> (t*m)</b>
Zattera	11.25	0.44	-4.92
Terreno portato	16.41	1.89	-30.98
	27.66		-35.90

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	11.25	0.44	4.92
Terreno portato	16.41	1.89	30.98
	27.66		35.90

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	274.37	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	27.66	0.00	-35.90	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	27.66	0.00	35.90
Sisma vert. + Incr. peso	46.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-46.09	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	489.14	14.67	23.81	-109.47	184.71	Cond. Norm. Eserc.
2	797.50	14.67	29.60	-109.47	774.73	
3	739.16	14.67	29.60	-109.47	957.04	
4	797.50	36.87	12.35	-275.08	602.18	
5	739.16	36.87	12.35	-275.08	784.49	
Perm.	6.7	489.14	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	82.17	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-82.17	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	49.30	418.84	
Perm.	8.9	489.14	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	82.17	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-82.17	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	49.30	0.00	-418.84	

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

$$h_{zattera} = 0.88 \text{ m}$$

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	763.50	14.67	23.81	-122.31	205.55	Cond. Norm. Eserc.
2	1 071.87	14.67	29.60	-122.31	800.63	
3	1 013.53	14.67	29.60	-122.31	982.94	
4	1 071.87	36.87	12.35	-307.35	612.99	
5	1 013.53	36.87	12.35	-307.35	795.30	

<i>Perm.</i>	6.7	763.50	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	128.27	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-128.27	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	76.96	0.00	497.88	
<i>Perm.</i>	8.9	763.50	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	128.27	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-128.27	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	76.96	0.00	-497.88	0.00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 20$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
6.00	8.50	0.88

Area fondazione  $51.00 \text{ m}^2$

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

X	Y
0.00	0.00

Baricentro palificata

$X_G$	$Y_G$
0.00	0.00

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

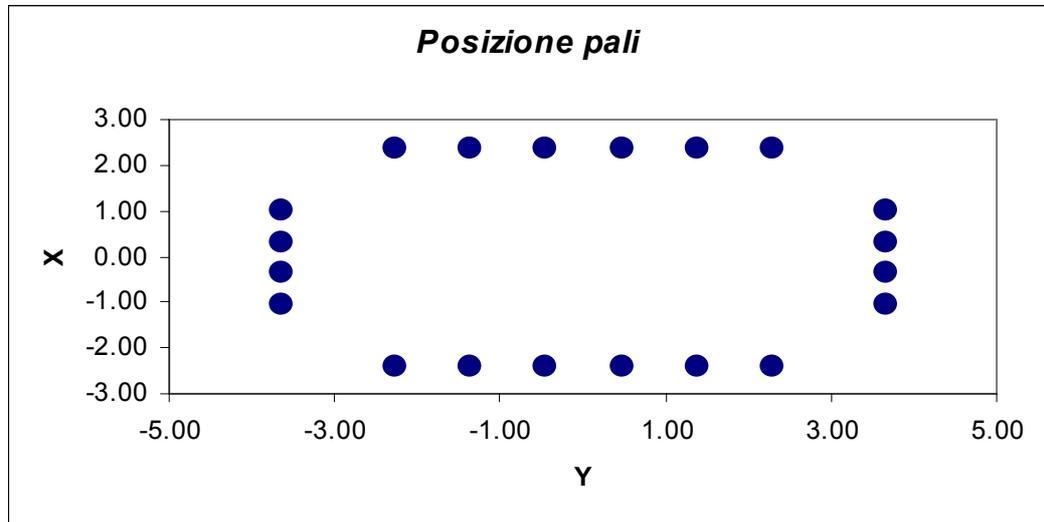
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
73.742	135.43

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X<sub>g</sub>,Y<sub>g</sub>):

Pali	X (m)	Y (m)	X <sub>Gi</sub> (m)	Y <sub>Gi</sub> (m)	W <sub>I</sub> (m)	W <sub>t</sub> (m)
1	2.40	2.27	2.40	2.27	30.73	59.67
2	2.40	1.36	2.40	1.36	30.73	99.45
3	2.40	0.45	2.40	0.45	30.73	298.37
4	2.40	-0.45	2.40	-0.45	30.73	-298.37
5	2.40	-1.36	2.40	-1.36	30.73	-99.45
6	2.40	-2.27	2.40	-2.27	30.73	-59.67
7	1.02	3.65	1.02	3.65	72.31	37.10
8	1.02	-3.65	1.02	-3.65	72.31	-37.10
9	0.34	3.65	0.34	3.65	216.95	37.10
10	0.34	-3.65	0.34	-3.65	216.95	-37.10
11	-0.34	3.65	-0.34	3.65	-216.95	37.10
12	-0.34	-3.65	-0.34	-3.65	-216.95	-37.10
13	-1.02	3.65	-1.02	3.65	-72.31	37.10
14	-1.02	-3.65	-1.02	-3.65	-72.31	-37.10
15	-2.40	2.27	-2.40	2.27	-30.73	59.67
16	-2.40	1.36	-2.40	1.36	-30.73	99.45
17	-2.40	0.45	-2.40	0.45	-30.73	298.37
18	-2.40	-0.45	-2.40	-0.45	-30.73	-298.37
19	-2.40	-1.36	-2.40	-1.36	-30.73	-99.45
20	-2.40	-2.27	-2.40	-2.27	-30.73	-59.67
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

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:

$$M_I = M_i + (N \cdot e_{i,pali})$$

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

		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	763.50	14.67	23.81	-122.31	205.55	Eserc.
	2	1 071.87	14.67	29.60	-122.31	800.63	
	3	1 013.53	14.67	29.60	-122.31	982.94	
	4	1 071.87	36.87	12.35	-307.35	612.99	
	5	1 013.53	36.87	12.35	-307.35	795.30	
Perm.	6.7	763.50	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	128.27	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-128.27	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	7.8	0.00	0.00	76.96	0.00	497.88	
Perm.	8.9	763.50	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	128.27	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-128.27	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	76.96	0.00	-497.88	0.00	

Al fine di ottenere gli sforzi assiali in testa ai pali si adoterà 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  $\beta_i = 2$  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	45.6	71.0	71.1	73.9	74.0	52.9	40.1	60.8	48.0
2	44.2	65.6	64.5	69.8	68.7	49.6	36.8	60.8	48.0
3	42.8	60.3	58.0	65.7	63.3	46.3	33.4	60.8	48.0
4	41.5	54.9	51.4	61.5	58.0	42.9	30.1	60.8	48.0
5	40.1	49.5	44.8	57.4	52.7	39.6	26.8	60.8	48.0
6	38.7	44.2	38.2	53.3	47.4	36.2	23.4	60.8	48.0
7	45.4	76.9	78.9	74.4	76.4	58.0	45.2	51.5	38.6
8	34.3	33.7	25.9	41.3	33.5	31.2	18.3	51.5	38.6
9	44.3	75.7	77.7	71.5	73.5	58.0	45.2	46.9	34.1
10	33.2	32.6	24.7	38.5	30.7	31.2	18.3	46.9	34.1
11	43.2	74.6	76.6	68.7	70.7	58.0	45.2	42.3	29.5
12	32.1	31.5	23.6	35.7	27.8	31.2	18.3	42.3	29.5
13	42.0	73.5	75.5	65.9	67.9	58.0	45.2	37.7	24.9
14	30.9	30.3	22.5	32.8	25.0	31.2	18.3	37.7	24.9
15	37.6	63.0	63.2	53.9	54.0	52.9	40.1	28.4	15.6
16	36.3	57.7	56.6	49.8	48.7	49.6	36.8	28.4	15.6
17	34.9	52.3	50.0	45.6	43.3	46.3	33.4	28.4	15.6
18	33.5	46.9	43.4	41.5	38.0	42.9	30.1	28.4	15.6
19	32.1	41.6	36.8	37.4	32.7	39.6	26.8	28.4	15.6
20	30.7	36.2	30.2	33.3	27.3	36.2	23.4	28.4	15.6
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									

Sollecitazione max sui pali di fondazione $N_{\max}$	78.9	t
Sollecitazione min sui pali di fondazione $N_{\min}$	15.6	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> (t)	H <sub>t</sub> (t)
1	14.7	23.8
2	14.7	29.6
3	14.7	29.6
4	36.9	12.3
5	36.9	12.3
6	0.0	77.0
7	0.0	77.0
8	77.0	0.0
9	77.0	0.0

T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
0.73	1.19	1.40
0.73	1.48	1.65
0.73	1.48	1.65
1.84	0.62	1.94
1.84	0.62	1.94
0.00	3.85	3.85
0.00	3.85	3.85
3.85	0.00	3.85
3.85	0.00	3.85

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 3.85$  t

PALI		
SISM		ESER
60.8	N <sub>max</sub>	78.9
15.6	N <sub>min</sub>	22.5
3.8	T <sub>max</sub>	1.9

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

Ponendo

$$\begin{aligned}\phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 22.0 & \text{cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 & \text{t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 & \text{kg/cm}^2\end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 1.190 \text{ m}$$

da cui

$$M_{\max} = 2.29009 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{\max} = 31.2 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 5.8 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Diametro esterno tubo acciaio} = 15.90 \text{ cm}$$

$$\text{Spessore tubo acciaio} = 1.25 \text{ cm}$$

$$\text{Diametro interno tubo acciaio} = 13.4 \text{ cm}$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2\,400 \text{ kg/cm}^2$$

**Verifica con sforzo normale massimo**

A = 57.53 cm<sup>2</sup>  
J = 1554.65 cm<sup>4</sup>  
W = 195.55 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 1 712.63 kg/cm<sup>2</sup>

**Verifica con sforzo normale minimo**

A = 57.53 cm<sup>2</sup>  
J = 1554.65 cm<sup>4</sup>  
W = 195.55 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 1 271.16 kg/cm<sup>2</sup>

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

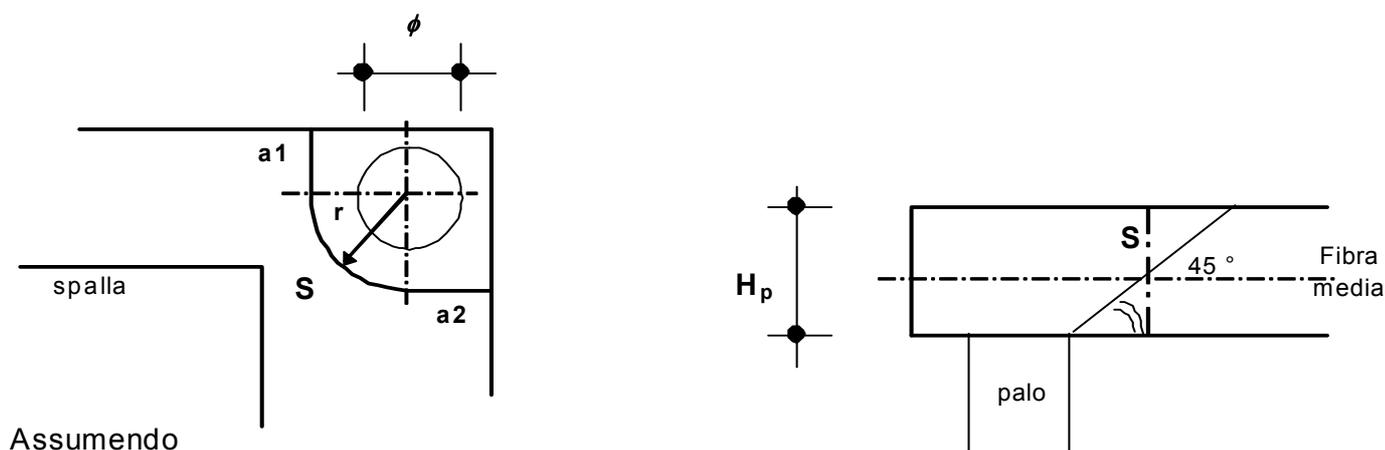
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 78.86 \text{ t}$$

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

$$\begin{aligned} a_1 &= 1.00 \text{ m} \\ a_2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 0.55 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a_1 + \pi \cdot r/2 + a_2) = 2.50 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 3.15 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\begin{aligned} R_{ck} \text{ fondazione} &= 400 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c0} &= 7.33333 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c1} &= 21.1429 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## Calcolo della Pila 14

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	0.80	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	6.00	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	8.50	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.90	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 $h_{bagg}$	0.53	m
Pulvino $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	7.14	m

#### *Sezioni in pianta*

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	6.33	$m^2$

#### *Baricentri*

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	3.57	m

#### *Momenti d'inerzia*

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	3.19	$m^4$
---	------	-------

#### *Prospetti longitudinali*

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	6.24	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	3.12	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:

$$\lambda = 28.28$$

## **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:

$$N_{app} = 494.86 \quad t$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 309.02 & t \\ M_t & 495.89 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 250.55 & t \\ M_t & 678.58 & t \cdot m \end{array}$$

**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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
17.74	18.36

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
43.45	110.39

### **### 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:

n° campate collegate	1	
lunghezza complessiva campate collegate	34	m
$H_{f1,a}=0,10*(3*20+3*(lunghezza\ compless.\ campate\ collegate - 9))=$	13.5	t
$H_{f1,b}=0,20*(3*20*(1+0,5+0.35))=$	22.2	t (3 colonne di carico)

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad t$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 14.85 \quad t$$

### **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 ( $T_0 < 0.8$  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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
494.86	59.86	61.95	83.14

### ### 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)	
495	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
59.86	-61.95

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  $M_{s,l}$ :

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

$W$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
494.86	83.14

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	17.74	0.00	18.36
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>494.86</b>	<b>14.85</b>	<b>17.74</b>	<b>0.00</b>	<b>18.36</b>

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	309.02	0.00	0.00	0.00	495.89
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	26.07	0.00	66.23
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>803.87</b>	<b>14.85</b>	<b>26.07</b>	<b>0.00</b>	<b>562.12</b>

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	250.55	0.00	0.00	0.00	678.58
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	26.07	0.00	66.23
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>745.41</b>	<b>14.85</b>	<b>26.07</b>	<b>0.00</b>	<b>744.81</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	309.02	0.00	0.00	0.00	495.89
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	8.69	0.00	22.08
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>803.87</b>	<b>37.05</b>	<b>8.69</b>	<b>0.00</b>	<b>517.96</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	250.55	0.00	0.00	0.00	678.58
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	8.69	0.00	22.08
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>745.41</b>	<b>37.05</b>	<b>8.69</b>	<b>0.00</b>	<b>700.66</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	59.86	0.00	61.95
Sisma vert. +	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>577.99</b>	<b>0.00</b>	<b>59.86</b>	<b>0.00</b>	<b>61.95</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	59.86	0.00	61.95
Sisma vert. -	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>411.72</b>	<b>0.00</b>	<b>59.86</b>	<b>0.00</b>	<b>61.95</b>

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

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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	59.86	0.00	-61.95	0.00
Sisma vert. +	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>577.99</b>	<b>59.86</b>	<b>0.00</b>	<b>-61.95</b>	<b>0.00</b>

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

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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	59.86	0.00	-61.95	0.00
Sisma vert. -	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>411.72</b>	<b>59.9</b>	<b>0.00</b>	<b>-62.0</b>	<b>0.00</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	494.86	14.85	17.74	0.00	18.36
2	803.87	14.85	26.07	0.00	562.12
3	745.41	14.85	26.07	0.00	744.81
4	803.87	37.05	8.69	0.00	517.96
5	745.41	37.05	8.69	0.00	700.66

Eserc.	6.7	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	59.86	0.00	61.95
	8.9	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma Trasv.	8	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	8.9	0.00	59.86	0.00	-61.95	0.00
	8.9	0.00	59.86	0.00	-61.95	0.00
Sisma Long.	6.7	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	59.86	0.00	61.95

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	0.00	0.00
Fusto pila	0.00	0.00
	0.00	0.00

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	0.00	0.00	0.00
	0.00		0.00

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	0.00	0.00	0.00
	0.00		0.00

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

$$A_r = 30.08 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 7.47 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	30.08	7.52	7.47	56.18

## 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.

$$e_v = -10.04 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

Azioni impalcato rispetto baric. pila (estradosso zattera)						
COMB.	N (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	494.86	14.85	17.74	-149.05	196.48	Cond. Norm. Eserc.
2	803.87	14.85	26.07	-149.05	823.88	
3	745.41	14.85	26.07	-149.05	1006.57	
4	803.87	37.05	8.69	-371.94	605.22	
5	745.41	37.05	8.69	-371.94	787.91	

Perm.	6.7	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	59.86	0.00	662.93	
Perm.	8.9	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	59.86	0.00	-662.93	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	494.86	14.85	25.26	-149.05	252.66	Cond. Norm. Eserc.
2	803.87	14.85	30.58	-149.05	857.58	
3	745.41	14.85	30.58	-149.05	1 040.28	
4	803.87	37.05	13.20	-371.94	638.92	
5	745.41	37.05	13.20	-371.94	821.62	

Perm.	6.7	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	59.86	0.00	662.93	
Perm.	8.9	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	59.86	0.00	-662.93	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	102.00	0.40
Terreno portato	249.23	2.35
	351.23	1.78

**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_I</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_I</math> (t*m)</b>
Zattera	10.28	0.40	-4.11
Terreno portato	25.12	2.35	-59.04
	35.40		-63.15

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	10.28	0.40	4.11
Terreno portato	25.12	2.35	59.04
	35.40		63.15

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	351.23	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	35.40	0.00	-63.15	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	35.40	0.00	63.15
Sisma vert. + Incr. peso	59.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-59.01	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	494.86	14.85	25.26	-149.05	252.66	Cond. Norm. Eserc.
2	803.87	14.85	30.58	-149.05	857.58	
3	745.41	14.85	30.58	-149.05	1 040.28	
4	803.87	37.05	13.20	-371.94	638.92	
5	745.41	37.05	13.20	-371.94	821.62	
<i>Perm.</i>	6.7	494.86	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	83.14	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-83.14	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	49.88	552.44	
<i>Perm.</i>	8.9	494.86	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	83.14	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-83.14	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	49.88	0.00	-552.44	

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

$$h_{zattera} = 0.80 \text{ m}$$

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	846.09	14.85	25.26	-160.93	272.87	Cond. Norm. Eserc.
2	1 155.10	14.85	30.58	-160.93	882.05	
3	1 096.64	14.85	30.58	-160.93	1 064.74	
4	1 155.10	37.05	13.20	-401.58	649.48	
5	1 096.64	37.05	13.20	-401.58	832.18	

<i>Perm.</i>	6.7	846.09	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	142.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-142.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	85.29	0.00	655.49	
<i>Perm.</i>	8.9	846.09	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	142.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-142.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	85.29	0.00	-655.49	0.00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 20$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
6.00	8.50	0.80

Area fondazione  $51.00 \text{ m}^2$

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

Baricentro palifica

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.

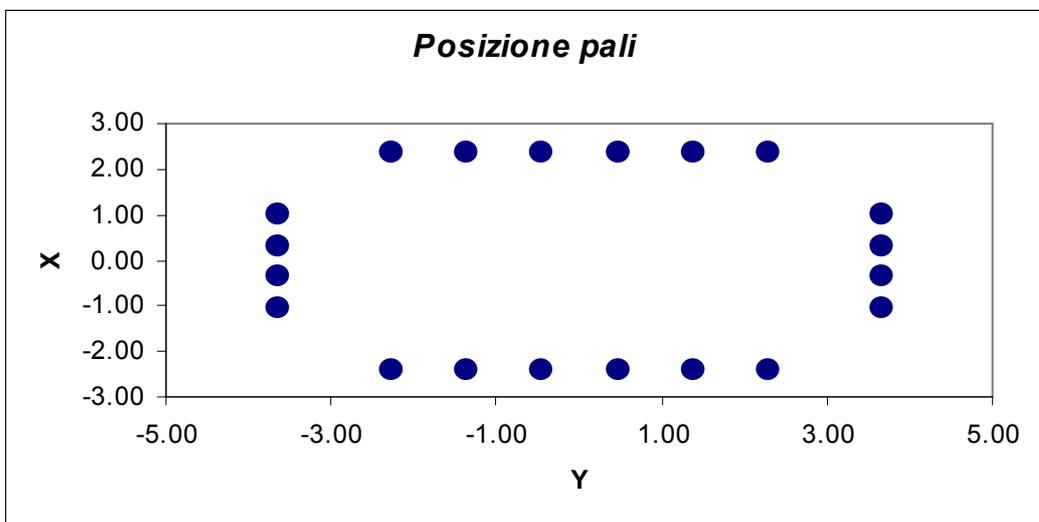
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
73.742	135.43

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X<sub>g</sub>,Y<sub>g</sub>):

<b>Pali</b>	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>X<sub>Gi</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>Gi</sub> (m)</b>	<b>W<sub>I</sub> (m)</b>	<b>W<sub>t</sub> (m)</b>
1	2.40	2.27	2.40	2.27	30.73	59.67
2	2.40	1.36	2.40	1.36	30.73	99.45
3	2.40	0.45	2.40	0.45	30.73	298.37
4	2.40	-0.45	2.40	-0.45	30.73	-298.37
5	2.40	-1.36	2.40	-1.36	30.73	-99.45
6	2.40	-2.27	2.40	-2.27	30.73	-59.67
7	1.02	3.65	1.02	3.65	72.31	37.10
8	1.02	-3.65	1.02	-3.65	72.31	-37.10
9	0.34	3.65	0.34	3.65	216.95	37.10
10	0.34	-3.65	0.34	-3.65	216.95	-37.10
11	-0.34	3.65	-0.34	3.65	-216.95	37.10
12	-0.34	-3.65	-0.34	-3.65	-216.95	-37.10
13	-1.02	3.65	-1.02	3.65	-72.31	37.10
14	-1.02	-3.65	-1.02	-3.65	-72.31	-37.10
15	-2.40	2.27	-2.40	2.27	-30.73	59.67
16	-2.40	1.36	-2.40	1.36	-30.73	99.45
17	-2.40	0.45	-2.40	0.45	-30.73	298.37
18	-2.40	-0.45	-2.40	-0.45	-30.73	-298.37
19	-2.40	-1.36	-2.40	-1.36	-30.73	-99.45
20	-2.40	-2.27	-2.40	-2.27	-30.73	-59.67
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

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



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

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

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

		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	846.09	14.85	25.26	-160.93	272.87	Eserc.
	2	1 155.10	14.85	30.58	-160.93	882.05	
	3	1 096.64	14.85	30.58	-160.93	1 064.74	
	4	1 155.10	37.05	13.20	-401.58	649.48	
	5	1 096.64	37.05	13.20	-401.58	832.18	
<i>Perm.</i>	6.7	846.09	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	142.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-142.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	85.29	0.00	655.49	
<i>Perm.</i>	8.9	846.09	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	142.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-142.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	85.29	0.00	-655.49	0.00	

Al fine di ottenere gli sforzi assiali in testa ai pali si adoterà per le combinazioni di carico 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

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

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-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	52.1	77.8	77.9	81.7	81.8	60.4	46.2	70.7	56.5
2	50.3	71.9	70.8	77.4	76.3	56.0	41.8	70.7	56.5
3	48.5	65.9	63.6	73.0	70.7	51.6	37.4	70.7	56.5
4	46.6	60.0	56.5	68.6	65.1	47.2	33.0	70.7	56.5
5	44.8	54.1	49.4	64.3	59.5	42.8	28.6	70.7	56.5
6	43.0	48.2	42.2	59.9	54.0	38.4	24.2	70.7	56.5
7	51.9	83.8	85.8	80.8	82.8	67.1	52.9	58.5	44.3
8	37.2	36.2	28.4	45.8	38.0	31.7	17.5	58.5	44.3
9	50.4	82.3	84.3	77.1	79.1	67.1	52.9	52.4	38.2
10	35.7	34.7	26.9	42.1	34.3	31.7	17.5	52.4	38.2
11	48.9	80.8	82.8	73.4	75.4	67.1	52.9	46.4	32.2
12	34.2	33.2	25.4	38.4	30.6	31.7	17.5	46.4	32.2
13	47.4	79.3	81.3	69.7	71.7	67.1	52.9	40.3	26.1
14	32.7	31.8	23.9	34.7	26.9	31.7	17.5	40.3	26.1
15	41.6	67.3	67.4	55.6	55.7	60.4	46.2	28.1	13.9
16	39.8	61.4	60.3	51.2	50.1	56.0	41.8	28.1	13.9
17	38.0	55.5	53.2	46.9	44.6	51.6	37.4	28.1	13.9
18	36.2	49.6	46.0	42.5	39.0	47.2	33.0	28.1	13.9
19	34.3	43.6	38.9	38.2	33.4	42.8	28.6	28.1	13.9
20	32.5	37.7	31.7	33.8	27.8	38.4	24.2	28.1	13.9
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									

Sollecitazione max sui pali di fondazione $N_{\max}$	85.8	t
Sollecitazione min sui pali di fondazione $N_{\min}$	13.9	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>i</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)
1	14.8	25.3
2	14.8	30.6
3	14.8	30.6
4	37.0	13.2
5	37.0	13.2
6	0.0	85.3
7	0.0	85.3
8	85.3	0.0
9	85.3	0.0

T <sub>i</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
0.74	1.26	1.46
0.74	1.53	1.70
0.74	1.53	1.70
1.85	0.66	1.97
1.85	0.66	1.97
0.00	4.26	4.26
0.00	4.26	4.26
4.26	0.00	4.26
4.26	0.00	4.26

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 4.26$  t

PALI		
SISM		ESER
70.7	N <sub>max</sub>	85.8
13.9	N <sub>min</sub>	23.9
4.3	T <sub>max</sub>	2.0

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

$$\begin{aligned}\phi_{\text{palo}} &= \text{diametro del palo} = && 22.0 & \text{cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 & \text{t/m}^3 \\ E_{\text{cls}} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 & \text{kg/cm}^2\end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 1.190 \text{ m}$$

da cui

$$M_{\text{max}} = 2.53781 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{\text{max}} = 50.4 \text{ t}$$

$$N_{\text{min}} = 6.0 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Diametro esterno tubo acciaio} = 15.90 \text{ cm}$$

$$\text{Spessore tubo acciaio} = 1.25 \text{ cm}$$

$$\text{Diametro interno tubo acciaio} = 13.4 \text{ cm}$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2\,400 \text{ kg/cm}^2$$

**Verifica con sforzo normale massimo**

A = 57.53 cm<sup>2</sup>  
J = 1554.65 cm<sup>4</sup>  
W = 195.55 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 2 174.57 kg/cm<sup>2</sup>

**Verifica con sforzo normale minimo**

A = 57.53 cm<sup>2</sup>  
J = 1554.65 cm<sup>4</sup>  
W = 195.55 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 1 401.40 kg/cm<sup>2</sup>

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

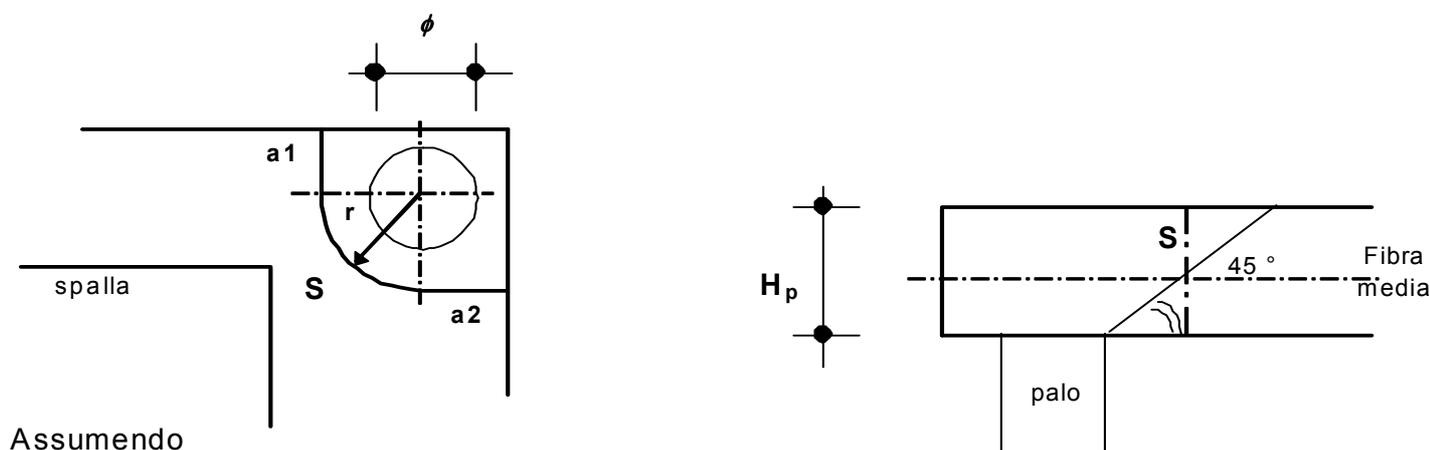
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 85.75 \text{ t}$$

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

$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 0.51 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p * (a1 + \pi * r / 2 + a2) = 2.24 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 3.83 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\begin{aligned} R_{ck} \text{ fondazione} &= 400 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c0} &= 7.33333 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c1} &= 21.1429 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## Calcolo della Pila 18

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	0.88	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	6.50	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	9.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.00	m

#### ### PILA

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

#### *Altezze*

Baggioli $h_{bagg}$	0.42	m
Pulvino $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	9.75	m

#### *Sezioni in pianta*

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	6.33	$m^2$

#### *Baricentri*

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	4.88	m

#### *Momenti d'inerzia*

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	3.19	$m^4$
---	------	-------

#### *Prospetti longitudinali*

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	10.43	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	5.21	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:

$$\lambda = 35.63$$

## **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:

$$N_{app} = 463.68 \quad t$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 303.46 & t \\ M_t & 486.97 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 246.05 & t \\ M_t & 666.37 & t \cdot m \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
22.27	23.05

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
54.55	105.58

### **### 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:

$$\begin{aligned} \text{n° campate collegate} & \quad 1 \\ \text{lunghezza complessiva campate collegate} & \quad 34.06 \quad \text{m} \\ H_{f1,a} & = 0,10 * (3 * 20 + 3 * (\text{lunghezza compless. campate collegate} - 9)) = 13.518 \quad \text{t} \\ H_{f1,b} & = 0,20 * (3 * 20 * (1 + 0,5 + 0,35)) = 22.2 \quad \text{t} \quad (3 \text{ colonne di carico}) \end{aligned}$$

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad \text{t}$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 13.91 \quad \text{t}$$

### **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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
463.68	56.09	58.05	77.90

### ### 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)	
464	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
56.09	-58.05

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  $M_{s,l}$ :

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

$W$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
463.68	77.90

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	22.27	0.00	23.05
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	463.68	13.91	22.27	0.00	23.05

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	303.46	0.00	0.00	0.00	486.97
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	32.73	0.00	63.35
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	767.13	13.91	32.73	0.00	550.32

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	246.05	0.00	0.00	0.00	666.37
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	32.73	0.00	63.35
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	709.72	13.91	32.73	0.00	729.72

COMB. 4 Perm. + Acc. DISP. 1 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + 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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	303.46	0.00	0.00	0.00	486.97
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	10.91	0.00	21.12
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>767.13</b>	<b>36.11</b>	<b>10.91</b>	<b>0.00</b>	<b>508.08</b>

COMB. 5 Perm. + Acc. DISP. 2 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + 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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	246.05	0.00	0.00	0.00	666.37
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	10.91	0.00	21.12
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>709.72</b>	<b>36.11</b>	<b>10.91</b>	<b>0.00</b>	<b>687.49</b>

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

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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05
Sisma vert. +	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>541.57</b>	<b>0.00</b>	<b>56.09</b>	<b>0.00</b>	<b>58.05</b>

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

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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05
Sisma vert. -	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>385.78</b>	<b>0.00</b>	<b>56.09</b>	<b>0.00</b>	<b>58.05</b>

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

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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	56.09	0.00	-58.05	0.00
Sisma vert. +	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>541.57</b>	<b>56.09</b>	<b>0.00</b>	<b>-58.05</b>	<b>0.00</b>

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

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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	56.09	0.00	-58.05	0.00
Sisma vert. -	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>385.78</b>	<b>56.1</b>	<b>0.00</b>	<b>-58.0</b>	<b>0.00</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	463.68	13.91	22.27	0.00	23.05
2	767.13	13.91	32.73	0.00	550.32
3	709.72	13.91	32.73	0.00	729.72
4	767.13	36.11	10.91	0.00	508.08
5	709.72	36.11	10.91	0.00	687.49

Eserc.	6.7	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05
	8.9	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma Trasv.	8	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	8.9	0.00	56.09	0.00	-58.05	0.00
	8.9	0.00	56.09	0.00	-58.05	0.00
Sisma Long.	6.7	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	0.00	0.00
Fusto pila	0.00	0.00
	0.00	0.00

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	0.00	0.00	0.00
	0.00		0.00

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	0.00	0.00	0.00
	0.00		0.00

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

$$A_r = 44.72 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 8.56 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	44.72	11.18	8.56	95.76

## 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.

$$e_v = -12.65 \text{ m}$$

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

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

(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	463.68	13.91	22.27	-175.97	304.81	Cond. Norm. Eserc.
2	767.13	13.91	32.73	-175.97	964.38	
3	709.72	13.91	32.73	-175.97	1143.79	
4	767.13	36.11	10.91	-456.80	646.10	
5	709.72	36.11	10.91	-456.80	825.51	

<i>Perm.</i>	6.7	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	56.09	0.00	767.54	
<i>Perm.</i>	8.9	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	56.09	0.00	-767.54	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	463.68	13.91	33.45	-175.97	400.57	Cond. Norm. Eserc.
2	767.13	13.91	39.44	-175.97	1 021.83	
3	709.72	13.91	39.44	-175.97	1 201.24	
4	767.13	36.11	17.62	-456.80	703.56	
5	709.72	36.11	17.62	-456.80	882.97	

<i>Perm.</i>	6.7	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	56.09	0.00	767.54	
<i>Perm.</i>	8.9	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	56.09	0.00	-767.54	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	127.97	0.44
Terreno portato	199.53	1.94
	327.50	1.35

**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_I</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_I</math> (t*m)</b>
Zattera	12.90	0.44	-5.64
Terreno portato	20.11	1.94	-38.97
	33.01		-44.61

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	12.90	0.44	5.64
Terreno portato	20.11	1.94	38.97
	33.01		44.61

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	327.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	33.01	0.00	-44.61	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	33.01	0.00	44.61
Sisma vert. + Incr. peso	55.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-55.02	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	463.68	13.91	33.45	-175.97	400.57	Cond. Norm. Eserc.
2	767.13	13.91	39.44	-175.97	1 021.83	
3	709.72	13.91	39.44	-175.97	1 201.24	
4	767.13	36.11	17.62	-456.80	703.56	
5	709.72	36.11	17.62	-456.80	882.97	
<i>Perm.</i>	6.7	463.68	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	77.90	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-77.90	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	46.74	639.62	
<i>Perm.</i>	8.9	463.68	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	77.90	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-77.90	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	46.74	0.00	-639.62	

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

$$h_{zattera} = 0.88 \text{ m}$$

Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera)						Cond. Norm. Eserc.
	<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	791.18	13.91	33.45	-188.14	429.84	
2	1 094.63	13.91	39.44	-188.14	1 056.34	
3	1 037.22	13.91	39.44	-188.14	1 235.75	
4	1 094.63	36.11	17.62	-488.39	718.97	
5	1 037.22	36.11	17.62	-488.39	898.38	

<i>Perm.</i>	6.7	791.18	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	132.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-132.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	79.75	0.00	725.13	
<i>Perm.</i>	8.9	791.18	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	132.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-132.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	79.75	0.00	-725.13	0.00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 20$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
6.50	9.00	0.88

Area fondazione  $58.50 \text{ m}^2$

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

X	Y
0.00	0.00

Baricentro palificata

$X_G$	$Y_G$
0.00	0.00

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

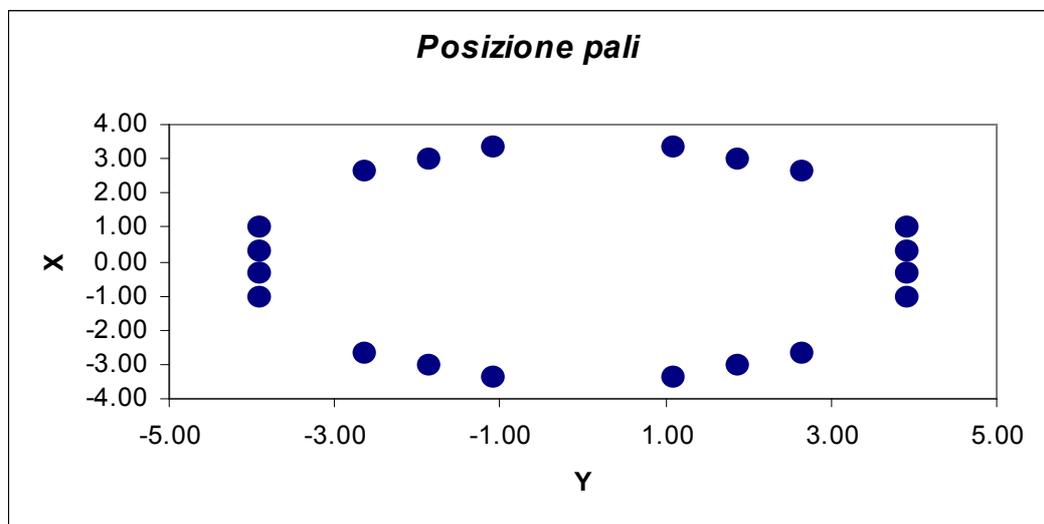
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
114.96	167.81

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X<sub>G</sub>,Y<sub>G</sub>):

Pali	X (m)	Y (m)	X <sub>Gi</sub> (m)	Y <sub>Gi</sub> (m)	W <sub>I</sub> (m)	W <sub>t</sub> (m)
1	3.36	1.08	3.36	1.08	34.17	155.65
2	3.36	-1.08	3.36	-1.08	34.17	-155.65
3	3.02	1.86	3.02	1.86	38.07	90.44
4	3.02	-1.86	3.02	-1.86	38.07	-90.44
5	2.67	2.63	2.67	2.63	42.99	63.76
6	2.67	-2.63	2.67	-2.63	42.99	-63.76
7	1.02	3.90	1.02	3.90	112.73	43.03
8	1.02	-3.90	1.02	-3.90	112.73	-43.03
9	0.34	3.90	0.34	3.90	338.12	43.03
10	0.34	-3.90	0.34	-3.90	338.12	-43.03
11	-0.34	3.90	-0.34	3.90	-338.12	43.03
12	-0.34	-3.90	-0.34	-3.90	-338.12	-43.03
13	-1.02	3.90	-1.02	3.90	-112.73	43.03
14	-1.02	-3.90	-1.02	-3.90	-112.73	-43.03
15	-2.67	2.63	-2.67	2.63	-42.99	63.76
16	-2.67	-2.63	-2.67	-2.63	-42.99	-63.76
17	-3.02	1.86	-3.02	1.86	-38.07	90.44
18	-3.02	-1.86	-3.02	-1.86	-38.07	-90.44
19	-3.36	1.08	-3.36	1.08	-34.17	155.65
20	-3.36	-1.08	-3.36	-1.08	-34.17	-155.65
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

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:

$$M_I = M_i + (N \cdot e_{i,pali})$$

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

		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	791.18	13.91	33.45	-188.14	429.84	Eserc.
	2	1 094.63	13.91	39.44	-188.14	1 056.34	
	3	1 037.22	13.91	39.44	-188.14	1 235.75	
	4	1 094.63	36.11	17.62	-488.39	718.97	
	5	1 037.22	36.11	17.62	-488.39	898.38	
<i>Perm.</i>	6.7	791.18	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	132.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-132.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	79.75	0.00	725.13	
<i>Perm.</i>	8.9	791.18	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	132.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-132.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	79.75	0.00	-725.13	0.00	

Al fine di ottenere gli sforzi assiali in testa ai pali si adoterà 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:

$$N_{palo} = (N + \alpha_N (N_v^{\beta_N} + N_o^{\beta_N})^{1/\beta_N}) / n^{\circ} \text{ pali} + (M_I + \alpha_{M_I} (M_{I,v}^{\beta_{M_I}} + M_{I,o}^{\beta_{M_I}})^{1/\beta_{M_I}}) / W_I + (M_t + \alpha_{M_t} (M_{t,v}^{\beta_{M_t}} + M_{t,o}^{\beta_{M_t}})^{1/\beta_{M_t}}) / W_t$$

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  $\beta_i = 2$  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	47.8	67.0	65.3	73.6	71.9	50.9	37.6	67.4	54.1
2	42.3	53.5	49.4	64.4	60.4	41.5	28.3	67.4	54.1
3	49.3	71.4	70.5	75.5	74.6	54.2	40.9	65.3	52.0
4	39.7	48.0	43.1	59.6	54.8	38.2	24.9	65.3	52.0
5	50.7	75.7	75.6	77.4	77.3	57.6	44.3	63.1	49.8
6	37.2	42.5	36.9	54.8	49.1	34.8	21.5	63.1	49.8
7	51.2	81.0	82.2	75.8	77.1	63.1	49.8	52.6	39.3
8	31.2	31.9	24.8	42.4	35.3	29.4	16.1	52.6	39.3
9	50.1	79.8	81.1	72.9	74.2	63.1	49.8	48.3	35.1
10	30.1	30.7	23.7	39.5	32.4	29.4	16.1	48.3	35.1
11	49.0	78.7	80.0	70.0	71.3	63.1	49.8	44.1	30.8
12	29.0	29.6	22.6	36.6	29.5	29.4	16.1	44.1	30.8
13	47.9	77.6	78.9	67.1	68.4	63.1	49.8	39.8	26.5
14	27.9	28.5	21.5	33.7	26.6	29.4	16.1	39.8	26.5
15	41.9	66.9	66.9	54.6	54.6	57.6	44.3	29.3	16.0
16	28.4	33.8	28.1	32.1	26.4	34.8	21.5	29.3	16.0
17	39.4	61.5	60.6	49.9	49.0	54.2	40.9	27.2	13.9
18	29.9	38.1	33.3	34.0	29.1	38.2	24.9	27.2	13.9
19	36.8	56.0	54.3	45.1	43.3	50.9	37.6	25.0	11.7
20	31.3	42.4	38.4	35.8	31.8	41.5	28.3	25.0	11.7
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									

Sollecitazione max sui pali di fondazione $N_{\max}$	82.2	t
Sollecitazione min sui pali di fondazione $N_{\min}$	11.7	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> (t)	H <sub>t</sub> (t)
1	13.9	33.5
2	13.9	39.4
3	13.9	39.4
4	36.1	17.6
5	36.1	17.6
6	0.0	79.8
7	0.0	79.8
8	79.8	0.0
9	79.8	0.0

T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
0.70	1.67	1.81
0.70	1.97	2.09
0.70	1.97	2.09
1.81	0.88	2.01
1.81	0.88	2.01
0.00	3.99	3.99
0.00	3.99	3.99
3.99	0.00	3.99
3.99	0.00	3.99

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 3.99 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
67.4	N <sub>max</sub>	82.2
11.7	N <sub>min</sub>	21.5
4.0	T <sub>max</sub>	2.1

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

$$\begin{aligned}\phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 22.0 \text{ cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 \text{ t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 1.190 \text{ m}$$

da cui

$$M_{max} = 2.3731 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{max} = 53.4 \text{ t}$$

$$N_{min} = 3.1 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Diametro esterno tubo acciaio} = 15.90 \text{ cm}$$

$$\text{Spessore tubo acciaio} = 1.25 \text{ cm}$$

$$\text{Diametro interno tubo acciaio} = 13.4 \text{ cm}$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2\,400 \text{ kg/cm}^2$$

**Verifica con sforzo normale massimo**

A = 57.53 cm<sup>2</sup>  
J = 1554.65 cm<sup>4</sup>  
W = 195.55 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 2 141.76 kg/cm<sup>2</sup>

**Verifica con sforzo normale minimo**

A = 57.53 cm<sup>2</sup>  
J = 1554.65 cm<sup>4</sup>  
W = 195.55 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 1 267.61 kg/cm<sup>2</sup>

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

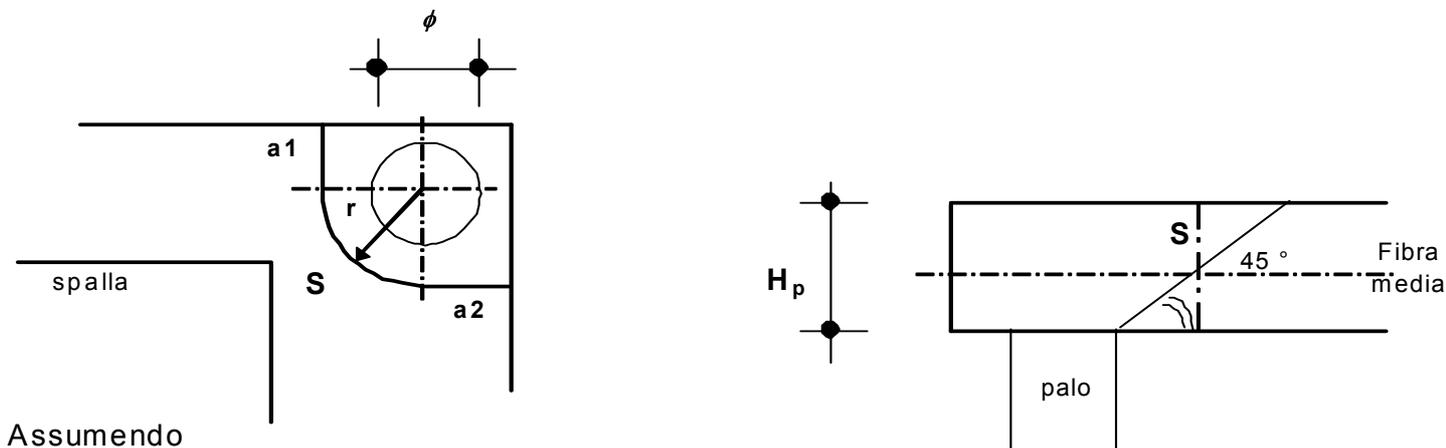
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 82.25 \text{ t}$$

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

$$\begin{aligned} a_1 &= 1.00 \text{ m} \\ a_2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 0.55 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a_1 + \pi \cdot r/2 + a_2) = 2.50 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 3.29 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\begin{aligned} R_{ck} \text{ fondazione} &= 400 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c0} &= 7.33333 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{c1} &= 21.1429 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## Calcolo della Pila 20

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	0.88	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	6.50	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	9.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.10	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 $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	12.06	m

#### **Sezioni in pianta**

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	3.29	$m^2$

#### **Baricentri**

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	6.03	m

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

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	4.17	$m^4$
---	------	-------

#### **Prospetti longitudinali**

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	12.64	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	6.32	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:

$$\lambda = 26.55$$

## **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:

$$N_{app} = 485.95 \text{ t}$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 307.98 & t \\ M_t & 494.23 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 249.71 & t \\ M_t & 676.31 & t \cdot m \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
19.31	19.99

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
47.31	109.25

### **### 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:

n° campate collegate	1	
lunghezza complessiva campate collegate	34	m
$H_{f1,a}=0,10*(3*20+3*(lunghezza\ compless.\ campate\ collegate - 9))=$	13.5	t
$H_{f1,b}=0,20*(3*20*(1+0,5+0.35))=$	22.2	t (3 colonne di carico)

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad t$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 14.58 \quad t$$

### **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 ( $T_0 < 0.8$  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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
485.95	58.78	60.84	81.64

### ### 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)	
486	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
58.78	-60.84

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  $M_{s,l}$ :

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

$W$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
485.95	81.64

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	19.31	0.00	19.99
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
TOT	485.95	14.58	19.31	0.00	19.99

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	307.98	0.00	0.00	0.00	494.23
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	28.38	0.00	65.55
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
TOT	793.93	14.58	28.38	0.00	559.78

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	249.71	0.00	0.00	0.00	676.31
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	28.38	0.00	65.55
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
TOT	735.66	14.58	28.38	0.00	741.86

COMB. 4 Perm. + Acc. DISP. 1 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + 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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	307.98	0.00	0.00	0.00	494.23
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.46	0.00	21.85
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>793.93</b>	<b>36.78</b>	<b>9.46</b>	<b>0.00</b>	<b>516.08</b>

COMB. 5 Perm. + Acc. DISP. 2 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + 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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	249.71	0.00	0.00	0.00	676.31
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.46	0.00	21.85
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>735.66</b>	<b>36.78</b>	<b>9.46</b>	<b>0.00</b>	<b>698.16</b>

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

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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84
Sisma vert. +	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>567.59</b>	<b>0.00</b>	<b>58.78</b>	<b>0.00</b>	<b>60.84</b>

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

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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84
Sisma vert. -	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>404.31</b>	<b>0.00</b>	<b>58.78</b>	<b>0.00</b>	<b>60.84</b>

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

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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	58.78	0.00	-60.84	0.00
Sisma vert. +	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>567.59</b>	<b>58.78</b>	<b>0.00</b>	<b>-60.84</b>	<b>0.00</b>

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

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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	58.78	0.00	-60.84	0.00
Sisma vert. -	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>404.31</b>	<b>58.8</b>	<b>0.00</b>	<b>-60.8</b>	<b>0.00</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	485.95	14.58	19.31	0.00	19.99
2	793.93	14.58	28.38	0.00	559.78
3	735.66	14.58	28.38	0.00	741.86
4	793.93	36.78	9.46	0.00	516.08
5	735.66	36.78	9.46	0.00	698.16

Eserc.	6.7	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84
Sisma Trasv.	Perm.	8.9	485.95	0.00	0.00	0.00
	Vert. +	8	81.64	0.00	0.00	0.00
	Vert. -	9	-81.64	0.00	0.00	0.00
	Orizz.	8.9	0.00	58.78	0.00	-60.84
Sisma Long.	Perm.	8.9	485.95	0.00	0.00	0.00
	Vert. +	8	81.64	0.00	0.00	0.00
	Vert. -	9	-81.64	0.00	0.00	0.00
	Orizz.	8.9	0.00	58.78	0.00	-60.84

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	0.00	0.00
Fusto pila	99.08	6.03
	99.08	6.03

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	11.99	6.03	-72.27
	11.99		-72.27

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	11.99	6.03	72.27
	11.99		72.27

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	99.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	11.99	0.00	-72.27	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	11.99	0.00	72.27
Sisma vert. + Incr. peso	16.65	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-16.65	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

$$A_r = 52.46 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 9.76 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	52.46	13.11	9.76	128.02

## 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.

$$e_v = -14.96 \text{ m}$$

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

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

(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	485.95	14.58	19.31	-218.09	308.93	Cond. Norm. Eserc.
	2	793.93	14.58	28.38	-218.09	984.39	
	3	735.66	14.58	28.38	-218.09	1166.47	
	4	793.93	36.78	9.46	-550.21	657.61	
	5	735.66	36.78	9.46	-550.21	839.70	

<i>Perm.</i>	6.7	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	58.78	0.00	940.20	
<i>Perm.</i>	8.9	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	58.78	0.00	-940.20	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	585.04	14.58	32.43	-218.09	436.95	Cond. Norm. Eserc.
	2	893.02	14.58	36.25	-218.09	1 061.20	
	3	834.75	14.58	36.25	-218.09	1 243.29	
	4	893.02	36.78	17.33	-550.21	734.43	
	5	834.75	36.78	17.33	-550.21	916.51	

<i>Perm.</i>	6.7	585.04	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	98.29	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-98.29	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	70.77	0.00	1 012.47	
<i>Perm.</i>	8.9	585.04	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	98.29	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-98.29	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	70.77	0.00	-1 012.47	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	127.97	0.44
Terreno portato	221.13	1.99
	349.10	1.42

**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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Zattera	12.90	0.44	-5.64
Terreno portato	22.29	1.99	-44.30
	35.19		-49.94

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	12.90	0.44	5.64
Terreno portato	22.29	1.99	44.30
	35.19		49.94

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	349.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	35.19	0.00	-49.94	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	35.19	0.00	49.94
Sisma vert. + Incr. peso	58.65	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-58.65	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	585.04	14.58	32.43	-218.09	436.95	Cond. Norm. Eserc.
2	893.02	14.58	36.25	-218.09	1 061.20	
3	834.75	14.58	36.25	-218.09	1 243.29	
4	893.02	36.78	17.33	-550.21	734.43	
5	834.75	36.78	17.33	-550.21	916.51	
Perm.	6.7	585.04	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	98.29	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-98.29	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	58.97	843.72	
Perm.	8.9	585.04	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	98.29	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-98.29	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	58.97	0.00	-843.72	

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

$$h_{zattera} = 0.88 \text{ m}$$

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	934.14	14.58	32.43	-230.85	465.33	Cond. Norm. Eserc.
2	1 242.12	14.58	36.25	-230.85	1 092.92	
3	1 183.85	14.58	36.25	-230.85	1 275.01	
4	1 242.12	36.78	17.33	-582.39	749.59	
5	1 183.85	36.78	17.33	-582.39	931.67	

<i>Perm.</i>	6.7	934.14	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	156.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-156.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	94.16	0.00	945.27	
<i>Perm.</i>	8.9	934.14	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	156.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-156.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	94.16	0.00	-945.27	0.00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 20$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
6.50	9.00	0.88

Area fondazione  $58.50 \text{ m}^2$

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

X	Y
0.00	0.00

Baricentro palificata

$X_G$	$Y_G$
0.00	0.00

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

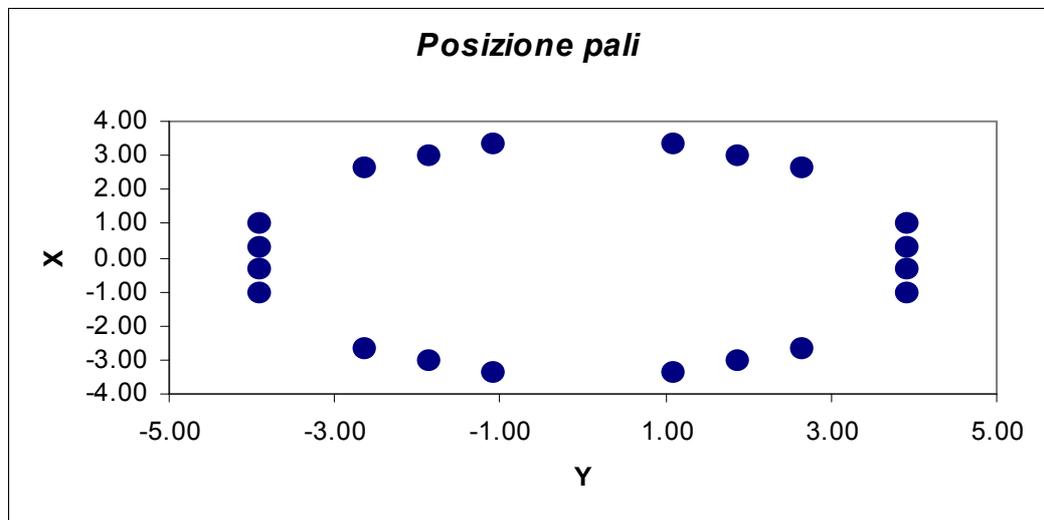
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
114.96	167.81

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X<sub>G</sub>,Y<sub>G</sub>):

Pali	X (m)	Y (m)	X <sub>Gi</sub> (m)	Y <sub>Gi</sub> (m)	W <sub>I</sub> (m)	W <sub>t</sub> (m)
1	3.36	1.08	3.36	1.08	34.17	155.65
2	3.36	-1.08	3.36	-1.08	34.17	-155.65
3	3.02	1.86	3.02	1.86	38.07	90.44
4	3.02	-1.86	3.02	-1.86	38.07	-90.44
5	2.67	2.63	2.67	2.63	42.99	63.76
6	2.67	-2.63	2.67	-2.63	42.99	-63.76
7	1.02	3.90	1.02	3.90	112.73	43.03
8	1.02	-3.90	1.02	-3.90	112.73	-43.03
9	0.34	3.90	0.34	3.90	338.12	43.03
10	0.34	-3.90	0.34	-3.90	338.12	-43.03
11	-0.34	3.90	-0.34	3.90	-338.12	43.03
12	-0.34	-3.90	-0.34	-3.90	-338.12	-43.03
13	-1.02	3.90	-1.02	3.90	-112.73	43.03
14	-1.02	-3.90	-1.02	-3.90	-112.73	-43.03
15	-2.67	2.63	-2.67	2.63	-42.99	63.76
16	-2.67	-2.63	-2.67	-2.63	-42.99	-63.76
17	-3.02	1.86	-3.02	1.86	-38.07	90.44
18	-3.02	-1.86	-3.02	-1.86	-38.07	-90.44
19	-3.36	1.08	-3.36	1.08	-34.17	155.65
20	-3.36	-1.08	-3.36	-1.08	-34.17	-155.65
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

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	934.14	14.58	32.43	-230.85	465.33	Eserc.
	2	1 242.12	14.58	36.25	-230.85	1 092.92	
	3	1 183.85	14.58	36.25	-230.85	1 275.01	
	4	1 242.12	36.78	17.33	-582.39	749.59	
	5	1 183.85	36.78	17.33	-582.39	931.67	
<i>Perm.</i>	6.7	934.14	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	156.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-156.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	94.16	0.00	945.27	
<i>Perm.</i>	8.9	934.14	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	156.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-156.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	94.16	0.00	-945.27	0.00	

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

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

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  $\beta_i = 2$  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	56.5	75.9	74.1	84.0	82.2	60.6	44.9	82.2	66.5
2	50.5	61.8	57.8	74.3	70.2	48.5	32.8	82.2	66.5
3	57.9	80.3	79.4	85.7	84.8	65.0	49.3	79.4	63.7
4	47.6	56.1	51.2	69.1	64.2	44.1	28.4	79.4	63.7
5	59.4	84.6	84.6	87.4	87.4	69.4	53.7	76.5	60.8
6	44.8	50.3	44.6	63.9	58.1	39.7	24.0	76.5	60.8
7	59.6	89.6	90.9	84.7	86.0	76.5	60.8	62.9	47.2
8	37.9	38.8	31.6	49.9	42.7	32.6	16.9	62.9	47.2
9	58.2	88.2	89.5	81.2	82.6	76.5	60.8	57.3	41.7
10	36.6	37.4	30.2	46.4	39.3	32.6	16.9	57.3	41.7
11	56.8	86.8	88.1	77.8	79.1	76.5	60.8	51.8	36.1
12	35.2	36.0	28.9	43.0	35.8	32.6	16.9	51.8	36.1
13	55.5	85.5	86.8	74.4	75.7	76.5	60.8	46.2	30.5
14	33.8	34.7	27.5	39.5	32.4	32.6	16.9	46.2	30.5
15	48.6	73.9	73.8	60.3	60.3	69.4	53.7	32.6	16.9
16	34.0	39.6	33.8	36.8	31.0	39.7	24.0	32.6	16.9
17	45.8	68.1	67.2	55.1	54.2	65.0	49.3	29.7	14.0
18	35.5	44.0	39.0	38.5	33.6	44.1	28.4	29.7	14.0
19	42.9	62.4	60.6	49.9	48.1	60.6	44.9	26.9	11.2
20	37.0	48.3	44.2	40.2	36.2	48.5	32.8	26.9	11.2
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									

Sollecitazione max sui pali di fondazione $N_{\max}$	90.9	t
Sollecitazione min sui pali di fondazione $N_{\min}$	11.2	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>i</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)
1	14.6	32.4
2	14.6	36.3
3	14.6	36.3
4	36.8	17.3
5	36.8	17.3
6	0.0	94.2
7	0.0	94.2
8	94.2	0.0
9	94.2	0.0

T <sub>i</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
0.73	1.62	1.78
0.73	1.81	1.95
0.73	1.81	1.95
1.84	0.87	2.03
1.84	0.87	2.03
0.00	4.71	4.71
0.00	4.71	4.71
4.71	0.00	4.71
4.71	0.00	4.71

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 4.71$  t

PALI		
SISM		ESER
82.2	N <sub>max</sub>	90.9
11.2	N <sub>min</sub>	27.5
4.7	T <sub>max</sub>	2.0

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

$$\begin{aligned}\phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 22.0 & \text{cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 & \text{t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 & \text{kg/cm}^2\end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 1.190 \text{ m}$$

da cui

$$M_{\max} = 2.8019 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{\max} = 44.4 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 2.3 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Diametro esterno tubo acciaio} = 15.90 \text{ cm}$$

$$\text{Spessore tubo acciaio} = 1.25 \text{ cm}$$

$$\text{Diametro interno tubo acciaio} = 13.4 \text{ cm}$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2\,400 \text{ kg/cm}^2$$

**Verifica con sforzo normale massimo**

A = 57.53 cm<sup>2</sup>  
J = 1554.65 cm<sup>4</sup>  
W = 195.55 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 2 204.24 kg/cm<sup>2</sup>

**Verifica con sforzo normale minimo**

A = 57.53 cm<sup>2</sup>  
J = 1554.65 cm<sup>4</sup>  
W = 195.55 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 1 473.23 kg/cm<sup>2</sup>

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

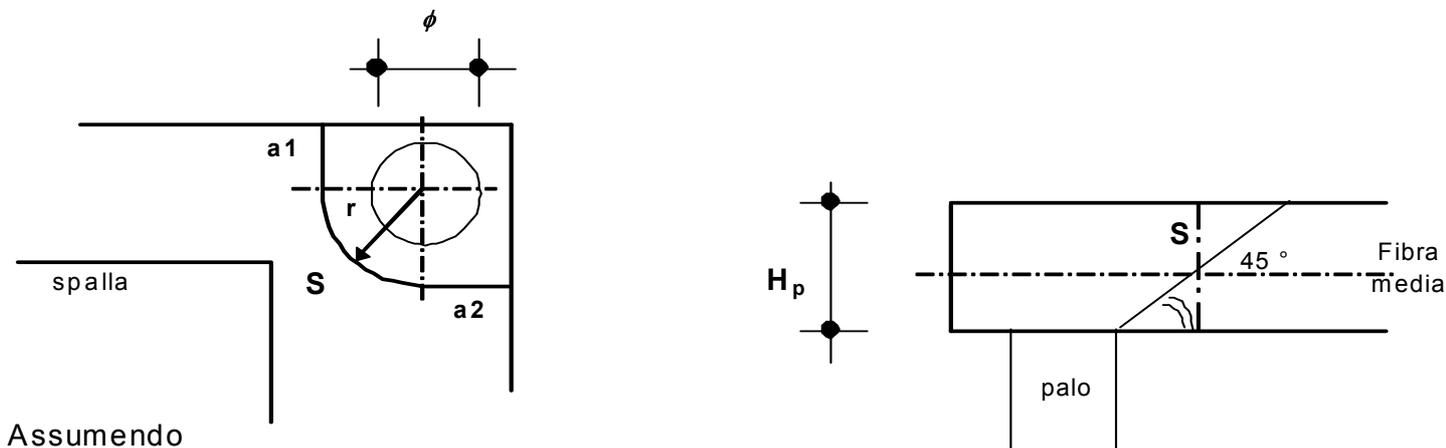
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 90.87 \text{ t}$$

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

$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 0.55 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r/2 + a2) = 2.50 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 3.63 \text{ kg/cm}^2$$

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 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: GENERICA

Cls:

Acciaio lento:

vert.	Z	Y	ferro	Z	Y	d[mm]	Af[cm <sup>2</sup> ]
1_1	0.	0.	1	344.6	0.	26.	5.3093
1_2	175.	175.	2	343.9	15.	26.	5.3093
1_3	350.	0.	3	342.	29.9	26.	5.3093
1_4	175.	-175.	4	338.7	44.5	26.	5.3093
2_1	33.	0.	5	334.1	58.8	26.	5.3093
2_2	175.	-142.	6	328.3	72.6	26.	5.3093
2_3	317.	0.	7	321.3	85.9	26.	5.3093
2_4	175.	142.	8	313.1	98.5	26.	5.3093
			9	303.8	110.3	26.	5.3093
			10	293.6	121.2	26.	5.3093
			11	282.4	131.2	26.	5.3093
			12	270.4	140.2	26.	5.3093
			13	257.6	148.1	26.	5.3093
			14	244.2	154.8	26.	5.3093
			15	230.3	160.3	26.	5.3093
			16	215.9	164.6	26.	5.3093
			17	201.2	167.6	26.	5.3093
			18	186.3	169.2	26.	5.3093
			19	171.3	169.6	26.	5.3093
			20	156.3	168.6	26.	5.3093
			21	141.5	166.3	26.	5.3093
			22	126.9	162.6	26.	5.3093
			23	112.7	157.8	26.	5.3093
			24	99.	151.6	26.	5.3093
			25	85.9	144.3	26.	5.3093
			26	73.5	135.9	26.	5.3093
			27	61.9	126.4	26.	5.3093
			28	51.2	115.9	26.	5.3093
			29	41.4	104.5	26.	5.3093
			30	32.7	92.3	26.	5.3093
			31	25.1	79.4	26.	5.3093

32	18.7	65.8	26.	5.3093
33	13.5	51.7	26.	5.3093
34	9.5	37.3	26.	5.3093
35	6.9	22.5	26.	5.3093
36	5.6	7.5	26.	5.3093
37	5.6	-7.5	26.	5.3093
38	6.9	-22.4	26.	5.3093
39	9.5	-37.2	26.	5.3093
40	13.5	-51.6	26.	5.3093
41	18.7	-65.7	26.	5.3093
42	25.1	-79.3	26.	5.3093
43	32.7	-92.2	26.	5.3093
44	41.4	-104.4	26.	5.3093
45	51.1	-115.8	26.	5.3093
46	61.8	-126.3	26.	5.3093
47	73.5	-135.8	26.	5.3093
48	85.9	-144.3	26.	5.3093
49	99.	-151.6	26.	5.3093
50	112.6	-157.7	26.	5.3093
51	126.8	-162.6	26.	5.3093
52	141.4	-166.2	26.	5.3093
53	156.2	-168.6	26.	5.3093
54	171.2	-169.6	26.	5.3093
55	186.2	-169.2	26.	5.3093
56	201.1	-167.6	26.	5.3093
57	215.8	-164.6	26.	5.3093
58	230.2	-160.4	26.	5.3093
59	244.1	-154.9	26.	5.3093
60	257.6	-148.1	26.	5.3093
61	270.3	-140.3	26.	5.3093
62	282.4	-131.3	26.	5.3093
63	293.5	-121.3	26.	5.3093
64	303.8	-110.3	26.	5.3093
65	313.	-98.5	26.	5.3093
66	321.2	-86.	26.	5.3093
67	328.2	-72.7	26.	5.3093
68	334.1	-58.9	26.	5.3093
69	338.6	-44.6	26.	5.3093
70	341.9	-29.9	26.	5.3093
71	343.9	-15.1	26.	5.3093

SOLLECITAZIONI AGENTI

Sforzi normali applicati in  $z=175.$  ;  $y=0.$  (baricentro CLS)  
 Convenzioni: N + trazione; Mz + fib.inferiori tese; My + fib.sinistra  
 tese.

N.	N	Mz	My	Sollecitaz. ultima
1	-893020	21809000	106120000	
2	-834750	21809000	124329000	

RISULTATI

Piani di equilibrio (eps= muz \* y +muy \* z + lam):

Sol.	muz	muy	lambda
1	-.00000015301	-.00000074457	.00008014501
2	-.00000018639	-.00000106261	.00016284835

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls			Acciaio lento		
	vert.	S cls	Ve	ferro	S ferri	Ve
1	1- 3	-65.	<b>si</b>	3	-966.8	<b>si</b>
2	1- 3	-75.3	<b>si</b>	3	-1112.8	<b>si</b>

## Calcolo della Pila 22

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	0.88	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	6.50	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	10.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.20	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 $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	14.38	m

#### *Sezioni in pianta*

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	3.29	$m^2$

#### *Baricentri*

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	7.19	m

#### *Momenti d'inerzia*

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	4.17	$m^4$
---	------	-------

#### *Prospetti longitudinali*

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	14.86	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	7.43	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:

$$\lambda = 30.67$$

## **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:

$$N_{app} = 485.95 \quad t$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 308.00 & t \\ M_t & 494.25 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 249.73 & t \\ M_t & 676.35 & t \cdot m \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
19.31	19.99

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
47.31	109.25

### **### 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:

n° campate collegate	1	
lunghezza complessiva campate collegate	34	m
$H_{f1,a}=0,10*(3*20+3*(lunghezza\ compless.\ campate\ collegate - 9))=$	13.5	t
$H_{f1,b}=0,20*(3*20*(1+0,5+0.35))=$	22.2	t (3 colonne di carico)

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad t$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 14.58 \quad t$$

### **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 ( $T_0 < 0.8$  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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
485.95	58.78	60.84	81.64

### ### 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)	
486	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
58.78	-60.84

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  $M_{s,l}$ :

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

$W$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
485.95	81.64

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	19.31	0.00	19.99
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
TOT	485.95	14.58	19.31	0.00	19.99

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	308.00	0.00	0.00	0.00	494.25
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	28.38	0.00	65.55
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
TOT	793.95	14.58	28.38	0.00	559.80

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	249.73	0.00	0.00	0.00	676.35
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	28.38	0.00	65.55
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
TOT	735.68	14.58	28.38	0.00	741.90

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	308.00	0.00	0.00	0.00	494.25
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.46	0.00	21.85
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>793.95</b>	<b>36.78</b>	<b>9.46</b>	<b>0.00</b>	<b>516.10</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	249.73	0.00	0.00	0.00	676.35
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.46	0.00	21.85
Attrito * 1.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>735.68</b>	<b>36.78</b>	<b>9.46</b>	<b>0.00</b>	<b>698.20</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84
Sisma vert. +	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>567.59</b>	<b>0.00</b>	<b>58.78</b>	<b>0.00</b>	<b>60.84</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84
Sisma vert. -	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>404.31</b>	<b>0.00</b>	<b>58.78</b>	<b>0.00</b>	<b>60.84</b>

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

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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	58.78	0.00	-60.84	0.00
Sisma vert. +	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>567.59</b>	<b>58.78</b>	<b>0.00</b>	<b>-60.84</b>	<b>0.00</b>

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

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	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	58.78	0.00	-60.84	0.00
Sisma vert. -	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>404.31</b>	<b>58.8</b>	<b>0.00</b>	<b>-60.8</b>	<b>0.00</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	485.95	14.58	19.31	0.00	19.99
2	793.95	14.58	28.38	0.00	559.80
3	735.68	14.58	28.38	0.00	741.90
4	793.95	36.78	9.46	0.00	516.10
5	735.68	36.78	9.46	0.00	698.20

Eserc.	6.7	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	58.78	0.00	60.84
Sisma Trasv.	Perm.	8.9	485.95	0.00	0.00	0.00
	Vert. +	8	81.64	0.00	0.00	0.00
	Vert. -	9	-81.64	0.00	0.00	0.00
	Orizz.	8.9	0.00	58.78	0.00	-60.84
Sisma Long.	Perm.	8.9	485.95	0.00	0.00	0.00
	Vert. +	8	81.64	0.00	0.00	0.00
	Vert. -	9	-81.64	0.00	0.00	0.00
	Orizz.	8.9	0.00	58.78	0.00	-60.84

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	0.00	0.00
Fusto pila	118.15	7.19
	118.15	7.19

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	14.29	7.19	-102.75
	14.29		-102.75

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	14.29	7.19	102.75
	14.29		102.75

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	118.15	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	14.29	0.00	-102.75	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	14.29	0.00	102.75
Sisma vert. + Incr. peso	19.85	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-19.85	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

$$A_r = 60.23 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 10.97 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	60.23	15.06	10.97	165.12

## 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.

$$e_v = -17.28 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

Azioni impalcato rispetto baric. pila (estradosso zattera)						
COMB.	N (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	485.95	14.58	19.31	-251.92	353.74	Cond. Norm. Eserc.
2	793.95	14.58	28.38	-251.92	1050.27	
3	735.68	14.58	28.38	-251.92	1232.36	
4	793.95	36.78	9.46	-635.53	679.59	
5	735.68	36.78	9.46	-635.53	861.68	

Perm.	6.7	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	58.78	0.00	1076.57	
Perm.	8.9	485.95	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-81.64	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	58.78	0.00	-1076.57	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	604.10	14.58	34.37	-251.92	518.86	Cond. Norm. Eserc.
2	912.09	14.58	37.42	-251.92	1 149.34	
3	853.83	14.58	37.42	-251.92	1 331.43	
4	912.09	36.78	18.50	-635.53	778.66	
5	853.83	36.78	18.50	-635.53	960.76	

Perm.	6.7	604.10	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	101.49	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-101.49	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	73.07	0.00	1 179.32	
Perm.	8.9	604.10	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	101.49	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-101.49	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	73.07	0.00	-1 179.32	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	142.19	0.44
Terreno portato	258.27	2.04
	400.46	1.47

**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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Zattera	14.33	0.44	-6.27
Terreno portato	26.03	2.04	-53.04
	40.37		-59.31

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	14.33	0.44	6.27
Terreno portato	26.03	2.04	53.04
	40.37		59.31

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	400.46	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	40.37	0.00	-59.31	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	40.37	0.00	59.31
Sisma vert. + Incr. peso	67.28	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-67.28	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	604.10	14.58	34.37	-251.92	518.86	Cond. Norm. Eserc.
2	912.09	14.58	37.42	-251.92	1 149.34	
3	853.83	14.58	37.42	-251.92	1 331.43	
4	912.09	36.78	18.50	-635.53	778.66	
5	853.83	36.78	18.50	-635.53	960.76	
Perm. Vert. +	6.7	604.10	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. -	6	101.49	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	7	-101.49	0.00	0.00	0.00	
	6.7	0.00	0.00	60.89	982.77	
Perm. Vert. +	8.9	604.10	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. -	8	101.49	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	9	-101.49	0.00	0.00	0.00	
	8.9	0.00	60.89	0.00	-982.77	

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

$$h_{zattera} = 0.88 \text{ m}$$

Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera)						Cond. Norm. Eserc.
	<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	1 004.56	14.58	34.37	-264.67	548.93	
2	1 312.55	14.58	37.42	-264.67	1 182.08	
3	1 254.28	14.58	37.42	-264.67	1 364.17	
4	1 312.55	36.78	18.50	-667.71	794.85	
5	1 254.28	36.78	18.50	-667.71	976.94	

<i>Perm.</i>	6.7	1 004.56	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	168.77	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-168.77	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	101.26	0.00	1 095.36	
<i>Perm.</i>	8.9	1 004.56	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	168.77	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-168.77	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	101.26	0.00	-1 095.36	0.00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 24$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
6.50	10.00	0.88

Area fondazione  $65.00 \text{ m}^2$

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

X	Y
0.00	0.00

Baricentro palificata

$X_G$	$Y_G$
0.00	0.00

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

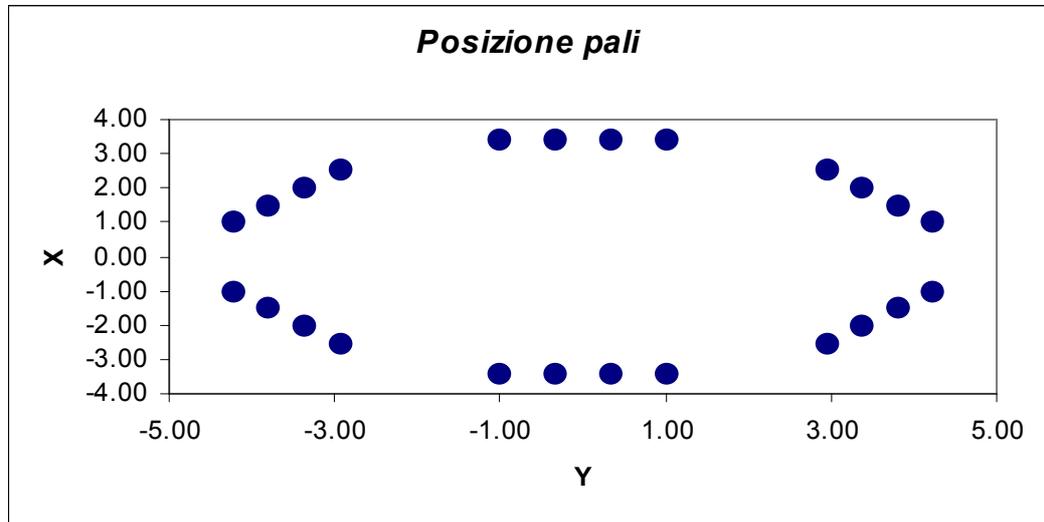
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
147.77	213.603

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X<sub>G</sub>,Y<sub>G</sub>):

Pali	X (m)	Y (m)	X <sub>Gi</sub> (m)	Y <sub>Gi</sub> (m)	W <sub>I</sub> (m)	W <sub>t</sub> (m)
1	3.40	1.02	3.40	1.02	43.46	209.47
2	3.40	0.34	3.40	0.34	43.46	628.60
3	3.40	-0.34	3.40	-0.34	43.46	-628.26
4	3.40	-1.02	3.40	-1.02	43.46	-209.44
5	2.54	2.94	2.54	2.94	58.27	72.63
6	2.54	-2.94	2.54	-2.94	58.27	-72.65
7	2.03	3.37	2.03	3.37	72.96	63.39
8	2.03	-3.37	2.03	-3.37	72.96	-63.39
9	1.51	3.80	1.51	3.80	97.58	56.23
10	1.51	-3.80	1.51	-3.80	97.58	-56.23
11	1.00	4.22	1.00	4.22	148.08	50.61
12	1.00	-4.22	1.00	-4.22	148.08	-50.61
13	-1.00	4.22	-1.00	4.22	-148.08	50.61
14	-1.00	-4.22	-1.00	-4.22	-148.08	-50.61
15	-1.51	3.80	-1.51	3.80	-97.58	56.23
16	-1.51	-3.80	-1.51	-3.80	-97.58	-56.23
17	-2.03	3.37	-2.03	3.37	-72.96	63.39
18	-2.03	-3.37	-2.03	-3.37	-72.96	-63.39
19	-2.54	2.94	-2.54	2.94	-58.27	72.63
20	-2.54	-2.94	-2.54	-2.94	-58.27	-72.65
21	-3.40	1.02	-3.40	1.02	-43.46	209.47
22	-3.40	0.34	-3.40	0.34	-43.46	628.60
23	-3.40	-0.34	-3.40	-0.34	-43.46	-628.26
24	-3.40	-1.02	-3.40	-1.02	-43.46	-209.44
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

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	1 004.56	14.58	34.37	-264.67	548.93	Eserc.
	2	1 312.55	14.58	37.42	-264.67	1 182.08	
	3	1 254.28	14.58	37.42	-264.67	1 364.17	
	4	1 312.55	36.78	18.50	-667.71	794.85	
	5	1 254.28	36.78	18.50	-667.71	976.94	
<i>Perm.</i>	6.7	1 004.56	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	168.77	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-168.77	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	101.26	0.00	1 095.36	
<i>Perm.</i>	8.9	1 004.56	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	168.77	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-168.77	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	101.26	0.00	-1 095.36	0.00	

Al fine di ottenere gli sforzi assiali in testa ai pali si adoterà 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  $\beta_i = 2$  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	50.6	66.4	64.9	73.8	72.3	54.1	40.1	74.1	60.0
2	48.8	62.7	60.5	71.3	69.2	50.6	36.6	74.1	60.0
3	47.1	58.9	56.2	68.8	66.1	47.1	33.1	74.1	60.0
4	45.3	55.1	51.8	66.3	63.0	43.7	29.6	74.1	60.0
5	54.0	75.5	75.6	77.1	77.2	64.0	49.9	67.7	53.6
6	38.8	43.0	38.0	55.2	50.3	33.8	19.7	67.7	53.6
7	54.1	77.0	77.4	76.4	76.8	66.2	52.1	63.9	49.8
8	36.8	39.7	34.4	51.3	46.0	31.6	17.5	63.9	49.8
9	54.3	78.4	79.2	75.7	76.5	68.4	54.3	60.1	46.0
10	34.8	36.4	30.7	47.4	41.7	29.4	15.3	60.1	46.0
11	54.5	79.8	81.0	74.9	76.1	70.5	56.5	56.3	42.2
12	32.8	33.1	27.1	43.5	37.5	27.2	13.2	56.3	42.2
13	50.9	76.3	77.4	65.9	67.1	70.5	56.5	41.5	27.4
14	29.2	29.5	23.5	34.5	28.4	27.2	13.2	41.5	27.4
15	48.9	73.0	73.8	62.0	62.8	68.4	54.3	37.7	23.6
16	29.4	31.0	25.3	33.7	28.0	29.4	15.3	37.7	23.6
17	46.9	69.7	70.2	58.1	58.5	66.2	52.1	33.9	19.8
18	29.6	32.4	27.1	33.0	27.7	31.6	17.5	33.9	19.8
19	44.9	66.4	66.5	54.2	54.3	64.0	49.9	30.1	16.0
20	29.8	33.9	28.9	32.3	27.4	33.8	19.7	30.1	16.0
21	38.4	54.2	52.7	43.1	41.6	54.1	40.1	23.7	9.6
22	36.6	50.5	48.3	40.6	38.5	50.6	36.6	23.7	9.6
23	34.9	46.7	44.0	38.1	35.3	47.1	33.1	23.7	9.6
24	33.1	43.0	39.7	35.5	32.2	43.7	29.6	23.7	9.6
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									

Sollecitazione max sui pali di fondazione $N_{\max}$	81.0	t
Sollecitazione min sui pali di fondazione $N_{\min}$	9.6	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>i</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)
1	14.6	34.4
2	14.6	37.4
3	14.6	37.4
4	36.8	18.5
5	36.8	18.5
6	0.0	101.3
7	0.0	101.3
8	101.3	0.0
9	101.3	0.0

T <sub>i</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
0.61	1.43	1.56
0.61	1.56	1.67
0.61	1.56	1.67
1.53	0.77	1.72
1.53	0.77	1.72
0.00	4.22	4.22
0.00	4.22	4.22
4.22	0.00	4.22
4.22	0.00	4.22

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 4.22 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
74.1	N <sub>max</sub>	81.0
9.6	N <sub>min</sub>	23.5
4.2	T <sub>max</sub>	1.7

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

$$\begin{aligned}\phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 22.0 & \text{cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 & \text{t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 & \text{kg/cm}^2\end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 1.190 \text{ m}$$

da cui

$$M_{\max} = 2.51094 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{\max} = 53.5 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 2.3 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Diametro esterno tubo acciaio} = 15.90 \text{ cm}$$

$$\text{Spessore tubo acciaio} = 1.25 \text{ cm}$$

$$\text{Diametro interno tubo acciaio} = 13.4 \text{ cm}$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2\,400 \text{ kg/cm}^2$$

**Verifica con sforzo normale massimo**

$$\begin{aligned} A &= 57.53 \text{ cm}^2 \\ J &= 1554.65 \text{ cm}^4 \\ W &= 195.55 \text{ cm}^3 \\ \text{Tensione massima acciaio} &= 2\,213.34 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

**Verifica con sforzo normale minimo**

$$\begin{aligned} A &= 57.53 \text{ cm}^2 \\ J &= 1554.65 \text{ cm}^4 \\ W &= 195.55 \text{ cm}^3 \\ \text{Tensione massima acciaio} &= 1\,324.76 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

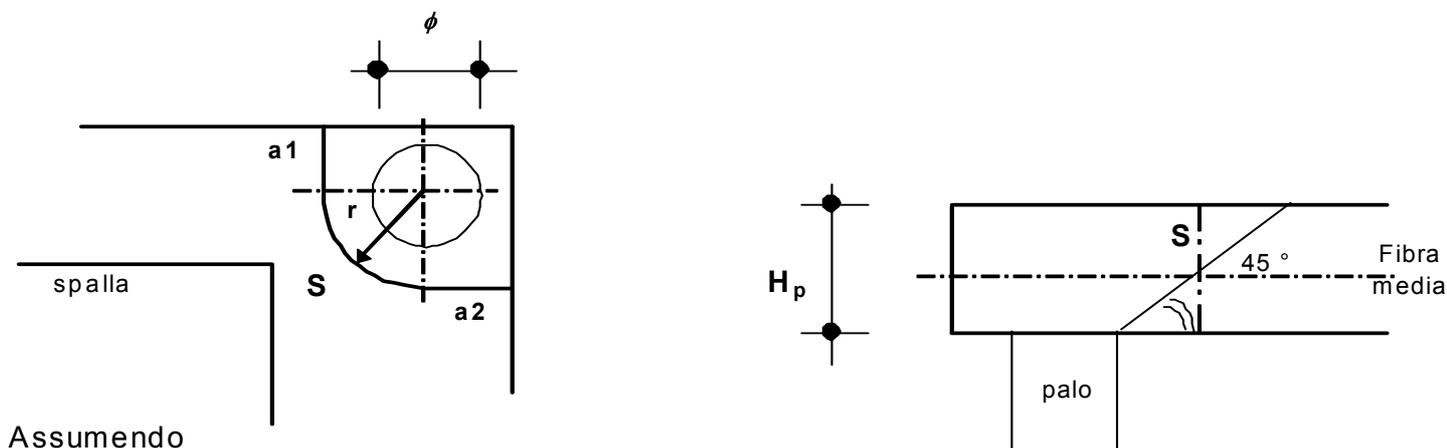
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 81.00 \text{ t}$$

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

$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 0.55 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r/2 + a2) = 2.50 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 3.24 \text{ kg/cm}^2$$

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 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: GENERICA

Cls:

Acciaio lento:

vert.	Z	Y	ferro	Z	Y	d[mm]	Af[cm <sup>2</sup> ]
1_1	0.	0.	1	344.6	0.	26.	5.3093
1_2	175.	175.	2	343.9	15.	26.	5.3093
1_3	350.	0.	3	342.	29.9	26.	5.3093
1_4	175.	-175.	4	338.7	44.5	26.	5.3093
2_1	33.	0.	5	334.1	58.8	26.	5.3093
2_2	175.	-142.	6	328.3	72.6	26.	5.3093
2_3	317.	0.	7	321.3	85.9	26.	5.3093
2_4	175.	142.	8	313.1	98.5	26.	5.3093
			9	303.8	110.3	26.	5.3093
			10	293.6	121.2	26.	5.3093
			11	282.4	131.2	26.	5.3093
			12	270.4	140.2	26.	5.3093
			13	257.6	148.1	26.	5.3093
			14	244.2	154.8	26.	5.3093
			15	230.3	160.3	26.	5.3093
			16	215.9	164.6	26.	5.3093
			17	201.2	167.6	26.	5.3093
			18	186.3	169.2	26.	5.3093
			19	171.3	169.6	26.	5.3093
			20	156.3	168.6	26.	5.3093
			21	141.5	166.3	26.	5.3093
			22	126.9	162.6	26.	5.3093
			23	112.7	157.8	26.	5.3093
			24	99.	151.6	26.	5.3093
			25	85.9	144.3	26.	5.3093
			26	73.5	135.9	26.	5.3093
			27	61.9	126.4	26.	5.3093
			28	51.2	115.9	26.	5.3093
			29	41.4	104.5	26.	5.3093
			30	32.7	92.3	26.	5.3093
			31	25.1	79.4	26.	5.3093

32	18.7	65.8	26.	5.3093
33	13.5	51.7	26.	5.3093
34	9.5	37.3	26.	5.3093
35	6.9	22.5	26.	5.3093
36	5.6	7.5	26.	5.3093
37	5.6	-7.5	26.	5.3093
38	6.9	-22.4	26.	5.3093
39	9.5	-37.2	26.	5.3093
40	13.5	-51.6	26.	5.3093
41	18.7	-65.7	26.	5.3093
42	25.1	-79.3	26.	5.3093
43	32.7	-92.2	26.	5.3093
44	41.4	-104.4	26.	5.3093
45	51.1	-115.8	26.	5.3093
46	61.8	-126.3	26.	5.3093
47	73.5	-135.8	26.	5.3093
48	85.9	-144.3	26.	5.3093
49	99.	-151.6	26.	5.3093
50	112.6	-157.7	26.	5.3093
51	126.8	-162.6	26.	5.3093
52	141.4	-166.2	26.	5.3093
53	156.2	-168.6	26.	5.3093
54	171.2	-169.6	26.	5.3093
55	186.2	-169.2	26.	5.3093
56	201.1	-167.6	26.	5.3093
57	215.8	-164.6	26.	5.3093
58	230.2	-160.4	26.	5.3093
59	244.1	-154.9	26.	5.3093
60	257.6	-148.1	26.	5.3093
61	270.3	-140.3	26.	5.3093
62	282.4	-131.3	26.	5.3093
63	293.5	-121.3	26.	5.3093
64	303.8	-110.3	26.	5.3093
65	313.	-98.5	26.	5.3093
66	321.2	-86.	26.	5.3093
67	328.2	-72.7	26.	5.3093
68	334.1	-58.9	26.	5.3093
69	338.6	-44.6	26.	5.3093
70	341.9	-29.9	26.	5.3093
71	343.9	-15.1	26.	5.3093

SOLLECITAZIONI AGENTI

Sforzi normali applicati in  $z=175.$  ;  $y=0.$  (baricentro CLS)  
 Convenzioni: N + trazione; Mz + fib.inferiori tese; My + fib.sinistra  
 tese.

N.	N	Mz	My	Sollecitaz. ultima
calcolata				
1	-912090	25192000	114934000	
2	-853830	25192000	133143000	

RISULTATI

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

Sol.	$\mu_z$	$\mu_y$	$\lambda$
1	-.00000018676	-.00000085209	.00010357198
2	-.00000022431	-.00000118558	.00019117457

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls			Acciaio lento		
	vert.	S cls	Ve	ferro	S ferri	Ve
1	1- 3	-70.1	<b>si</b>	3	-1044.2	<b>si</b>
2	1- 3	-80.6	<b>si</b>	3	-1193.	<b>si</b>

## Calcolo della Pila 24

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	0.88	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	6.50	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	10.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.20	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 $h_{bagg}$	0.55	m
Pulvino $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	16.39	m

#### **Sezioni in pianta**

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	3.29	$m^2$

#### **Baricentri**

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	8.20	m

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

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	4.17	$m^4$
---	------	-------

#### **Prospetti longitudinali**

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	16.87	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	8.43	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:

$$\lambda = 34.24$$

## **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:

$$N_{app} = 463.68 \quad t$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 303.47 & t \\ M_t & 486.99 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 246.06 & t \\ M_t & 666.41 & t \cdot m \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
18.67	19.32

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
45.72	105.58

### **### 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:

n° campate collegate	1	
lunghezza complessiva campate collegate	34	m
$H_{f1,a}=0,10*(3*20+3*(lunghezza\ compless.\ campate\ collegate - 9))=$	13.5	t
$H_{f1,b}=0,20*(3*20*(1+0,5+0.35))=$	22.2	t (3 colonne di carico)

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad t$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 13.91 \quad t$$

### **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 ( $T_0 < 0.8$  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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
463.68	56.09	58.05	77.90

### ### 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)	
464	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
56.09	-58.05

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  $M_{s,l}$ :

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

$W$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
463.68	77.90

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	18.67	0.00	19.32
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	463.68	13.91	18.67	0.00	19.32

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	303.47	0.00	0.00	0.00	486.99
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	27.43	0.00	63.35
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	767.15	13.91	27.43	0.00	550.34

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	246.06	0.00	0.00	0.00	666.41
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	27.43	0.00	63.35
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
TOT	709.74	13.91	27.43	0.00	729.76

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	303.47	0.00	0.00	0.00	486.99
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.14	0.00	21.12
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>767.15</b>	<b>36.11</b>	<b>9.14</b>	<b>0.00</b>	<b>508.11</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	246.06	0.00	0.00	0.00	666.41
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.14	0.00	21.12
Attrito * 1.00	0.00	13.91	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>709.74</b>	<b>36.11</b>	<b>9.14</b>	<b>0.00</b>	<b>687.53</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05
Sisma vert. +	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>541.57</b>	<b>0.00</b>	<b>56.09</b>	<b>0.00</b>	<b>58.05</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	56.09	0.00	58.05
Sisma vert. -	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>385.78</b>	<b>0.00</b>	<b>56.09</b>	<b>0.00</b>	<b>58.05</b>

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

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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	56.09	0.00	-58.05	0.00
Sisma vert. +	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>541.57</b>	<b>56.09</b>	<b>0.00</b>	<b>-58.05</b>	<b>0.00</b>

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

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	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	56.09	0.00	-58.05	0.00
Sisma vert. -	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>385.78</b>	<b>56.1</b>	<b>0.00</b>	<b>-58.0</b>	<b>0.00</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	463.68	13.91	18.67	0.00	19.32
2	767.15	13.91	27.43	0.00	550.34
3	709.74	13.91	27.43	0.00	729.76
4	767.15	36.11	9.14	0.00	508.11
5	709.74	36.11	9.14	0.00	687.53

Eserc.	Perm.	6.7	463.68	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
	Vert. +	6	77.90	0.00	0.00	0.00	
	Vert. -	7	-77.90	0.00	0.00	0.00	
	Orizz.	6.7	0.00	0.00	56.09	0.00	
Sisma Long.	Perm.	8.9	463.68	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
	Vert. +	8	77.90	0.00	0.00	0.00	
	Vert. -	9	-77.90	0.00	0.00	0.00	
	Orizz.	8.9	0.00	56.09	0.00	-58.05	

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	0.00	0.00
Fusto pila	134.66	8.20
	134.66	8.20

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	16.29	8.20	-133.48
	16.29		-133.48

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	16.29	8.20	133.48
	16.29		133.48

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	134.66	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	16.29	0.00	-133.48	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	16.29	0.00	133.48
Sisma vert. + Incr. peso	22.62	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-22.62	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

$$A_r = 67.26 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 11.97 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	67.26	16.82	11.97	201.24

## 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.

$$e_v = -19.29 \text{ m}$$

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

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

(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	463.68	13.91	18.67	-268.33	379.38	Cond. Norm. Eserc.
2	767.15	13.91	27.43	-268.33	1079.47	
3	709.74	13.91	27.43	-268.33	1258.89	
4	767.15	36.11	9.14	-696.57	684.49	
5	709.74	36.11	9.14	-696.57	863.91	

<i>Perm.</i>	6.7	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	56.09	0.00	1139.95	
<i>Perm.</i>	8.9	463.68	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-77.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	56.09	0.00	-1139.95	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	598.34	13.91	35.48	-268.33	580.62	Cond. Norm. Eserc.
2	901.81	13.91	37.52	-268.33	1 200.22	
3	844.40	13.91	37.52	-268.33	1 379.64	
4	901.81	36.11	19.23	-696.57	805.23	
5	844.40	36.11	19.23	-696.57	984.65	

<i>Perm.</i>	6.7	598.34	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	100.52	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-100.52	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	72.37	0.00	1 273.44	
<i>Perm.</i>	8.9	598.34	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	100.52	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-100.52	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	72.37	0.00	-1 273.44	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	142.19	0.44
Terreno portato	258.27	2.04
	400.46	1.47

**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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Zattera	14.33	0.44	-6.27
Terreno portato	26.03	2.04	-53.04
	40.37		-59.31

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	14.33	0.44	6.27
Terreno portato	26.03	2.04	53.04
	40.37		59.31

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	400.46	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	40.37	0.00	-59.31	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	40.37	0.00	59.31
Sisma vert. + Incr. peso	67.28	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-67.28	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	598.34	13.91	35.48	-268.33	580.62	Cond. Norm. Eserc.
2	901.81	13.91	37.52	-268.33	1 200.22	
3	844.40	13.91	37.52	-268.33	1 379.64	
4	901.81	36.11	19.23	-696.57	805.23	
5	844.40	36.11	19.23	-696.57	984.65	
Perm.	6.7	598.34	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	100.52	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-100.52	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	60.31	1 061.20	
Perm.	8.9	598.34	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	100.52	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-100.52	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	60.31	0.00	-1 061.20	

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

$$h_{zattera} = 0.88 \text{ m}$$

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	998.80	13.91	35.48	-280.50	611.67	Cond. Norm. Eserc.
2	1 302.27	13.91	37.52	-280.50	1 233.05	
3	1 244.86	13.91	37.52	-280.50	1 412.47	
4	1 302.27	36.11	19.23	-728.16	822.06	
5	1 244.86	36.11	19.23	-728.16	1 001.48	

<i>Perm.</i>	6.7	998.80	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	167.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-167.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	100.68	0.00	1 173.29	
<i>Perm.</i>	8.9	998.80	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	167.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-167.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	100.68	0.00	-1 173.29	0.00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 24$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
6.50	10.00	0.88

Area fondazione  $65.00 \text{ m}^2$

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

X	Y
0.00	0.00

Baricentro palificata

$X_G$	$Y_G$
0.00	0.00

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

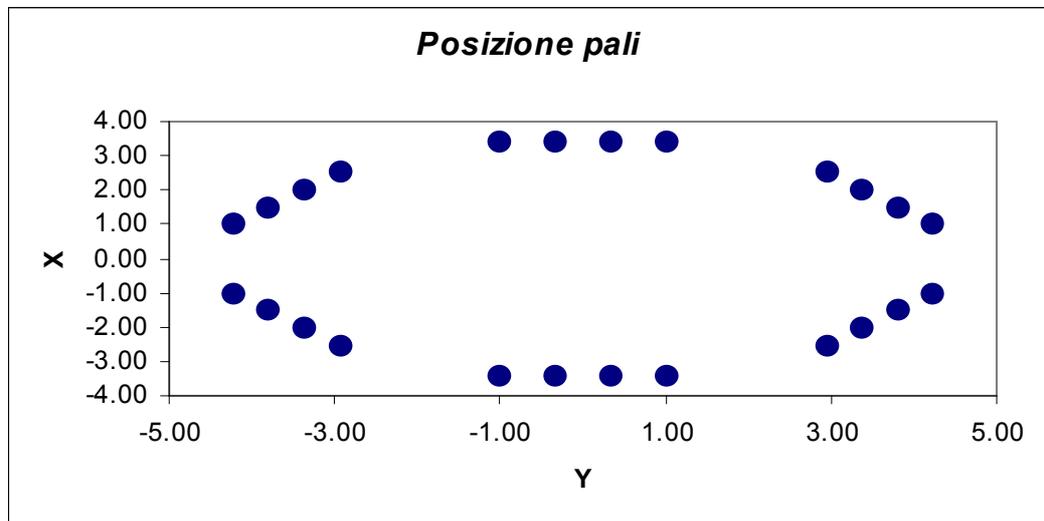
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
147.77	213.603

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X<sub>G</sub>,Y<sub>G</sub>):

Pali	X (m)	Y (m)	X <sub>G<sub>i</sub></sub> (m)	Y <sub>G<sub>i</sub></sub> (m)	W <sub>I</sub> (m)	W <sub>t</sub> (m)
1	3.40	1.02	3.40	1.02	43.46	209.47
2	3.40	0.34	3.40	0.34	43.46	628.60
3	3.40	-0.34	3.40	-0.34	43.46	-628.26
4	3.40	-1.02	3.40	-1.02	43.46	-209.44
5	2.54	2.94	2.54	2.94	58.27	72.63
6	2.54	-2.94	2.54	-2.94	58.27	-72.65
7	2.03	3.37	2.03	3.37	72.96	63.39
8	2.03	-3.37	2.03	-3.37	72.96	-63.39
9	1.51	3.80	1.51	3.80	97.58	56.23
10	1.51	-3.80	1.51	-3.80	97.58	-56.23
11	1.00	4.22	1.00	4.22	148.08	50.61
12	1.00	-4.22	1.00	-4.22	148.08	-50.61
13	-1.00	4.22	-1.00	4.22	-148.08	50.61
14	-1.00	-4.22	-1.00	-4.22	-148.08	-50.61
15	-1.51	3.80	-1.51	3.80	-97.58	56.23
16	-1.51	-3.80	-1.51	-3.80	-97.58	-56.23
17	-2.03	3.37	-2.03	3.37	-72.96	63.39
18	-2.03	-3.37	-2.03	-3.37	-72.96	-63.39
19	-2.54	2.94	-2.54	2.94	-58.27	72.63
20	-2.54	-2.94	-2.54	-2.94	-58.27	-72.65
21	-3.40	1.02	-3.40	1.02	-43.46	209.47
22	-3.40	0.34	-3.40	0.34	-43.46	628.60
23	-3.40	-0.34	-3.40	-0.34	-43.46	-628.26
24	-3.40	-1.02	-3.40	-1.02	-43.46	-209.44
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

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:

$$M_I = M_i + (N \cdot e_{i,pali})$$

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

		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	998.80	13.91	35.48	-280.50	611.67	Eserc.
	2	1 302.27	13.91	37.52	-280.50	1 233.05	
	3	1 244.86	13.91	37.52	-280.50	1 412.47	
	4	1 302.27	36.11	19.23	-728.16	822.06	
	5	1 244.86	36.11	19.23	-728.16	1 001.48	
<i>Perm.</i>	6.7	998.80	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	167.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-167.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	100.68	0.00	1 173.29	
<i>Perm.</i>	8.9	998.80	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	167.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-167.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	100.68	0.00	-1 173.29	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:

$$N_{palo} = (N + \alpha_N (N_v^{\beta_N} + N_o^{\beta_N})^{1/\beta_N}) / n^{\circ} \text{ pali} + (M_i + \alpha_{M_i} (M_{i,v}^{\beta_{M_i}} + M_{i,o}^{\beta_{M_i}})^{1/\beta_{M_i}}) / W_i + (M_t + \alpha_{M_t} (M_{t,v}^{\beta_{M_t}} + M_{t,o}^{\beta_{M_t}})^{1/\beta_{M_t}}) / W_t$$

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  $\beta_i = 2$  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	51.0	66.6	65.1	74.9	73.4	54.2	40.2	75.6	61.6
2	49.0	62.7	60.6	72.3	70.2	50.5	36.5	75.6	61.6
3	47.1	58.8	56.1	69.7	67.0	46.7	32.8	75.6	61.6
4	45.2	54.8	51.6	67.1	63.8	43.0	29.0	75.6	61.6
5	54.9	76.1	76.1	78.1	78.2	64.8	50.8	68.7	54.8
6	38.0	42.1	37.2	55.4	50.6	32.5	18.5	68.7	54.8
7	55.1	77.6	78.0	77.2	77.6	67.1	53.1	64.7	50.7
8	35.8	38.7	33.4	51.3	46.0	30.1	16.1	64.7	50.7
9	55.4	79.1	79.9	76.3	77.1	69.5	55.5	60.6	46.6
10	33.6	35.2	29.6	47.1	41.5	27.7	13.8	60.6	46.6
11	55.6	80.5	81.7	75.4	76.6	71.8	57.8	56.5	42.5
12	31.4	31.8	25.9	42.9	37.0	25.4	11.4	56.5	42.5
13	51.8	76.7	77.9	65.6	66.7	71.8	57.8	40.7	26.7
14	27.6	28.0	22.1	33.1	27.2	25.4	11.4	40.7	26.7
15	49.6	73.3	74.1	61.4	62.2	69.5	55.5	36.6	22.6
16	27.9	29.5	23.9	32.2	26.6	27.7	13.8	36.6	22.6
17	47.4	69.9	70.3	57.3	57.7	67.1	53.1	32.5	18.5
18	28.1	31.0	25.7	31.3	26.1	30.1	16.1	32.5	18.5
19	45.2	66.4	66.5	53.1	53.2	64.8	50.8	28.5	14.5
20	28.4	32.5	27.6	30.4	25.6	32.5	18.5	28.5	14.5
21	38.1	53.7	52.2	41.4	39.9	54.2	40.2	21.6	7.6
22	36.1	49.8	47.7	38.8	36.7	50.5	36.5	21.6	7.6
23	34.2	45.8	43.2	36.2	33.5	46.7	32.8	21.6	7.6
24	32.2	41.9	38.7	33.6	30.3	43.0	29.0	21.6	7.6
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									

Sollecitazione max sui pali di fondazione $N_{\max}$	81.7	t
Sollecitazione min sui pali di fondazione $N_{\min}$	7.6	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>i</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)
1	13.9	35.5
2	13.9	37.5
3	13.9	37.5
4	36.1	19.2
5	36.1	19.2
6	0.0	100.7
7	0.0	100.7
8	100.7	0.0
9	100.7	0.0

T <sub>i</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
0.58	1.48	1.59
0.58	1.56	1.67
0.58	1.56	1.67
1.50	0.80	1.70
1.50	0.80	1.70
0.00	4.19	4.19
0.00	4.19	4.19
4.19	0.00	4.19
4.19	0.00	4.19

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 4.19 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
75.6	N <sub>max</sub>	81.7
7.6	N <sub>min</sub>	22.1
4.2	T <sub>max</sub>	1.7

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

$$\begin{aligned}\phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 22.0 & \text{cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 & \text{t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 & \text{kg/cm}^2\end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 1.190 \text{ m}$$

da cui

$$M_{\max} = 2.49654 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{\max} = 54.8 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 0.7 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Diametro esterno tubo acciaio} = 15.90 \text{ cm}$$

$$\text{Spessore tubo acciaio} = 1.25 \text{ cm}$$

$$\text{Diametro interno tubo acciaio} = 13.4 \text{ cm}$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2\,400 \text{ kg/cm}^2$$

**Verifica con sforzo normale massimo**

$$\begin{aligned} A &= 57.53 \text{ cm}^2 \\ J &= 1554.65 \text{ cm}^4 \\ W &= 195.55 \text{ cm}^3 \\ \text{Tensione massima acciaio} &= 2\,228.54 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

**Verifica con sforzo normale minimo**

$$\begin{aligned} A &= 57.53 \text{ cm}^2 \\ J &= 1554.65 \text{ cm}^4 \\ W &= 195.55 \text{ cm}^3 \\ \text{Tensione massima acciaio} &= 1\,289.28 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

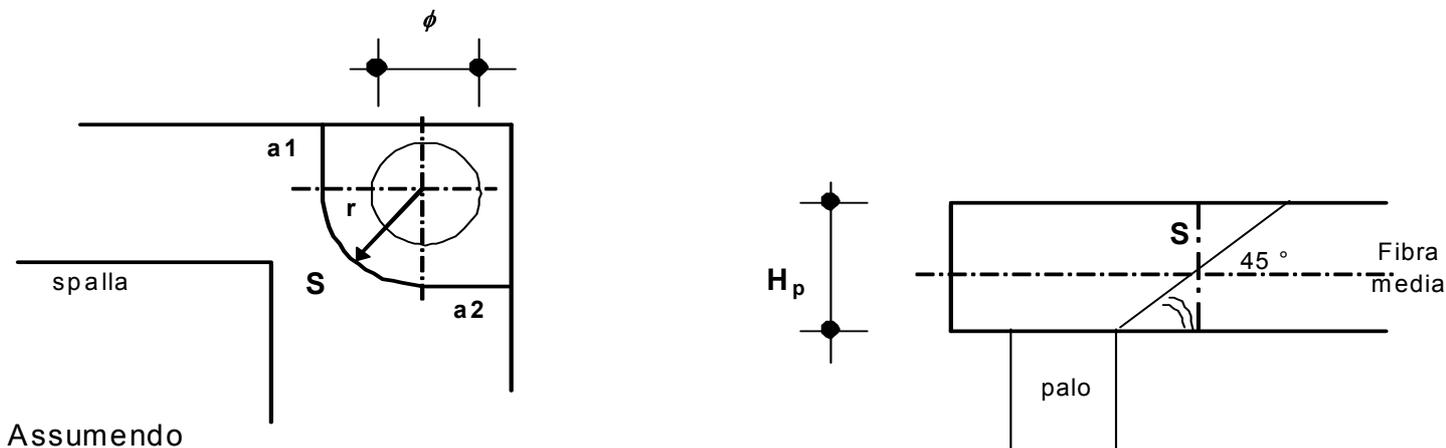
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 81.67 \text{ t}$$

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:



$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 0.55 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r/2 + a2) = 2.50 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 3.26 \text{ kg/cm}^2$$

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 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: GENERICA

Cls:

Acciaio lento:

vert.	Z	Y	ferro	Z	Y	d[mm]	Af[cm <sup>2</sup> ]
1_1	0.	0.	1	344.6	0.	26.	5.3093
1_2	175.	175.	2	343.9	15.	26.	5.3093
1_3	350.	0.	3	342.	29.9	26.	5.3093
1_4	175.	-175.	4	338.7	44.5	26.	5.3093
2_1	33.	0.	5	334.1	58.8	26.	5.3093
2_2	175.	-142.	6	328.3	72.6	26.	5.3093
2_3	317.	0.	7	321.3	85.9	26.	5.3093
2_4	175.	142.	8	313.1	98.5	26.	5.3093
			9	303.8	110.3	26.	5.3093
			10	293.6	121.2	26.	5.3093
			11	282.4	131.2	26.	5.3093
			12	270.4	140.2	26.	5.3093
			13	257.6	148.1	26.	5.3093
			14	244.2	154.8	26.	5.3093
			15	230.3	160.3	26.	5.3093
			16	215.9	164.6	26.	5.3093
			17	201.2	167.6	26.	5.3093
			18	186.3	169.2	26.	5.3093
			19	171.3	169.6	26.	5.3093
			20	156.3	168.6	26.	5.3093
			21	141.5	166.3	26.	5.3093
			22	126.9	162.6	26.	5.3093
			23	112.7	157.8	26.	5.3093
			24	99.	151.6	26.	5.3093
			25	85.9	144.3	26.	5.3093
			26	73.5	135.9	26.	5.3093
			27	61.9	126.4	26.	5.3093
			28	51.2	115.9	26.	5.3093
			29	41.4	104.5	26.	5.3093
			30	32.7	92.3	26.	5.3093
			31	25.1	79.4	26.	5.3093

32	18.7	65.8	26.	5.3093
33	13.5	51.7	26.	5.3093
34	9.5	37.3	26.	5.3093
35	6.9	22.5	26.	5.3093
36	5.6	7.5	26.	5.3093
37	5.6	-7.5	26.	5.3093
38	6.9	-22.4	26.	5.3093
39	9.5	-37.2	26.	5.3093
40	13.5	-51.6	26.	5.3093
41	18.7	-65.7	26.	5.3093
42	25.1	-79.3	26.	5.3093
43	32.7	-92.2	26.	5.3093
44	41.4	-104.4	26.	5.3093
45	51.1	-115.8	26.	5.3093
46	61.8	-126.3	26.	5.3093
47	73.5	-135.8	26.	5.3093
48	85.9	-144.3	26.	5.3093
49	99.	-151.6	26.	5.3093
50	112.6	-157.7	26.	5.3093
51	126.8	-162.6	26.	5.3093
52	141.4	-166.2	26.	5.3093
53	156.2	-168.6	26.	5.3093
54	171.2	-169.6	26.	5.3093
55	186.2	-169.2	26.	5.3093
56	201.1	-167.6	26.	5.3093
57	215.8	-164.6	26.	5.3093
58	230.2	-160.4	26.	5.3093
59	244.1	-154.9	26.	5.3093
60	257.6	-148.1	26.	5.3093
61	270.3	-140.3	26.	5.3093
62	282.4	-131.3	26.	5.3093
63	293.5	-121.3	26.	5.3093
64	303.8	-110.3	26.	5.3093
65	313.	-98.5	26.	5.3093
66	321.2	-86.	26.	5.3093
67	328.2	-72.7	26.	5.3093
68	334.1	-58.9	26.	5.3093
69	338.6	-44.6	26.	5.3093
70	341.9	-29.9	26.	5.3093
71	343.9	-15.1	26.	5.3093

SOLLECITAZIONI AGENTI

Sforzi normali applicati in  $z=175.$  ;  $y=0.$  (baricentro CLS)  
 Convenzioni: N + trazione; Mz + fib.inferiori tese; My + fib.sinistra  
 tese.

N.	N	Mz	My	Sollecitaz. ultima
1	-901810	26833000	120022000	
2	-844400	26833000	137964000	

RISULTATI

Piani di equilibrio (eps= muz \* y +muy \* z + lam):

Sol.	muz	muy	lambda
1	-.00000020921	-.00000093585	.00012483393
2	-.00000024838	-.00000127716	.00021524763

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls			Acciaio lento		
	vert.	S cls	Ve	ferro	S ferri	Ve
1	1- 3	-73.	<b>si</b>	3	-1087.7	<b>si</b>
2	1- 3	-83.4	<b>si</b>	3	-1236.	<b>si</b>

## Calcolo della Pila 25

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	0.88	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	6.50	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	10.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.50	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 $h_{bagg}$	0.55	m
Pulvino $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	17.15	m

#### *Sezioni in pianta*

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	3.29	$m^2$

#### *Baricentri*

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	8.58	m

#### *Momenti d'inerzia*

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	4.17	$m^4$
---	------	-------

#### *Prospetti longitudinali*

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	17.33	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	8.66	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:

$$\lambda = 35.59$$

## **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:

$$N_{app} = 569.45 \text{ t}$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 319.50 & \text{t} \\ M_t & 512.71 & \text{t*m} \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 259.05 & \text{t} \\ M_t & 701.60 & \text{t*m} \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
21.88	22.64

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
53.58	123.75

### **### 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:

n° campate collegate	1	
lunghezza complessiva campate collegate	34	m
$H_{f1,a}=0,10*(3*20+3*(lunghezza\ compless.\ campate\ collegate - 9))=$	13.5	t
$H_{f1,b}=0,20*(3*20*(1+0,5+0.35))=$	22.2	t (3 colonne di carico)

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad t$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 17.08 \quad t$$

### **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 ( $T_0 < 0.8$  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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
569.45	68.88	71.29	95.67

### ### 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)	
569	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
68.88	-71.29

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  $M_{s,l}$ :

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

$W$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
569.45	95.67

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	21.88	0.00	22.64
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
TOT	569.45	17.08	21.88	0.00	22.64

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	319.50	0.00	0.00	0.00	512.71
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	32.15	0.00	74.25
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
TOT	888.95	17.08	32.15	0.00	586.96

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	259.05	0.00	0.00	0.00	701.60
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	32.15	0.00	74.25
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
TOT	828.50	17.08	32.15	0.00	775.85

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	319.50	0.00	0.00	0.00	512.71
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	10.72	0.00	24.75
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>888.95</b>	<b>39.28</b>	<b>10.72</b>	<b>0.00</b>	<b>537.46</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	259.05	0.00	0.00	0.00	701.60
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	10.72	0.00	24.75
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>828.50</b>	<b>39.28</b>	<b>10.72</b>	<b>0.00</b>	<b>726.35</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	68.88	0.00	71.29
Sisma vert. +	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>665.12</b>	<b>0.00</b>	<b>68.88</b>	<b>0.00</b>	<b>71.29</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	68.88	0.00	71.29
Sisma vert. -	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>473.78</b>	<b>0.00</b>	<b>68.88</b>	<b>0.00</b>	<b>71.29</b>

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

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	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	68.88	0.00	-71.29	0.00
Sisma vert. +	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>665.12</b>	<b>68.88</b>	<b>0.00</b>	<b>-71.29</b>	<b>0.00</b>

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

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	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	68.88	0.00	-71.29	0.00
Sisma vert. -	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>473.78</b>	<b>68.9</b>	<b>0.00</b>	<b>-71.3</b>	<b>0.00</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	569.45	17.08	21.88	0.00	22.64
2	888.95	17.08	32.15	0.00	586.96
3	828.50	17.08	32.15	0.00	775.85
4	888.95	39.28	10.72	0.00	537.46
5	828.50	39.28	10.72	0.00	726.35

Eserc.	6.7	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	68.88	0.00	71.29
	8.9	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma Trasv.	6.7	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	8.9	0.00	68.88	0.00	-71.29	0.00
Sisma Long.	6.7	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	8.9	0.00	68.88	0.00	-71.29	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	0.00	0.00
Fusto pila	140.90	8.58
	140.90	8.58

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	17.04	8.58	-146.15
	17.04		-146.15

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	17.04	8.58	146.15
	17.04		146.15

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	140.90	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	17.04	0.00	-146.15	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	17.04	0.00	146.15
Sisma vert. + Incr. peso	23.67	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-23.67	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

$$A_r = 68.87 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 12.50 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	68.87	17.22	12.50	215.17

## 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.

$$e_v = -20.05 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

Azioni impalcato rispetto baric. pila (estradosso zattera)						
COMB.	N (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	569.45	17.08	21.88	-342.52	461.29	Cond. Norm. Eserc.
2	888.95	17.08	32.15	-342.52	1231.58	
3	828.50	17.08	32.15	-342.52	1420.47	
4	888.95	39.28	10.72	-787.63	752.33	
5	828.50	39.28	10.72	-787.63	941.22	

Perm.	6.7	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	68.88	0.00	1452.35	
Perm.	8.9	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	68.88	0.00	-1452.35	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	710.35	17.08	39.10	-342.52	676.46	Cond. Norm. Eserc.
2	1 029.85	17.08	42.48	-342.52	1 360.68	
3	969.41	17.08	42.48	-342.52	1 549.57	
4	1 029.85	39.28	21.05	-787.63	881.44	
5	969.41	39.28	21.05	-787.63	1 070.33	

Perm.	6.7	710.35	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	119.34	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-119.34	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	85.92	0.00	1 598.50	
Perm.	8.9	710.35	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	119.34	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-119.34	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	85.92	0.00	-1 598.50	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	142.19	0.44
Terreno portato	291.60	2.19
	433.78	1.61

**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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Zattera	14.33	0.44	-6.27
Terreno portato	29.39	2.19	-64.30
	43.73		-70.57

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	14.33	0.44	6.27
Terreno portato	29.39	2.19	64.30
	43.73		70.57

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	433.78	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	43.73	0.00	-70.57	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	43.73	0.00	70.57
Sisma vert. + Incr. peso	72.88	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-72.88	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	710.35	17.08	39.10	-342.52	676.46	Cond. Norm. Eserc.
2	1 029.85	17.08	42.48	-342.52	1 360.68	
3	969.41	17.08	42.48	-342.52	1 549.57	
4	1 029.85	39.28	21.05	-787.63	881.44	
5	969.41	39.28	21.05	-787.63	1 070.33	
<i>Perm.</i>	6.7	710.35	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	119.34	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-119.34	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	71.60	1 332.08	
<i>Perm.</i>	8.9	710.35	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	119.34	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-119.34	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	71.60	0.00	-1 332.08	

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

$$h_{zattera} = 0.88 \text{ m}$$

Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera)						Cond. Norm. Eserc.
	<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	1 144.14	17.08	39.10	-357.47	710.67	
2	1 463.64	17.08	42.48	-357.47	1 397.85	
3	1 403.19	17.08	42.48	-357.47	1 586.74	
4	1 463.64	39.28	21.05	-822.01	899.85	
5	1 403.19	39.28	21.05	-822.01	1 088.74	

<i>Perm.</i>	6.7	1 144.14	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	192.22	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-192.22	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	115.33	0.00	1 465.31	
<i>Perm.</i>	8.9	1 144.14	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	192.22	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-192.22	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	115.33	0.00	-1 465.31	0.00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 24$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
6.50	10.00	0.88

Area fondazione  $65.00 \text{ m}^2$

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

X	Y
0.00	0.00

Baricentro palificata

$X_G$	$Y_G$
0.00	0.00

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

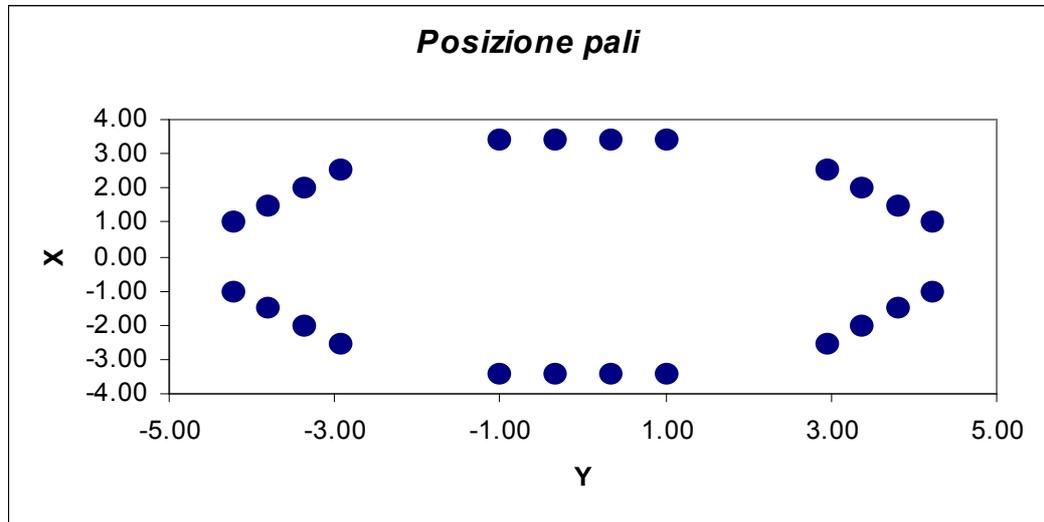
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
147.77	213.603

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X<sub>G</sub>,Y<sub>G</sub>):

Pali	X (m)	Y (m)	X <sub>Gi</sub> (m)	Y <sub>Gi</sub> (m)	W <sub>I</sub> (m)	W <sub>t</sub> (m)
1	3.40	1.02	3.40	1.02	43.46	209.47
2	3.40	0.34	3.40	0.34	43.46	628.60
3	3.40	-0.34	3.40	-0.34	43.46	-628.26
4	3.40	-1.02	3.40	-1.02	43.46	-209.44
5	2.54	2.94	2.54	2.94	58.27	72.63
6	2.54	-2.94	2.54	-2.94	58.27	-72.65
7	2.03	3.37	2.03	3.37	72.96	63.39
8	2.03	-3.37	2.03	-3.37	72.96	-63.39
9	1.51	3.80	1.51	3.80	97.58	56.23
10	1.51	-3.80	1.51	-3.80	97.58	-56.23
11	1.00	4.22	1.00	4.22	148.08	50.61
12	1.00	-4.22	1.00	-4.22	148.08	-50.61
13	-1.00	4.22	-1.00	4.22	-148.08	50.61
14	-1.00	-4.22	-1.00	-4.22	-148.08	-50.61
15	-1.51	3.80	-1.51	3.80	-97.58	56.23
16	-1.51	-3.80	-1.51	-3.80	-97.58	-56.23
17	-2.03	3.37	-2.03	3.37	-72.96	63.39
18	-2.03	-3.37	-2.03	-3.37	-72.96	-63.39
19	-2.54	2.94	-2.54	2.94	-58.27	72.63
20	-2.54	-2.94	-2.54	-2.94	-58.27	-72.65
21	-3.40	1.02	-3.40	1.02	-43.46	209.47
22	-3.40	0.34	-3.40	0.34	-43.46	628.60
23	-3.40	-0.34	-3.40	-0.34	-43.46	-628.26
24	-3.40	-1.02	-3.40	-1.02	-43.46	-209.44
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

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:

$$M_l = M_l + (N * e_{l,pali}) \quad e_{l,pali} = 0.00 \quad m$$

		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	1 144.14	17.08	39.10	-357.47	710.67	Eserc.
	2	1 463.64	17.08	42.48	-357.47	1 397.85	
	3	1 403.19	17.08	42.48	-357.47	1 586.74	
	4	1 463.64	39.28	21.05	-822.01	899.85	
	5	1 403.19	39.28	21.05	-822.01	1 088.74	
<i>Perm.</i>	6.7	1 144.14	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	192.22	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-192.22	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	115.33	0.00	1 465.31	
<i>Perm.</i>	8.9	1 144.14	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	192.22	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-192.22	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	115.33	0.00	-1 465.31	0.00	

Al fine di ottenere gli sforzi assiali in testa ai pali si adoterà 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  $\beta_i = 2$  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	59.3	75.9	74.3	84.2	82.6	62.7	46.7	89.4	73.4
2	57.0	71.4	69.2	81.3	79.1	58.0	42.0	89.4	73.4
3	54.8	67.0	64.2	78.5	75.6	53.3	37.3	89.4	73.4
4	52.5	62.5	59.1	75.6	72.2	48.7	32.7	89.4	73.4
5	63.6	86.4	86.4	87.5	87.6	75.9	59.8	80.8	64.8
6	44.0	47.9	42.8	62.7	57.6	35.5	19.5	80.8	64.8
7	63.8	87.9	88.4	86.4	86.9	78.8	62.8	75.8	59.7
8	41.4	43.8	38.3	58.1	52.6	32.6	16.5	75.8	59.7
9	64.0	89.5	90.3	85.4	86.3	81.7	65.7	70.7	54.7
10	38.7	39.8	33.9	53.4	47.5	29.6	13.6	70.7	54.7
11	64.1	91.0	92.2	84.3	85.5	84.6	68.6	65.6	49.6
12	36.0	35.8	29.5	48.8	42.5	26.7	10.7	65.6	49.6
13	59.3	86.2	87.4	73.2	74.4	84.6	68.6	45.8	29.8
14	31.2	30.9	24.7	37.7	31.4	26.7	10.7	45.8	29.8
15	56.6	82.2	83.0	68.6	69.4	81.7	65.7	40.7	24.6
16	31.4	32.5	26.6	36.6	30.7	29.6	13.6	40.7	24.6
17	54.0	78.1	78.6	63.9	64.4	78.8	62.8	35.6	19.6
18	31.6	34.0	28.5	35.5	30.0	32.6	16.5	35.6	19.6
19	51.3	74.1	74.2	59.3	59.3	75.9	59.8	30.5	14.5
20	31.8	35.6	30.5	34.5	29.4	35.5	19.5	30.5	14.5
21	42.8	59.4	57.8	46.4	44.8	62.7	46.7	22.0	5.9
22	40.6	55.0	52.8	43.5	41.3	58.0	42.0	22.0	5.9
23	38.3	50.5	47.7	40.6	37.8	53.3	37.3	22.0	5.9
24	36.1	46.1	42.7	37.8	34.4	48.7	32.7	22.0	5.9
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									

Sollecitazione max sui pali di fondazione $N_{\max}$	92.2	t
Sollecitazione min sui pali di fondazione $N_{\min}$	5.9	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> (t)	H <sub>t</sub> (t)
1	17.1	39.1
2	17.1	42.5
3	17.1	42.5
4	39.3	21.0
5	39.3	21.0
6	0.0	115.3
7	0.0	115.3
8	115.3	0.0
9	115.3	0.0

T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
0.71	1.63	1.78
0.71	1.77	1.91
0.71	1.77	1.91
1.64	0.88	1.86
1.64	0.88	1.86
0.00	4.81	4.81
0.00	4.81	4.81
4.81	0.00	4.81
4.81	0.00	4.81

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 4.81 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
89.4	N <sub>max</sub>	92.2
5.9	N <sub>min</sub>	24.7
4.8	T <sub>max</sub>	1.9

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

Ponendo

$$\begin{aligned}\phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 22.0 & \text{cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 & \text{t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 & \text{kg/cm}^2\end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 1.190 \text{ m}$$

da cui

$$M_{\max} = 2.85983 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{\max} = 65.0 \text{ t}$$

$$N_{\min} = -1.5 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Diametro esterno tubo acciaio} = 15.90 \text{ cm}$$

$$\text{Spessore tubo acciaio} = 1.42 \text{ cm}$$

$$\text{Diametro interno tubo acciaio} = 13.1 \text{ cm}$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2\,400 \text{ kg/cm}^2$$

**Verifica con sforzo normale massimo**

A = 64.60 cm<sup>2</sup>  
J = 1709.27 cm<sup>4</sup>  
W = 215.00 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 2 337.05 kg/cm<sup>2</sup>

**Verifica con sforzo normale minimo**

A = 64.60 cm<sup>2</sup>  
J = 1709.27 cm<sup>4</sup>  
W = 215.00 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 1 307.24 kg/cm<sup>2</sup>

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

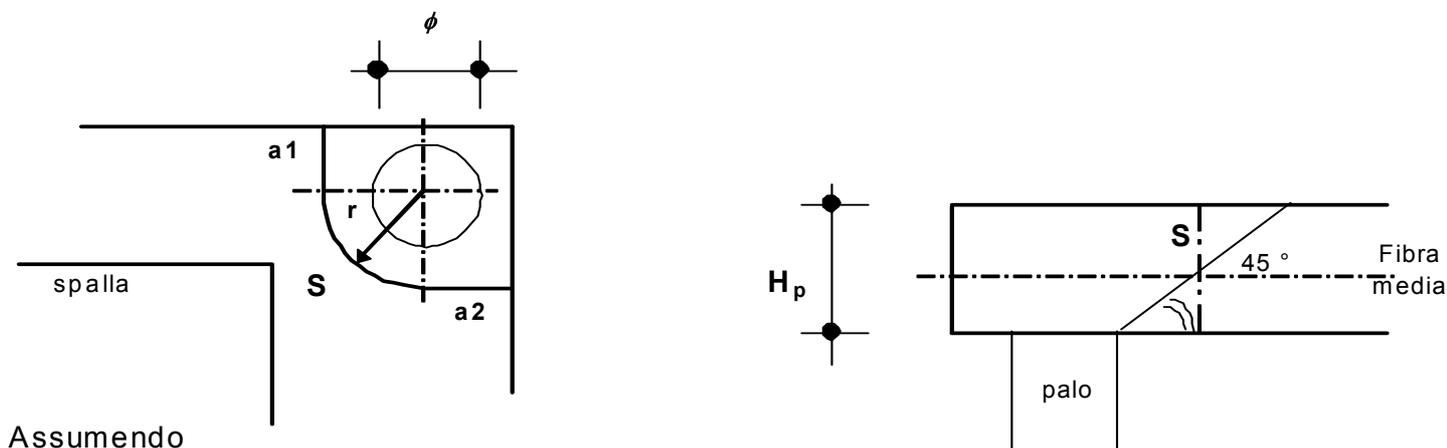
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 92.23 \text{ t}$$

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:



$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 0.55 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r / 2 + a2) = 2.50 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 3.69 \text{ kg/cm}^2$$

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 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: GENERICA

Cls:			Acciaio lento:				
vert.	Z	Y	ferro	Z	Y	d[mm]	Af[cm <sup>2</sup> ]
1_1	0.	0.	1	344.6	0.	26.	5.3093
1_2	175.	175.	2	343.9	15.	26.	5.3093
1_3	350.	0.	3	342.	29.9	26.	5.3093
1_4	175.	-175.	4	338.7	44.5	26.	5.3093
2_1	33.	0.	5	334.1	58.8	26.	5.3093
2_2	175.	-142.	6	328.3	72.6	26.	5.3093
2_3	317.	0.	7	321.3	85.9	26.	5.3093
2_4	175.	142.	8	313.1	98.5	26.	5.3093
			9	303.8	110.3	26.	5.3093
			10	293.6	121.2	26.	5.3093
			11	282.4	131.2	26.	5.3093
			12	270.4	140.2	26.	5.3093
			13	257.6	148.1	26.	5.3093
			14	244.2	154.8	26.	5.3093
			15	230.3	160.3	26.	5.3093
			16	215.9	164.6	26.	5.3093
			17	201.2	167.6	26.	5.3093
			18	186.3	169.2	26.	5.3093
			19	171.3	169.6	26.	5.3093
			20	156.3	168.6	26.	5.3093
			21	141.5	166.3	26.	5.3093
			22	126.9	162.6	26.	5.3093
			23	112.7	157.8	26.	5.3093
			24	99.	151.6	26.	5.3093
			25	85.9	144.3	26.	5.3093
			26	73.5	135.9	26.	5.3093
			27	61.9	126.4	26.	5.3093
			28	51.2	115.9	26.	5.3093
			29	41.4	104.5	26.	5.3093
			30	32.7	92.3	26.	5.3093
			31	25.1	79.4	26.	5.3093

32	18.7	65.8	26.	5.3093
33	13.5	51.7	26.	5.3093
34	9.5	37.3	26.	5.3093
35	6.9	22.5	26.	5.3093
36	5.6	7.5	26.	5.3093
37	5.6	-7.5	26.	5.3093
38	6.9	-22.4	26.	5.3093
39	9.5	-37.2	26.	5.3093
40	13.5	-51.6	26.	5.3093
41	18.7	-65.7	26.	5.3093
42	25.1	-79.3	26.	5.3093
43	32.7	-92.2	26.	5.3093
44	41.4	-104.4	26.	5.3093
45	51.1	-115.8	26.	5.3093
46	61.8	-126.3	26.	5.3093
47	73.5	-135.8	26.	5.3093
48	85.9	-144.3	26.	5.3093
49	99.	-151.6	26.	5.3093
50	112.6	-157.7	26.	5.3093
51	126.8	-162.6	26.	5.3093
52	141.4	-166.2	26.	5.3093
53	156.2	-168.6	26.	5.3093
54	171.2	-169.6	26.	5.3093
55	186.2	-169.2	26.	5.3093
56	201.1	-167.6	26.	5.3093
57	215.8	-164.6	26.	5.3093
58	230.2	-160.4	26.	5.3093
59	244.1	-154.9	26.	5.3093
60	257.6	-148.1	26.	5.3093
61	270.3	-140.3	26.	5.3093
62	282.4	-131.3	26.	5.3093
63	293.5	-121.3	26.	5.3093
64	303.8	-110.3	26.	5.3093
65	313.	-98.5	26.	5.3093
66	321.2	-86.	26.	5.3093
67	328.2	-72.7	26.	5.3093
68	334.1	-58.9	26.	5.3093
69	338.6	-44.6	26.	5.3093
70	341.9	-29.9	26.	5.3093
71	343.9	-15.1	26.	5.3093

SOLLECITAZIONI AGENTI

Sforzi normali applicati in  $z=175.$  ;  $y=0.$  (baricentro CLS)  
 Convenzioni: N + trazione; Mz + fib.inferiori tese; My + fib.sinistra  
 tese.

N.	N	Mz	My	Sollecitaz. ultima
1	-1029850	34252000	136068000	
2	-829690	0	159850000	

## RISULTATI

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

Sol.	$\mu_z$	$\mu_y$	$\lambda$
1	-.00000026683	-.00000106005	.00014091179
2	0.	-.00000164846	.00030851423

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls			Acciaio lento		
	vert.	S cls	Ve	ferro	S ferri	Ve
1	1- 3	-82.8	<b>si</b>	4	-1241.8	<b>si</b>
2	1- 3	-96.6	<b>si</b>	37	1616.4	<b>si</b>

## Calcolo della Pila 28

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	0.88	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	8.00	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	10.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.10	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 $h_{bagg}$	0.55	m
Pulvino $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	18.01	m

#### *Sezioni in pianta*

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	3.29	$m^2$

#### *Baricentri*

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	9.01	m

#### *Momenti d'inerzia*

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	4.17	$m^4$
---	------	-------

#### *Prospetti longitudinali*

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	18.59	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	9.29	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:

$$\lambda = 37.11$$

## **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:

$$N_{app} = 494.86 \quad t$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 309.00 & t \\ M_t & 495.86 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 250.54 & t \\ M_t & 678.54 & t \cdot m \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
17.74	18.36

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
43.45	110.39

### **### 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:

$$\begin{aligned} \text{n° campate collegate} & \quad 1 \\ \text{lunghezza complessiva campate collegate} & \quad 34.03 \quad \text{m} \\ H_{f1,a} & = 0,10 * (3 * 20 + 3 * (\text{lunghezza compless. campate collegate} - 9)) = 13.509 \quad \text{t} \\ H_{f1,b} & = 0,20 * (3 * 20 * (1 + 0,5 + 0,35)) = 22.2 \quad \text{t} \quad (3 \text{ colonne di carico}) \end{aligned}$$

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad \text{t}$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 14.85 \quad \text{t}$$

### **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

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

$W_h$

CARICHI PERMANENTI

S

grado di sismicità

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

coefficiente di intensità sismica

$$R = 1.00$$

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

$$\varepsilon = 1.20$$

coefficiente di fondazione

$$\beta = 1.20$$

coefficiente di struttura ISOSTATICA

$$I = 1.20$$

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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
494.86	59.86	61.95	83.14

### ### 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)	
495	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
59.86	-61.95

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  $M_{s,l}$ :

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

$W$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
494.86	83.14

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	17.74	0.00	18.36
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
TOT	494.86	14.85	17.74	0.00	18.36

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	309.00	0.00	0.00	0.00	495.86
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	26.07	0.00	66.23
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
TOT	803.85	14.85	26.07	0.00	562.09

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	250.54	0.00	0.00	0.00	678.54
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	26.07	0.00	66.23
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
TOT	745.40	14.85	26.07	0.00	744.78

COMB. 4 Perm. + Acc. DISP. 1 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + 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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	309.00	0.00	0.00	0.00	495.86
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	8.69	0.00	22.08
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>803.85</b>	<b>37.05</b>	<b>8.69</b>	<b>0.00</b>	<b>517.94</b>

COMB. 5 Perm. + Acc. DISP. 2 + Frenat. \* 1 + Vento (3) \* 0.2 + 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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	250.54	0.00	0.00	0.00	678.54
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	8.69	0.00	22.08
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>745.40</b>	<b>37.05</b>	<b>8.69</b>	<b>0.00</b>	<b>700.62</b>

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

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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	59.86	0.00	61.95
Sisma vert. +	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>577.99</b>	<b>0.00</b>	<b>59.86</b>	<b>0.00</b>	<b>61.95</b>

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

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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	59.86	0.00	61.95
Sisma vert. -	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>411.72</b>	<b>0.00</b>	<b>59.86</b>	<b>0.00</b>	<b>61.95</b>

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

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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	59.86	0.00	-61.95	0.00
Sisma vert. +	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>577.99</b>	<b>59.86</b>	<b>0.00</b>	<b>-61.95</b>	<b>0.00</b>

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

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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	59.86	0.00	-61.95	0.00
Sisma vert. -	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>411.72</b>	<b>59.9</b>	<b>0.00</b>	<b>-62.0</b>	<b>0.00</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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	494.86	14.85	17.74	0.00	18.36
2	803.85	14.85	26.07	0.00	562.09
3	745.40	14.85	26.07	0.00	744.78
4	803.85	37.05	8.69	0.00	517.94
5	745.40	37.05	8.69	0.00	700.62

Eserc.	6.7	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.7	0.00	0.00	59.86	0.00	61.95
	6.7	0.00	0.00	0.00	59.86	0.00
Sisma Trasv.	Perm.	8.9	494.86	0.00	0.00	0.00
	Vert. +	8	83.14	0.00	0.00	0.00
	Vert. -	9	-83.14	0.00	0.00	0.00
	Orizz.	8.9	0.00	59.86	0.00	-61.95
Sisma Long.	Perm.	8.9	494.86	0.00	0.00	0.00
	Vert. +	8	83.14	0.00	0.00	0.00
	Vert. -	9	-83.14	0.00	0.00	0.00
	Orizz.	8.9	0.00	59.86	0.00	-61.95

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	0.00	0.00
Fusto pila	147.97	9.01
	147.97	9.01

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	17.90	9.01	-161.18
	17.90		-161.18

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	17.90	9.01	161.18
	17.90		161.18

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	147.97	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	17.90	0.00	-161.18	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	17.90	0.00	161.18
Sisma vert. + Incr. peso	24.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-24.86	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

$$A_r = 73.28 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 12.72 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	73.28	18.32	12.72	233.13

## 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.

$$e_v = -20.91 \text{ m}$$

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

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

(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	494.86	14.85	17.74	-310.42	389.32	Cond. Norm. Eserc.
2	803.85	14.85	26.07	-310.42	1107.24	
3	745.40	14.85	26.07	-310.42	1289.93	
4	803.85	37.05	8.69	-774.63	699.65	
5	745.40	37.05	8.69	-774.63	882.34	

<i>Perm.</i>	6.7	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	59.86	0.00	1313.58	
<i>Perm.</i>	8.9	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	59.86	0.00	-1313.58	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	642.83	14.85	36.06	-310.42	622.45	Cond. Norm. Eserc.
2	951.82	14.85	37.06	-310.42	1 247.12	
3	893.37	14.85	37.06	-310.42	1 429.81	
4	951.82	37.05	19.68	-774.63	839.53	
5	893.37	37.05	19.68	-774.63	1 022.22	

<i>Perm.</i>	6.7	642.83	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	107.99	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-107.99	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	77.76	0.00	1 474.76	
<i>Perm.</i>	8.9	642.83	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	107.99	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-107.99	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	77.76	0.00	-1 474.76	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	175.00	0.44
Terreno portato	307.24	1.99
	482.24	1.43

**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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Zattera	17.64	0.44	-7.72
Terreno portato	30.97	1.99	-61.55
	48.61		-69.27

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	17.64	0.44	7.72
Terreno portato	30.97	1.99	61.55
	48.61		69.27

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	482.24	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	48.61	0.00	-69.27	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	48.61	0.00	69.27
Sisma vert. + Incr. peso	81.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-81.02	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	642.83	14.85	36.06	-310.42	622.45	Cond. Norm. Eserc.
2	951.82	14.85	37.06	-310.42	1 247.12	
3	893.37	14.85	37.06	-310.42	1 429.81	
4	951.82	37.05	19.68	-774.63	839.53	
5	893.37	37.05	19.68	-774.63	1 022.22	
<i>Perm.</i>	6.7	642.83	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	107.99	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-107.99	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	64.80	1 228.96	
<i>Perm.</i>	8.9	642.83	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	107.99	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-107.99	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	64.80	0.00	-1 228.96	

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

$$h_{zattera} = 0.88 \text{ m}$$

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	1 125.06	14.85	36.06	-323.41	654.01	Cond. Norm. Eserc.
2	1 434.06	14.85	37.06	-323.41	1 279.55	
3	1 375.60	14.85	37.06	-323.41	1 462.24	
4	1 434.06	37.05	19.68	-807.04	856.75	
5	1 375.60	37.05	19.68	-807.04	1 039.44	

<i>Perm.</i>	6.7	1 125.06	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	189.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-189.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	113.41	0.00	1 354.93	
<i>Perm.</i>	8.9	1 125.06	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	189.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-189.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	113.41	0.00	-1 354.93	0.00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 28$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
8.00	10.00	0.88

Area fondazione  $80.00 \text{ m}^2$

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

X	Y
0.00	0.00

Baricentro palificata

$X_G$	$Y_G$
0.00	0.00

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

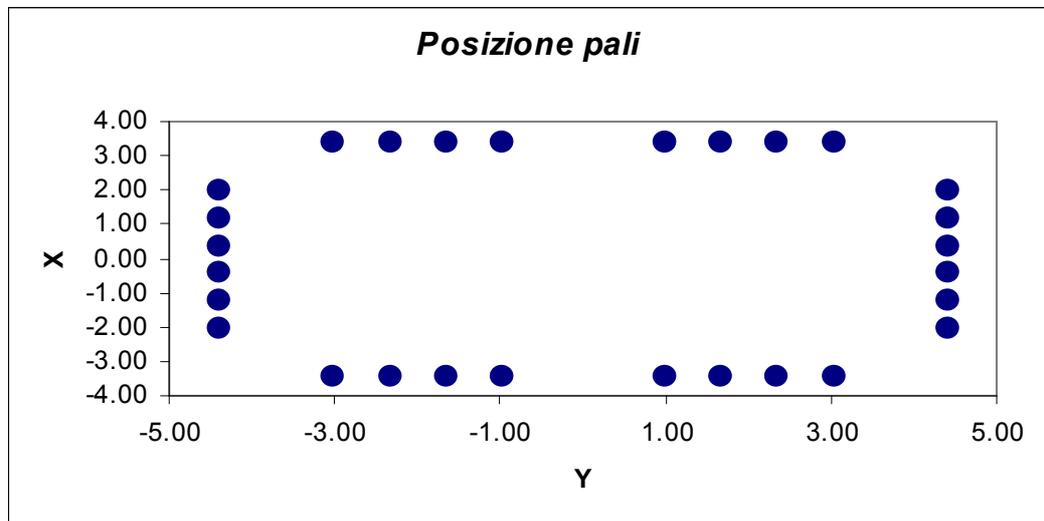
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
207.8	305.567

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X<sub>g</sub>,Y<sub>g</sub>):

Pali	X (m)	Y (m)	X <sub>Gi</sub> (m)	Y <sub>Gi</sub> (m)	W <sub>I</sub> (m)	W <sub>t</sub> (m)
1	3.40	3.02	3.40	3.02	61.12	101.19
2	3.40	2.34	3.40	2.34	61.12	130.58
3	3.40	1.66	3.40	1.66	61.12	184.05
4	3.40	0.98	3.40	0.98	61.12	311.74
5	3.40	-0.98	3.40	-0.98	61.12	-311.74
6	3.40	-1.66	3.40	-1.66	61.12	-184.05
7	3.40	-2.34	3.40	-2.34	61.12	-130.58
8	3.40	-3.02	3.40	-3.02	61.12	-101.19
9	2.02	4.40	2.02	4.40	102.88	69.45
10	2.02	-4.40	2.02	-4.40	102.88	-69.45
11	1.21	4.40	1.21	4.40	171.48	69.45
12	1.21	-4.40	1.21	-4.40	171.48	-69.45
13	0.40	4.40	0.40	4.40	514.50	69.45
14	0.40	-4.40	0.40	-4.40	514.50	-69.45
15	-0.40	4.40	-0.40	4.40	-514.50	69.45
16	-0.40	-4.40	-0.40	-4.40	-514.50	-69.45
17	-1.21	4.40	-1.21	4.40	-171.48	69.45
18	-1.21	-4.40	-1.21	-4.40	-171.48	-69.45
19	-2.02	4.40	-2.02	4.40	-102.88	69.45
20	-2.02	-4.40	-2.02	-4.40	-102.88	-69.45
21	-3.40	0.98	-3.40	0.98	-61.12	311.74
22	-3.40	1.66	-3.40	1.66	-61.12	184.05
23	-3.40	2.34	-3.40	2.34	-61.12	130.58
24	-3.40	3.02	-3.40	3.02	-61.12	101.19
25	-3.40	-0.98	-3.40	-0.98	-61.12	-311.74
26	-3.40	-1.66	-3.40	-1.66	-61.12	-184.05
27	-3.40	-2.34	-3.40	-2.34	-61.12	-130.58
28	-3.40	-3.02	-3.40	-3.02	-61.12	-101.19
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

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:

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

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

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	1 125.06	14.85	36.06	-323.41	654.01	Eserc.
2	1 434.06	14.85	37.06	-323.41	1 279.55	
3	1 375.60	14.85	37.06	-323.41	1 462.24	
4	1 434.06	37.05	19.68	-807.04	856.75	
5	1 375.60	37.05	19.68	-807.04	1 039.44	
Perm.	6.7	1 125.06	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	189.01	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-189.01	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	7.8	0.00	0.00	113.41	1 354.93	
Perm.	8.9	1 125.06	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	189.01	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-189.01	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	113.41	0.00	-1 354.93	

Al fine di ottenere gli sforzi assiali in testa ai pali si adoterà 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  $\beta_i = 2$  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	51.9	69.2	68.9	72.9	72.6	60.3	46.8	69.1	55.6
2	50.5	66.3	65.6	71.0	70.3	57.3	43.8	69.1	55.6
3	49.0	63.5	62.4	69.1	68.0	54.3	40.8	69.1	55.6
4	47.6	60.6	59.1	67.2	65.7	51.3	37.8	69.1	55.6
5	43.4	52.4	49.7	61.7	59.0	42.6	29.1	69.1	55.6
6	41.9	49.6	46.5	59.8	56.7	39.6	26.1	69.1	55.6
7	40.5	46.7	43.2	57.9	54.4	36.6	23.1	69.1	55.6
8	39.0	43.9	40.0	56.0	52.1	33.5	20.0	69.1	55.6
9	52.7	72.8	73.3	71.4	71.9	66.4	52.9	60.1	46.6
10	33.9	35.9	31.2	46.7	42.0	27.4	13.9	60.1	46.6
11	51.5	71.5	72.1	68.3	68.8	66.4	52.9	54.8	41.3
12	32.6	34.7	30.0	43.6	38.9	27.4	13.9	54.8	41.3
13	50.2	70.3	70.8	65.1	65.7	66.4	52.9	49.6	36.1
14	31.4	33.4	28.7	40.4	35.7	27.4	13.9	49.6	36.1
15	49.0	69.0	69.6	62.0	62.5	66.4	52.9	44.3	30.8
16	30.1	32.2	27.4	37.3	32.6	27.4	13.9	44.3	30.8
17	47.7	67.8	68.3	58.8	59.4	66.4	52.9	39.0	25.5
18	28.9	30.9	26.2	34.2	29.5	27.4	13.9	39.0	25.5
19	46.5	66.5	67.0	55.7	56.3	66.4	52.9	33.8	20.3
20	27.6	29.6	24.9	31.0	26.3	27.4	13.9	33.8	20.3
21	37.0	50.0	48.5	40.8	39.3	51.3	37.8	24.8	11.3
22	38.4	52.9	51.8	42.7	41.6	54.3	40.8	24.8	11.3
23	39.9	55.7	55.0	44.6	43.9	57.3	43.8	24.8	11.3
24	41.4	58.6	58.3	46.5	46.2	60.3	46.8	24.8	11.3
25	32.8	41.8	39.1	35.3	32.6	42.6	29.1	24.8	11.3
26	31.3	39.0	35.9	33.4	30.3	39.6	26.1	24.8	11.3
27	29.9	36.1	32.6	31.5	28.0	36.6	23.1	24.8	11.3
28	28.4	33.3	29.4	29.5	25.7	33.5	20.0	24.8	11.3
29									
30									
31									
32									

Sollecitazione max sui pali di fondazione $N_{\max}$	73.3	t
Sollecitazione min sui pali di fondazione $N_{\min}$	11.3	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> (t)	H <sub>t</sub> (t)
1	14.8	36.1
2	14.8	37.1
3	14.8	37.1
4	37.0	19.7
5	37.0	19.7
6	0.0	113.4
7	0.0	113.4
8	113.4	0.0
9	113.4	0.0

T <sub>l</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
0.53	1.29	1.39
0.53	1.32	1.43
0.53	1.32	1.43
1.32	0.70	1.50
1.32	0.70	1.50
0.00	4.05	4.05
0.00	4.05	4.05
4.05	0.00	4.05
4.05	0.00	4.05

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 4.05 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
69.1	N <sub>max</sub>	73.3
11.3	N <sub>min</sub>	24.9
4.1	T <sub>max</sub>	1.5

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

$$\begin{aligned}\phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 22.0 & \text{cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 & \text{t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 & \text{kg/cm}^2\end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 1.190 \text{ m}$$

da cui

$$M_{\max} = 2.41042 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{\max} = 52.8 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 3.4 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Diametro esterno tubo acciaio} = 15.90 \text{ cm}$$

$$\text{Spessore tubo acciaio} = 1.25 \text{ cm}$$

$$\text{Diametro interno tubo acciaio} = 13.4 \text{ cm}$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2\,400 \text{ kg/cm}^2$$

**Verifica con sforzo normale massimo**

A = 57.53 cm<sup>2</sup>  
J = 1554.65 cm<sup>4</sup>  
W = 195.55 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 2 150.82 kg/cm<sup>2</sup>

**Verifica con sforzo normale minimo**

A = 57.53 cm<sup>2</sup>  
J = 1554.65 cm<sup>4</sup>  
W = 195.55 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 1 292.20 kg/cm<sup>2</sup>

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

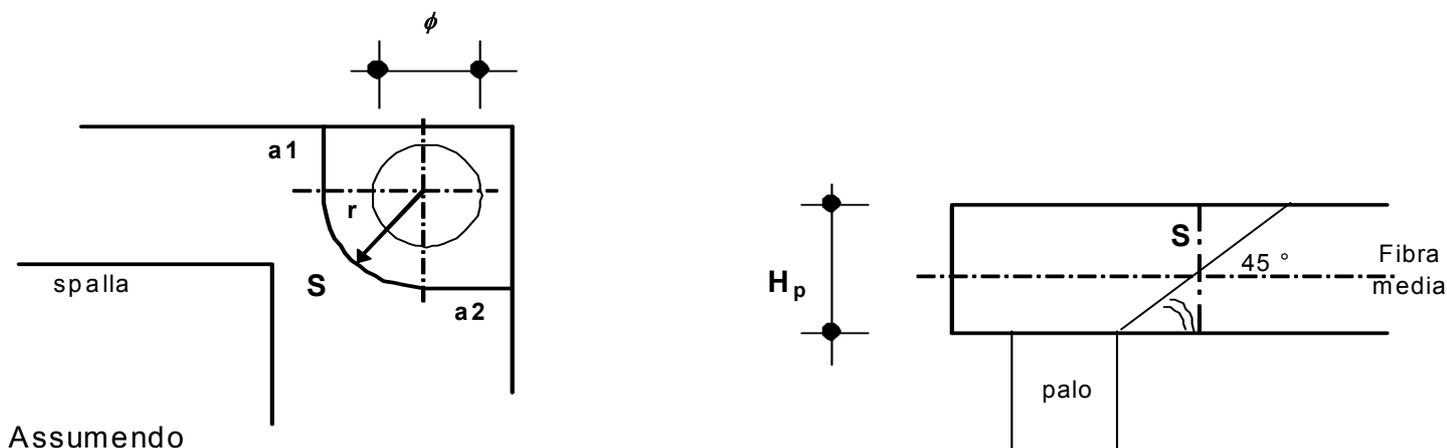
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 72.89 \text{ t}$$

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:



$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 0.55 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r / 2 + a2) = 2.50 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 2.91 \text{ kg/cm}^2$$

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 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: GENERICA

Cls:

Acciaio lento:

vert.	Z	Y	ferro	Z	Y	d[mm]	Af[cm <sup>2</sup> ]
1_1	0.	0.	1	344.6	0.	26.	5.3093
1_2	175.	175.	2	343.9	15.	26.	5.3093
1_3	350.	0.	3	342.	29.9	26.	5.3093
1_4	175.	-175.	4	338.7	44.5	26.	5.3093
2_1	33.	0.	5	334.1	58.8	26.	5.3093
2_2	175.	-142.	6	328.3	72.6	26.	5.3093
2_3	317.	0.	7	321.3	85.9	26.	5.3093
2_4	175.	142.	8	313.1	98.5	26.	5.3093
			9	303.8	110.3	26.	5.3093
			10	293.6	121.2	26.	5.3093
			11	282.4	131.2	26.	5.3093
			12	270.4	140.2	26.	5.3093
			13	257.6	148.1	26.	5.3093
			14	244.2	154.8	26.	5.3093
			15	230.3	160.3	26.	5.3093
			16	215.9	164.6	26.	5.3093
			17	201.2	167.6	26.	5.3093
			18	186.3	169.2	26.	5.3093
			19	171.3	169.6	26.	5.3093
			20	156.3	168.6	26.	5.3093
			21	141.5	166.3	26.	5.3093
			22	126.9	162.6	26.	5.3093
			23	112.7	157.8	26.	5.3093
			24	99.	151.6	26.	5.3093
			25	85.9	144.3	26.	5.3093
			26	73.5	135.9	26.	5.3093
			27	61.9	126.4	26.	5.3093
			28	51.2	115.9	26.	5.3093
			29	41.4	104.5	26.	5.3093
			30	32.7	92.3	26.	5.3093
			31	25.1	79.4	26.	5.3093

32	18.7	65.8	26.	5.3093
33	13.5	51.7	26.	5.3093
34	9.5	37.3	26.	5.3093
35	6.9	22.5	26.	5.3093
36	5.6	7.5	26.	5.3093
37	5.6	-7.5	26.	5.3093
38	6.9	-22.4	26.	5.3093
39	9.5	-37.2	26.	5.3093
40	13.5	-51.6	26.	5.3093
41	18.7	-65.7	26.	5.3093
42	25.1	-79.3	26.	5.3093
43	32.7	-92.2	26.	5.3093
44	41.4	-104.4	26.	5.3093
45	51.1	-115.8	26.	5.3093
46	61.8	-126.3	26.	5.3093
47	73.5	-135.8	26.	5.3093
48	85.9	-144.3	26.	5.3093
49	99.	-151.6	26.	5.3093
50	112.6	-157.7	26.	5.3093
51	126.8	-162.6	26.	5.3093
52	141.4	-166.2	26.	5.3093
53	156.2	-168.6	26.	5.3093
54	171.2	-169.6	26.	5.3093
55	186.2	-169.2	26.	5.3093
56	201.1	-167.6	26.	5.3093
57	215.8	-164.6	26.	5.3093
58	230.2	-160.4	26.	5.3093
59	244.1	-154.9	26.	5.3093
60	257.6	-148.1	26.	5.3093
61	270.3	-140.3	26.	5.3093
62	282.4	-131.3	26.	5.3093
63	293.5	-121.3	26.	5.3093
64	303.8	-110.3	26.	5.3093
65	313.	-98.5	26.	5.3093
66	321.2	-86.	26.	5.3093
67	328.2	-72.7	26.	5.3093
68	334.1	-58.9	26.	5.3093
69	338.6	-44.6	26.	5.3093
70	341.9	-29.9	26.	5.3093
71	343.9	-15.1	26.	5.3093

SOLLECITAZIONI AGENTI

Sforzi normali applicati in  $z=175.$  ;  $y=0.$  (baricentro CLS)  
 Convenzioni: N + trazione; Mz + fib.inferiori tese; My + fib.sinistra  
 tese.

N.	N	Mz	My	Sollecitaz. ultima
1	-951820	31042000	124712000	
2	-750820	0	147476000	

RISULTATI

Piani di equilibrio (eps= muz \* y +muy \* z + lam):

Sol.	muz	muy	lambda
1	-.00000023985	-.00000096367	.00012631314
2	0.	-.00000154069	.00029157165

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls			Acciaio lento		
	vert.	S cls	Ve	ferro	S ferri	Ve
1	1- 3	-75.9	<b>si</b>	4	-1137.9	<b>si</b>
2	1- 3	-89.2	<b>si</b>	37	1528.2	<b>si</b>

## Calcolo della Pila 32

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	0.88	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	8.00	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	10.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.30	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 $h_{bagg}$	0.52	m
Pulvino $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	22.63	m

#### *Sezioni in pianta*

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	3.29	$m^2$

#### *Baricentri*

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	11.32	m

#### *Momenti d'inerzia*

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	4.17	$m^4$
---	------	-------

#### *Prospetti longitudinali*

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	23.01	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	11.50	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:

$$\lambda = 45.31$$

## **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:

$$N_{app} = 494.86 \quad t$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 309.02 & t \\ M_t & 495.89 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 250.55 & t \\ M_t & 678.58 & t \cdot m \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
17.74	18.36

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
43.45	110.39

### **### 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:

n° campate collegate 1

lunghezza complessiva campate collegate 34.035 m

$$H_{f1,a} = 0,10 * (3 * 20 + 3 * (\text{lunghezza compless. campate collegate} - 9)) = 13.5105 \text{ t}$$

$$H_{f1,b} = 0,20 * (3 * 20 * (1 + 0,5 + 0,35)) = 22.2 \text{ t} \quad (3 \text{ colonne di carico})$$

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \text{ t}$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 14.85 \text{ t}$$

### **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

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

$W_h$

CARICHI PERMANENTI

S

grado di sismicità

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

coefficiente di intensità sismica

$$R = 1.00$$

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

$$\varepsilon = 1.20$$

coefficiente di fondazione

$$\beta = 1.20$$

coefficiente di struttura ISOSTATICA

$$I = 1.20$$

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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
494.86	59.86	61.95	83.14

### ### 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)	
495	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
59.86	-61.95

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  $M_{s,l}$ :

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

$W$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
494.86	83.14

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	17.74	0.00	18.36
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
TOT	494.86	14.85	17.74	0.00	18.36

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	309.02	0.00	0.00	0.00	495.89
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	26.07	0.00	66.23
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
TOT	803.87	14.85	26.07	0.00	562.12

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	250.55	0.00	0.00	0.00	678.58
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	26.07	0.00	66.23
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
TOT	745.41	14.85	26.07	0.00	744.81

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	309.02	0.00	0.00	0.00	495.89
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	8.69	0.00	22.08
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>803.87</b>	<b>37.05</b>	<b>8.69</b>	<b>0.00</b>	<b>517.96</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	250.55	0.00	0.00	0.00	678.58
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	8.69	0.00	22.08
Attrito * 1.00	0.00	14.85	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>745.41</b>	<b>37.05</b>	<b>8.69</b>	<b>0.00</b>	<b>700.66</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	59.86	0.00	61.95
Sisma vert. +	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>577.99</b>	<b>0.00</b>	<b>59.86</b>	<b>0.00</b>	<b>61.95</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	59.86	0.00	61.95
Sisma vert. -	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>411.72</b>	<b>0.00</b>	<b>59.86</b>	<b>0.00</b>	<b>61.95</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	59.86	0.00	-61.95	0.00
Sisma vert. +	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>577.99</b>	<b>59.86</b>	<b>0.00</b>	<b>-61.95</b>	<b>0.00</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	59.86	0.00	-61.95	0.00
Sisma vert. -	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>411.72</b>	<b>59.9</b>	<b>0.00</b>	<b>-62.0</b>	<b>0.00</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					
<b>COMB.</b>	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
1	494.86	14.85	17.74	0.00	18.36
2	803.87	14.85	26.07	0.00	562.12
3	745.41	14.85	26.07	0.00	744.81
4	803.87	37.05	8.69	0.00	517.96
5	745.41	37.05	8.69	0.00	700.66

<i>Perm.</i> <i>Vert. +</i> <i>Vert. -</i> <i>Orizz.</i>	6.7	494.86	0.00	0.00	0.00	Eserc.	
	6	83.14	0.00	0.00	0.00		
	7	-83.14	0.00	0.00	0.00		
	6.7	0.00	0.00	59.86	0.00		61.95
	6.7	0.00	0.00	59.86	0.00		61.95
<i>Perm.</i> <i>Vert. +</i> <i>Vert. -</i> <i>Orizz.</i>	8.9	494.86	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.	
	8	83.14	0.00	0.00	0.00		
	9	-83.14	0.00	0.00	0.00		
	8.9	0.00	59.86	0.00	-61.95		0.00
<i>Perm.</i> <i>Vert. +</i> <i>Vert. -</i> <i>Orizz.</i>	8.9	494.86	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.	
	8	83.14	0.00	0.00	0.00		
	9	-83.14	0.00	0.00	0.00		
	8.9	0.00	59.86	0.00	-61.95		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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	0.00	0.00
Fusto pila	185.93	11.32
	185.93	11.32

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	22.49	11.32	-254.47
	22.49		-254.47

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	22.49	11.32	254.47
	22.49		254.47

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	185.93	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	22.49	0.00	-254.47	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	22.49	0.00	254.47
Sisma vert. + Incr. peso	31.24	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-31.24	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

$$A_r = 88.75 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 15.13 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	88.75	22.19	15.13	335.70

## 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.

$$e_v = -25.53 \text{ m}$$

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

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

(momenti positivi se antiorari)

Azioni impalcato rispetto baric. pila (estradosso zattera)						
COMB.	N (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	494.86	14.85	17.74	-379.01	471.29	Cond. Norm. Eserc.
2	803.87	14.85	26.07	-379.01	1227.72	
3	745.41	14.85	26.07	-379.01	1410.42	
4	803.87	37.05	8.69	-945.78	739.83	
5	745.41	37.05	8.69	-945.78	922.53	

Perm.	6.7	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	59.86	0.00	1590.12	
Perm.	8.9	494.86	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-83.14	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	59.86	0.00	-1590.12	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	680.78	14.85	39.93	-379.01	806.99	Cond. Norm. Eserc.
2	989.80	14.85	39.38	-379.01	1 429.14	
3	931.34	14.85	39.38	-379.01	1 611.84	
4	989.80	37.05	22.00	-945.78	941.25	
5	931.34	37.05	22.00	-945.78	1 123.95	

Perm.	6.7	680.78	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	114.37	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-114.37	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	82.35	0.00	1 844.60	
Perm.	8.9	680.78	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	114.37	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-114.37	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	82.35	0.00	-1 844.60	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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Zattera	175.00	0.44
Terreno portato	334.85	2.09
	509.85	1.52

**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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Zattera	17.64	0.44	-7.72
Terreno portato	33.75	2.09	-70.46
	51.39		-78.18

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	17.64	0.44	7.72
Terreno portato	33.75	2.09	70.46
	51.39		78.18

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	509.85	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	51.39	0.00	-78.18	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	51.39	0.00	78.18
Sisma vert. + Incr. peso	85.66	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-85.66	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	680.78	14.85	39.93	-379.01	806.99	Cond. Norm. Eserc.
2	989.80	14.85	39.38	-379.01	1 429.14	
3	931.34	14.85	39.38	-379.01	1 611.84	
4	989.80	37.05	22.00	-945.78	941.25	
5	931.34	37.05	22.00	-945.78	1 123.95	
<i>Perm.</i>	6.7	680.78	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	114.37	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-114.37	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	68.62	1 537.16	
<i>Perm.</i>	8.9	680.78	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	114.37	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-114.37	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	68.62	0.00	-1 537.16	

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

$$h_{zattera} = 0.88 \text{ m}$$

Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera)						Cond. Norm. Eserc.
	<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	1 190.64	14.85	39.93	-392.00	841.92	
2	1 499.66	14.85	39.38	-392.00	1 463.60	
3	1 441.19	14.85	39.38	-392.00	1 646.30	
4	1 499.66	37.05	22.00	-978.19	960.50	
5	1 441.19	37.05	22.00	-978.19	1 143.20	

<i>Perm.</i>	6.7	1 190.64	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	200.03	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-200.03	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	120.02	0.00	1 675.39	
<i>Perm.</i>	8.9	1 190.64	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	200.03	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-200.03	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	120.02	0.00	-1 675.39	0.00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 28$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
8.00	10.00	0.88

Area fondazione  $80.00 \text{ m}^2$

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.

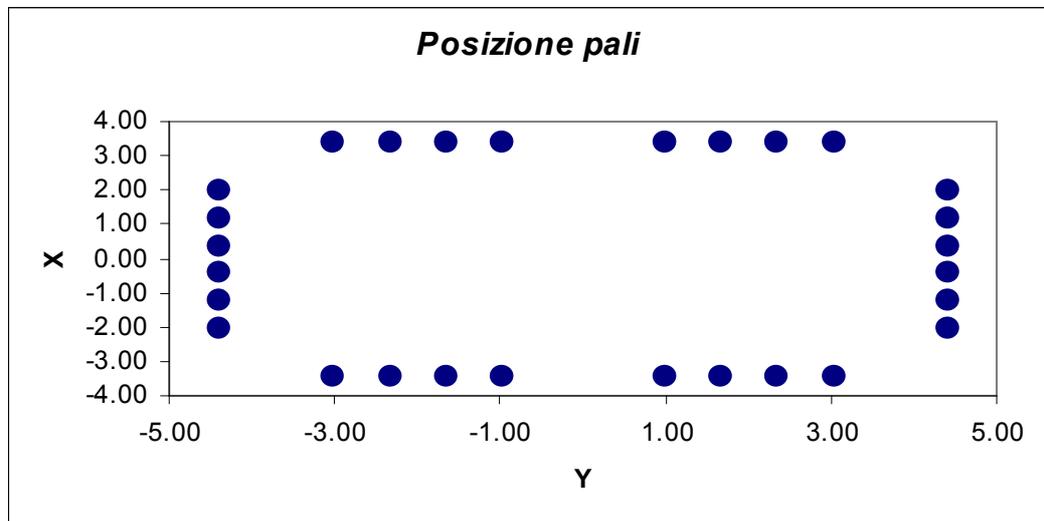
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
207.8	305.567

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X<sub>G</sub>,Y<sub>G</sub>):

Pali	X (m)	Y (m)	X <sub>Gi</sub> (m)	Y <sub>Gi</sub> (m)	W <sub>I</sub> (m)	W <sub>t</sub> (m)
1	3.40	3.02	3.40	3.02	61.12	101.19
2	3.40	2.34	3.40	2.34	61.12	130.58
3	3.40	1.66	3.40	1.66	61.12	184.05
4	3.40	0.98	3.40	0.98	61.12	311.74
5	3.40	-0.98	3.40	-0.98	61.12	-311.74
6	3.40	-1.66	3.40	-1.66	61.12	-184.05
7	3.40	-2.34	3.40	-2.34	61.12	-130.58
8	3.40	-3.02	3.40	-3.02	61.12	-101.19
9	2.02	4.40	2.02	4.40	102.88	69.45
10	2.02	-4.40	2.02	-4.40	102.88	-69.45
11	1.21	4.40	1.21	4.40	171.48	69.45
12	1.21	-4.40	1.21	-4.40	171.48	-69.45
13	0.40	4.40	0.40	4.40	514.50	69.45
14	0.40	-4.40	0.40	-4.40	514.50	-69.45
15	-0.40	4.40	-0.40	4.40	-514.50	69.45
16	-0.40	-4.40	-0.40	-4.40	-514.50	-69.45
17	-1.21	4.40	-1.21	4.40	-171.48	69.45
18	-1.21	-4.40	-1.21	-4.40	-171.48	-69.45
19	-2.02	4.40	-2.02	4.40	-102.88	69.45
20	-2.02	-4.40	-2.02	-4.40	-102.88	-69.45
21	-3.40	0.98	-3.40	0.98	-61.12	311.74
22	-3.40	1.66	-3.40	1.66	-61.12	184.05
23	-3.40	2.34	-3.40	2.34	-61.12	130.58
24	-3.40	3.02	-3.40	3.02	-61.12	101.19
25	-3.40	-0.98	-3.40	-0.98	-61.12	-311.74
26	-3.40	-1.66	-3.40	-1.66	-61.12	-184.05
27	-3.40	-2.34	-3.40	-2.34	-61.12	-130.58
28	-3.40	-3.02	-3.40	-3.02	-61.12	-101.19
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

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:

$$M_I = M_I + (N * e_{I,pali})$$

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

		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	1 190.64	14.85	39.93	-392.00	841.92	Eserc.
	2	1 499.66	14.85	39.38	-392.00	1 463.60	
	3	1 441.19	14.85	39.38	-392.00	1 646.30	
	4	1 499.66	37.05	22.00	-978.19	960.50	
	5	1 441.19	37.05	22.00	-978.19	1 143.20	
<i>Perm.</i>	6.7	1 190.64	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	200.03	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-200.03	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	120.02	0.00	1 675.39	
<i>Perm.</i>	8.9	1 190.64	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	200.03	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-200.03	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	120.02	0.00	-1 675.39	0.00	

Al fine di ottenere gli sforzi assiali in testa ai pali si adoterà 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:

$$N_{palo} = (N + \alpha_N (N_v^{\beta_N} + N_o^{\beta_N})^{1/\beta_N}) / n^{\circ} \text{ pali} + (M_I + \alpha_{M_I} (M_{I,v}^{\beta_{M_I}} + M_{I,o}^{\beta_{M_I}})^{1/\beta_{M_I}}) / W_I + (M_t + \alpha_{M_t} (M_{t,v}^{\beta_{M_t}} + M_{t,o}^{\beta_{M_t}})^{1/\beta_{M_t}}) / W_t$$

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  $\beta_i = 2$  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	57.3	74.4	74.2	79.1	78.8	66.2	51.9	77.1	62.8
2	55.4	71.2	70.5	76.9	76.2	62.5	48.2	77.1	62.8
3	53.5	67.9	66.8	74.8	73.7	58.8	44.5	77.1	62.8
4	51.6	64.7	63.2	72.6	71.1	55.0	40.8	77.1	62.8
5	46.2	55.3	52.6	66.5	63.8	44.3	30.0	77.1	62.8
6	44.4	52.0	48.9	64.3	61.3	40.6	26.3	77.1	62.8
7	42.5	48.8	45.3	62.2	58.7	36.8	22.5	77.1	62.8
8	40.6	45.5	41.6	60.1	56.2	33.1	18.8	77.1	62.8
9	58.5	78.4	79.0	76.9	77.4	73.8	59.5	66.0	51.7
10	34.2	36.3	31.6	49.2	44.5	25.5	11.3	66.0	51.7
11	56.9	76.9	77.5	73.1	73.6	73.8	59.5	59.4	45.1
12	32.7	34.8	30.1	45.4	40.7	25.5	11.3	59.4	45.1
13	55.4	75.4	75.9	69.3	69.8	73.8	59.5	52.9	38.6
14	31.2	33.2	28.5	41.6	36.9	25.5	11.3	52.9	38.6
15	53.9	73.9	74.4	65.5	66.0	73.8	59.5	46.4	32.1
16	29.6	31.7	27.0	37.8	33.1	25.5	11.3	46.4	32.1
17	52.4	72.3	72.9	61.7	62.2	73.8	59.5	39.9	25.6
18	28.1	30.2	25.5	34.0	29.3	25.5	11.3	39.9	25.6
19	50.8	70.8	71.4	57.9	58.4	73.8	59.5	33.4	19.1
20	26.6	28.7	24.0	30.2	25.5	25.5	11.3	33.4	19.1
21	38.8	51.8	50.3	40.6	39.1	55.0	40.8	22.3	8.0
22	40.7	55.1	54.0	42.8	41.7	58.8	44.5	22.3	8.0
23	42.6	58.4	57.7	44.9	44.2	62.5	48.2	22.3	8.0
24	44.4	61.6	61.3	47.0	46.8	66.2	51.9	22.3	8.0
25	33.4	42.5	39.8	34.5	31.8	44.3	30.0	22.3	8.0
26	31.5	39.2	36.1	32.3	29.3	40.6	26.3	22.3	8.0
27	29.7	35.9	32.5	30.2	26.7	36.8	22.5	22.3	8.0
28	27.8	32.7	28.8	28.1	24.2	33.1	18.8	22.3	8.0
29									
30									
31									
32									

Sollecitazione max sui pali di fondazione $N_{\max}$	79.1	t
Sollecitazione min sui pali di fondazione $N_{\min}$	8.0	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>i</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)
1	14.8	39.9
2	14.8	39.4
3	14.8	39.4
4	37.0	22.0
5	37.0	22.0
6	0.0	120.0
7	0.0	120.0
8	120.0	0.0
9	120.0	0.0

T <sub>i</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
0.53	1.43	1.52
0.53	1.41	1.50
0.53	1.41	1.50
1.32	0.79	1.54
1.32	0.79	1.54
0.00	4.29	4.29
0.00	4.29	4.29
4.29	0.00	4.29
4.29	0.00	4.29

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 4.29$  t

PALI		
SISM		ESER
77.1	N <sub>max</sub>	79.1
8.0	N <sub>min</sub>	24.0
4.3	T <sub>max</sub>	1.5

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

$$\begin{aligned}\phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 22.0 & \text{cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 & \text{t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 & \text{kg/cm}^2\end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 1.190 \text{ m}$$

da cui

$$M_{\max} = 2.55091 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{\max} = 59.5 \text{ t}$$

$$N_{\min} = 0.1 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Diametro esterno tubo acciaio} = 15.90 \text{ cm}$$

$$\text{Spessore tubo acciaio} = 1.25 \text{ cm}$$

$$\text{Diametro interno tubo acciaio} = 13.4 \text{ cm}$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2\,400 \text{ kg/cm}^2$$

**Verifica con sforzo normale massimo**

A = 57.53 cm<sup>2</sup>  
J = 1554.65 cm<sup>4</sup>  
W = 195.55 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 2 338.06 kg/cm<sup>2</sup>

**Verifica con sforzo normale minimo**

A = 57.53 cm<sup>2</sup>  
J = 1554.65 cm<sup>4</sup>  
W = 195.55 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 1 305.64 kg/cm<sup>2</sup>

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

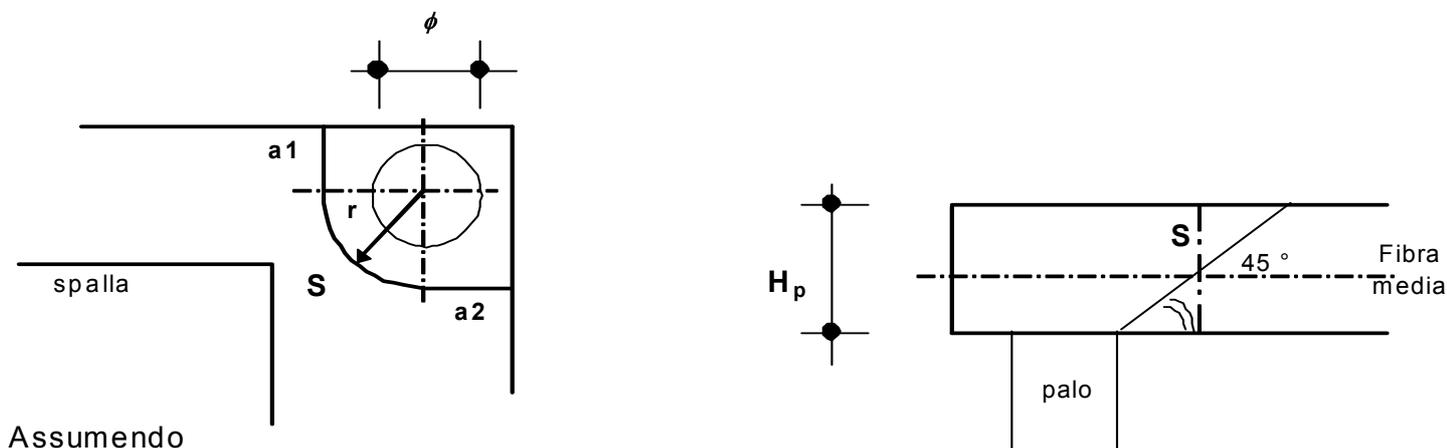
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 79.06 \text{ t}$$

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

$$\begin{aligned} a1 &= 1.00 \text{ m} \\ a2 &= 1.00 \text{ m} \\ r &= 0.55 \text{ m} \end{aligned}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a1 + \pi \cdot r / 2 + a2) = 2.50 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 3.16 \text{ kg/cm}^2$$

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 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: GENERICA

Cls:

Acciaio lento:

vert.	Z	Y	ferro	Z	Y	d[mm]	Af[cm <sup>2</sup> ]
1_1	0.	0.	1	344.6	0.	26.	5.3093
1_2	175.	175.	2	343.9	15.	26.	5.3093
1_3	350.	0.	3	342.	29.9	26.	5.3093
1_4	175.	-175.	4	338.7	44.5	26.	5.3093
2_1	33.	0.	5	334.1	58.8	26.	5.3093
2_2	175.	-142.	6	328.3	72.6	26.	5.3093
2_3	317.	0.	7	321.3	85.9	26.	5.3093
2_4	175.	142.	8	313.1	98.5	26.	5.3093
			9	303.8	110.3	26.	5.3093
			10	293.6	121.2	26.	5.3093
			11	282.4	131.2	26.	5.3093
			12	270.4	140.2	26.	5.3093
			13	257.6	148.1	26.	5.3093
			14	244.2	154.8	26.	5.3093
			15	230.3	160.3	26.	5.3093
			16	215.9	164.6	26.	5.3093
			17	201.2	167.6	26.	5.3093
			18	186.3	169.2	26.	5.3093
			19	171.3	169.6	26.	5.3093
			20	156.3	168.6	26.	5.3093
			21	141.5	166.3	26.	5.3093
			22	126.9	162.6	26.	5.3093
			23	112.7	157.8	26.	5.3093
			24	99.	151.6	26.	5.3093
			25	85.9	144.3	26.	5.3093
			26	73.5	135.9	26.	5.3093
			27	61.9	126.4	26.	5.3093
			28	51.2	115.9	26.	5.3093
			29	41.4	104.5	26.	5.3093
			30	32.7	92.3	26.	5.3093
			31	25.1	79.4	26.	5.3093

32	18.7	65.8	26.	5.3093
33	13.5	51.7	26.	5.3093
34	9.5	37.3	26.	5.3093
35	6.9	22.5	26.	5.3093
36	5.6	7.5	26.	5.3093
37	5.6	-7.5	26.	5.3093
38	6.9	-22.4	26.	5.3093
39	9.5	-37.2	26.	5.3093
40	13.5	-51.6	26.	5.3093
41	18.7	-65.7	26.	5.3093
42	25.1	-79.3	26.	5.3093
43	32.7	-92.2	26.	5.3093
44	41.4	-104.4	26.	5.3093
45	51.1	-115.8	26.	5.3093
46	61.8	-126.3	26.	5.3093
47	73.5	-135.8	26.	5.3093
48	85.9	-144.3	26.	5.3093
49	99.	-151.6	26.	5.3093
50	112.6	-157.7	26.	5.3093
51	126.8	-162.6	26.	5.3093
52	141.4	-166.2	26.	5.3093
53	156.2	-168.6	26.	5.3093
54	171.2	-169.6	26.	5.3093
55	186.2	-169.2	26.	5.3093
56	201.1	-167.6	26.	5.3093
57	215.8	-164.6	26.	5.3093
58	230.2	-160.4	26.	5.3093
59	244.1	-154.9	26.	5.3093
60	257.6	-148.1	26.	5.3093
61	270.3	-140.3	26.	5.3093
62	282.4	-131.3	26.	5.3093
63	293.5	-121.3	26.	5.3093
64	303.8	-110.3	26.	5.3093
65	313.	-98.5	26.	5.3093
66	321.2	-86.	26.	5.3093
67	328.2	-72.7	26.	5.3093
68	334.1	-58.9	26.	5.3093
69	338.6	-44.6	26.	5.3093
70	341.9	-29.9	26.	5.3093
71	343.9	-15.1	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	-989800	37901000	142914000	
2	-795160	0	184460000	

RISULTATI

Piani di equilibrio (eps= muz \* y +muy \* z + lam):

Sol.	muz	muy	lambda
1	-.0000003205	-.00000120856	.00018208107
2	0.	-.00000212908	.00043557927

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls			Acciaio lento		
	vert.	S cls	Ve	ferro	S ferri	Ve
1	1- 3	-86.7	<b>si</b>	4	-1303.9	<b>si</b>
2	1- 3	-111.5	<b>si</b>	37	2288.2	<b>si</b>

## Calcolo della Pila 34

### GEOMETRIA DELLA PILA

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

#### ### ZATTERA

Altezza $h_{zattera}$	0.88	m
Dimensione longitudinale $L_{long}$	8.00	m
Dimensione trasversale $L_{trasv}$	10.00	m
Profondità intradosso zattera dal p.c.	3.40	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 $h_{pulvino}$	2.90	m
Fusto pila $h_{pila}$	24.04	m

#### *Sezioni in pianta*

Baggiolo $A_{bagg}$	1.56	$m^2$
n° totale baggioli	2	
Valore medio pulvino $A_{m,pl}$	23.68	$m^2$
Area fusto pila allo spiccato pila	3.29	$m^2$

#### *Baricentri*

Altezza baric. pulvino da spiccato pulvino	1.24	m
Altezza baric. fusto pila da spiccato fusto pila	12.02	m

#### *Momenti d'inerzia*

Momento d'inerzia della sezione trasv. pila lungo asse trasv.	4.17	$m^4$
---	------	-------

#### *Prospetti longitudinali*

Larghezza media pulvino $L_{long,pulv}$	2.84	m
Altezza baric. prospetto pulvino da spiccato pulvino	1.45	m
Larghezza fusto pila $L_{long,pila}$	3.50	m
Altezza fusto pila dal p.c.	24.32	m
Altezza baric. prospetto fusto pila dal p.c.	12.16	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:

$$\lambda = 47.82$$

## **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:

$$N_{app} = 569.45 \quad t$$

### ### 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:

$$\begin{array}{lll} N & 319.50 & t \\ M_t & 512.71 & t \cdot m \end{array}$$

*DISP. 2* Max momento trasversale  $M_t$

In totale per la disposizione 2 si ha:

$$\begin{array}{lll} N & 259.05 & t \\ M_t & 701.60 & t \cdot m \end{array}$$

## 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

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
19.89	20.58

(2) Impalcato carico

$H_t$ (t)	$M_t$ (t*m)
48.71	123.75

### **### 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:

$$\begin{aligned} \text{n° campate collegate} & \quad 1 \\ \text{lunghezza complessiva campate collegate} & \quad 33.91 \quad \text{m} \\ H_{f1,a} & = 0,10 * (3 * 20 + 3 * (\text{lunghezza compless. campate collegate} - 9)) = 13.473 \quad \text{t} \\ H_{f1,b} & = 0,20 * (3 * 20 * (1 + 0,5 + 0,35)) = 22.2 \quad \text{t} \quad (3 \text{ colonne di carico}) \end{aligned}$$

La forza di frenatura  $H_f$  è dunque pari a:

$$H_f = 22.2 \quad \text{t}$$

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

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

$$H_l = N_{app} * k_{att} = 17.08 \quad \text{t}$$

### **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

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

$W_h$

CARICHI PERMANENTI

S

grado di sismicità

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

coefficiente di intensità sismica

$$R = 1.00$$

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

$$\varepsilon = 1.20$$

coefficiente di fondazione

$$\beta = 1.20$$

coefficiente di struttura ISOSTATICA

$$I = 1.20$$

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 (t)	Orizzont.		Vert.
	$H_{s,t}$ (t)	$M_{s,t}$ (t*m)	$\Delta N_{s,t}$ (t)
569.45	68.88	71.29	95.67

### ### 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)	
569	1.04

$H_{s,l}$	$M_{s,l}$
(t)	(t*m)
68.88	-71.29

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  $M_{s,l}$ :

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

$W$	$\Delta N_{s,t}$
(t)	(t)
569.45	95.67

### 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Vento (1) * 1.0	0.00	0.00	19.89	0.00	20.58
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
TOT	569.45	17.08	19.89	0.00	20.58

COMB. 2 Perm. + Acc. DISP. 1 + Vento (3) \* 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	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	319.50	0.00	0.00	0.00	512.71
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	29.23	0.00	74.25
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
TOT	888.95	17.08	29.23	0.00	586.96

COMB. 3 Perm. + Acc. DISP. 2 + Vento (3) \* 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	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	259.05	0.00	0.00	0.00	701.60
Vento (3) * 0.60	0.00	0.00	29.23	0.00	74.25
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
TOT	828.50	17.08	29.23	0.00	775.85

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 1	319.50	0.00	0.00	0.00	512.71
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.74	0.00	24.75
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>888.95</b>	<b>39.28</b>	<b>9.74</b>	<b>0.00</b>	<b>537.46</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Acc. disp. 2	259.05	0.00	0.00	0.00	701.60
Frenat.*1	0.00	22.20	0.00	0.00	0.00
Vento (3) * 0.20	0.00	0.00	9.74	0.00	24.75
Attrito * 1.00	0.00	17.08	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>828.50</b>	<b>39.28</b>	<b>9.74</b>	<b>0.00</b>	<b>726.35</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	68.88	0.00	71.29
Sisma vert. +	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>665.12</b>	<b>0.00</b>	<b>68.88</b>	<b>0.00</b>	<b>71.29</b>

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

Az. progetto	<b>N (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Permanenti	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. trasv.	0.00	0.00	68.88	0.00	71.29
Sisma vert. -	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOT</b>	<b>473.78</b>	<b>0.00</b>	<b>68.88</b>	<b>0.00</b>	<b>71.29</b>

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

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	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	68.88	0.00	-71.29	0.00
Sisma vert. +	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	665.12	68.88	0.00	-71.29	0.00

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

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	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma orizz. long.	0.00	68.88	0.00	-71.29	0.00
Sisma vert. -	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	473.78	68.9	0.00	-71.3	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 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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)
1	569.45	17.08	19.89	0.00	20.58
2	888.95	17.08	29.23	0.00	586.96
3	828.50	17.08	29.23	0.00	775.85
4	888.95	39.28	9.74	0.00	537.46
5	828.50	39.28	9.74	0.00	726.35

Perm.	6.7	569.45	0.00	0.00	0.00	Eserc.
Vert. +	6	95.67	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-95.67	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	68.88	0.00	
Perm.	8.9	569.45	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	8	95.67	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-95.67	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	68.88	0.00	-71.29	

## 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 (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>
Pulvino	0.00	0.00
Fusto pila	197.51	12.02
	197.51	12.02

## 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> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_l</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	23.89	12.02	-287.17
	23.89		-287.17

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

Risulta

	<b><math>H_t</math> (t)</b>	<b><math>e_{v,N}</math> (m)</b>	<b><math>M_t</math> (t*m)</b>
Pulvino	0.00	0.00	0.00
Fusto pila	23.89	12.02	287.17
	23.89		287.17

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio pila (fusto+pulvino)	197.51	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	23.89	0.00	-287.17	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	23.89	0.00	287.17
Sisma vert. + Incr. peso	33.18	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-33.18	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

$$A_r = 93.34 \text{ m}^2$$

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

$$h_{\text{vento}} = 15.88 \text{ m}$$

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

$q_{\text{vento}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$H_t$ (t)	$h_{\text{vento}}$ (m)	$M_t$ (t*m)
0.25	93.34	23.33	15.88	370.63

## 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.

$$e_v = -26.94 \text{ m}$$

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

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

(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	569.45	17.08	19.89	-460.23	556.39	Cond. Norm. Eserc.
2	888.95	17.08	29.23	-460.23	1374.35	
3	828.50	17.08	29.23	-460.23	1563.25	
4	888.95	39.28	9.74	-1058.30	799.92	
5	828.50	39.28	9.74	-1058.30	988.82	

<i>Perm.</i>	6.7	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	68.88	0.00	1926.94	
<i>Perm.</i>	8.9	569.45	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	95.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-95.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	68.88	0.00	-1926.94	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	766.96	17.08	43.22	-460.23	927.01	Cond. Norm. Eserc.
2	1 086.46	17.08	43.23	-460.23	1 596.73	
3	1 026.02	17.08	43.23	-460.23	1 785.62	
4	1 086.46	39.28	23.74	-1 058.30	1 022.30	
5	1 026.02	39.28	23.74	-1 058.30	1 211.19	

<i>Perm.</i>	6.7	766.96	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	128.85	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-128.85	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	92.77	0.00	2 214.11	
<i>Perm.</i>	8.9	766.96	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	128.85	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-128.85	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	92.77	0.00	-2 214.11	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  $\gamma_t = 1.80 \text{ t/m}^3$

	N (t)	$e_{v,N}$ (m)
Zattera	175.00	0.44
Terreno portato	348.66	2.14
	523.66	1.57

## 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

S	C	$K_h$	$K_v$
9	0.07	0.1008	0.1680

Le azioni si calcolano riportate a quota intradosso zattera.

### ### SISMA LONGITUDINALE

Risulta

	$H_l$ (t)	$e_{v,N}$ (m)	$M_l$ (t*m)
Zattera	17.64	0.44	-7.72
Terreno portato	35.15	2.14	-75.12
	52.79		-82.84

### ### SISMA TRASVERSALE

Risulta

	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>e<sub>v,N</sub> (m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Zattera	17.64	0.44	7.72
Terreno portato	35.15	2.14	75.12
	52.79		82.84

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 (t)</b>	<b>H<sub>l</sub> (t)</b>	<b>H<sub>t</sub> (t)</b>	<b>M<sub>l</sub> (t*m)</b>	<b>M<sub>t</sub> (t*m)</b>
Peso proprio zattera + terreno portato	523.66	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma long. orizzontale	0.00	52.79	0.00	-82.84	0.00
Sisma trasv. orizzontale	0.00	0.00	52.79	0.00	82.84
Sisma vert. + Incr. peso	87.98	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma vert. - Decr. peso	-87.98	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 (t)	H <sub>l</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)	M <sub>l</sub> (t*m)	M <sub>t</sub> (t*m)	
1	766.96	17.08	43.22	-460.23	927.01	Cond. Norm. Eserc.
2	1 086.46	17.08	43.23	-460.23	1 596.73	
3	1 026.02	17.08	43.23	-460.23	1 785.62	
4	1 086.46	39.28	23.74	-1 058.30	1 022.30	
5	1 026.02	39.28	23.74	-1 058.30	1 211.19	
Perm.	6.7	766.96	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
Vert. +	6	128.85	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	7	-128.85	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	6.7	0.00	0.00	77.31	1 845.09	
Perm.	8.9	766.96	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
Vert. +	8	128.85	0.00	0.00	0.00	
Vert. -	9	-128.85	0.00	0.00	0.00	
Orizz.	8.9	0.00	77.31	0.00	-1 845.09	

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

$$h_{zattera} = 0.88 \text{ m}$$

Azioni totali rispetto baric. pila (intradosso zattera)						Cond. Norm. Eserc.
	<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	1 290.63	17.08	43.22	-475.18	964.83	
2	1 610.12	17.08	43.23	-475.18	1 634.56	
3	1 549.68	17.08	43.23	-475.18	1 823.45	
4	1 610.12	39.28	23.74	-1 092.67	1 043.08	
5	1 549.68	39.28	23.74	-1 092.67	1 231.97	

<i>Perm.</i>	6.7	1 290.63	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	216.83	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-216.83	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	6.7	0.00	0.00	130.10	0.00	1 995.58	
<i>Perm.</i>	8.9	1 290.63	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	216.83	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-216.83	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	130.10	0.00	-1 995.58	0.00	

## VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELLA FONDAZIONE

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE SU PALI

Numero totale dei pali  $N_p = 28$

Dimensioni zattera di fondazione (m)

X	Y	Z
8.00	10.00	0.88

Area fondazione  $80.00 \text{ m}^2$

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

X	Y
0.00	0.00

Baricentro palificata

$X_G$	$Y_G$
0.00	0.00

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

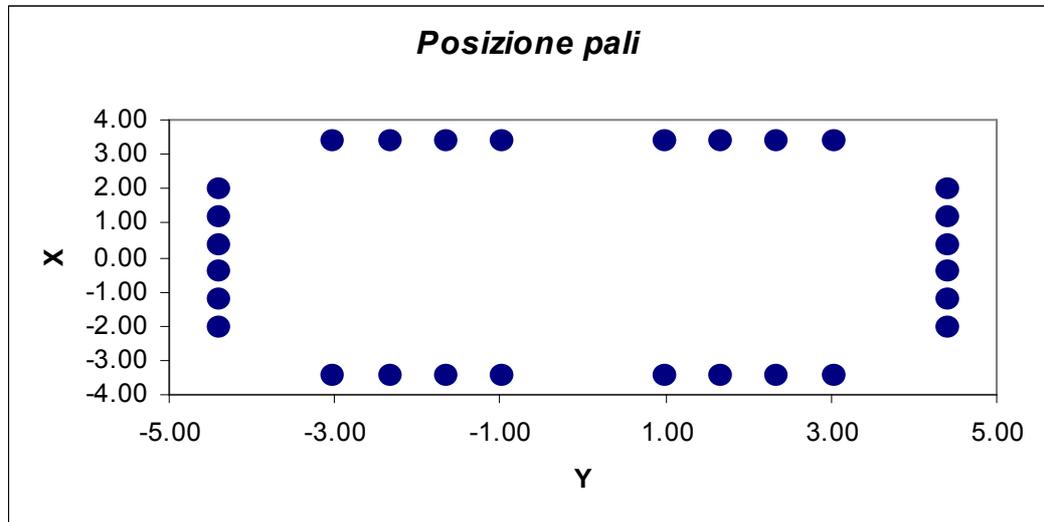
Momento d'inerzia fondazione rispetto al baricentro palificata ( $\text{m}^2$ )

$J_l$	$J_t$
207.8	305.567

Coordinate pali rispetto al baricentro zattera (X,Y) e al baricentro palificata (X<sub>g</sub>,Y<sub>g</sub>):

Pali	X (m)	Y (m)	X <sub>Gi</sub> (m)	Y <sub>Gi</sub> (m)	W <sub>I</sub> (m)	W <sub>t</sub> (m)
1	3.40	3.02	3.40	3.02	61.12	101.19
2	3.40	2.34	3.40	2.34	61.12	130.58
3	3.40	1.66	3.40	1.66	61.12	184.05
4	3.40	0.98	3.40	0.98	61.12	311.74
5	3.40	-0.98	3.40	-0.98	61.12	-311.74
6	3.40	-1.66	3.40	-1.66	61.12	-184.05
7	3.40	-2.34	3.40	-2.34	61.12	-130.58
8	3.40	-3.02	3.40	-3.02	61.12	-101.19
9	2.02	4.40	2.02	4.40	102.88	69.45
10	2.02	-4.40	2.02	-4.40	102.88	-69.45
11	1.21	4.40	1.21	4.40	171.48	69.45
12	1.21	-4.40	1.21	-4.40	171.48	-69.45
13	0.40	4.40	0.40	4.40	514.50	69.45
14	0.40	-4.40	0.40	-4.40	514.50	-69.45
15	-0.40	4.40	-0.40	4.40	-514.50	69.45
16	-0.40	-4.40	-0.40	-4.40	-514.50	-69.45
17	-1.21	4.40	-1.21	4.40	-171.48	69.45
18	-1.21	-4.40	-1.21	-4.40	-171.48	-69.45
19	-2.02	4.40	-2.02	4.40	-102.88	69.45
20	-2.02	-4.40	-2.02	-4.40	-102.88	-69.45
21	-3.40	0.98	-3.40	0.98	-61.12	311.74
22	-3.40	1.66	-3.40	1.66	-61.12	184.05
23	-3.40	2.34	-3.40	2.34	-61.12	130.58
24	-3.40	3.02	-3.40	3.02	-61.12	101.19
25	-3.40	-0.98	-3.40	-0.98	-61.12	-311.74
26	-3.40	-1.66	-3.40	-1.66	-61.12	-184.05
27	-3.40	-2.34	-3.40	-2.34	-61.12	-130.58
28	-3.40	-3.02	-3.40	-3.02	-61.12	-101.19
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

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:

$$M_i = M_l + (N \cdot e_{l,pali})$$

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

		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	1 290.63	17.08	43.22	-475.18	964.83	Eserc.
	2	1 610.12	17.08	43.23	-475.18	1 634.56	
	3	1 549.68	17.08	43.23	-475.18	1 823.45	
	4	1 610.12	39.28	23.74	-1 092.67	1 043.08	
	5	1 549.68	39.28	23.74	-1 092.67	1 231.97	
<i>Perm.</i>	6.7	1 290.63	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Trasv.
<i>Vert. +</i>	6	216.83	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	7	-216.83	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	7.8	0.00	0.00	130.10	0.00	1 995.58	
<i>Perm.</i>	8.9	1 290.63	0.00	0.00	0.00	0.00	Sisma Long.
<i>Vert. +</i>	8	216.83	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Vert. -</i>	9	-216.83	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Orizz.</i>	8.9	0.00	130.10	0.00	-1 995.58	0.00	

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

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

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	6	7	8	9
1	63.4	81.4	81.1	85.7	85.4	73.6	58.1	86.5	71.0
2	61.3	77.8	77.1	83.4	82.7	69.1	53.6	86.5	71.0
3	59.1	74.2	73.0	81.0	79.9	64.7	49.2	86.5	71.0
4	57.0	70.5	69.0	78.7	77.2	60.2	44.8	86.5	71.0
5	50.8	60.0	57.3	72.0	69.3	47.4	31.9	86.5	71.0
6	48.6	56.4	53.2	69.7	66.5	43.0	27.5	86.5	71.0
7	46.5	52.8	49.2	67.4	63.8	38.6	23.1	86.5	71.0
8	44.3	49.1	45.1	65.1	61.0	34.1	18.6	86.5	71.0
9	64.6	85.7	86.2	83.1	83.7	82.6	67.1	73.2	57.7
10	36.8	38.6	33.7	53.1	48.2	25.1	9.6	73.2	57.7
11	62.8	83.8	84.4	78.9	79.5	82.6	67.1	65.5	50.0
12	35.0	36.7	31.9	48.9	44.0	25.1	9.6	65.5	50.0
13	60.9	82.0	82.5	74.6	75.2	82.6	67.1	57.7	42.2
14	33.1	34.9	30.0	44.6	39.7	25.1	9.6	57.7	42.2
15	59.1	80.1	80.7	70.4	71.0	82.6	67.1	50.0	34.5
16	31.3	33.0	28.2	40.4	35.5	25.1	9.6	50.0	34.5
17	57.2	78.3	78.8	66.2	66.7	82.6	67.1	42.2	26.7
18	29.4	31.2	26.3	36.1	31.2	25.1	9.6	42.2	26.7
19	55.4	76.4	77.0	61.9	62.5	82.6	67.1	34.4	19.0
20	27.6	29.3	24.5	31.9	27.0	25.1	9.6	34.4	19.0
21	41.4	55.0	53.4	43.0	41.4	60.2	44.8	21.2	5.7
22	43.6	58.6	57.5	45.3	44.2	64.7	49.2	21.2	5.7
23	45.7	62.2	61.5	47.6	46.9	69.1	53.6	21.2	5.7
24	47.9	65.9	65.6	49.9	49.6	73.6	58.1	21.2	5.7
25	35.2	44.5	41.7	36.3	33.5	47.4	31.9	21.2	5.7
26	33.1	40.8	37.7	34.0	30.8	43.0	27.5	21.2	5.7
27	30.9	37.2	33.6	31.6	28.0	38.6	23.1	21.2	5.7
28	28.8	33.6	29.6	29.3	25.3	34.1	18.6	21.2	5.7
29									
30									
31									
32									

Sollecitazione max sui pali di fondazione $N_{\max}$	86.5	t
Sollecitazione min sui pali di fondazione $N_{\min}$	5.7	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>i</sub> (t)	H <sub>t</sub> (t)
1	17.1	43.2
2	17.1	43.2
3	17.1	43.2
4	39.3	23.7
5	39.3	23.7
6	0.0	130.1
7	0.0	130.1
8	130.1	0.0
9	130.1	0.0

T <sub>i</sub> (t)	T <sub>t</sub> (t)	T <sub>max</sub> (t)
0.61	1.54	1.66
0.61	1.54	1.66
0.61	1.54	1.66
1.40	0.85	1.64
1.40	0.85	1.64
0.00	4.65	4.65
0.00	4.65	4.65
4.65	0.00	4.65
4.65	0.00	4.65

Il taglio massimo è dunque pari a  $T_{max} = 4.65 \text{ t}$

PALI		
SISM		ESER
86.5	N <sub>max</sub>	86.2
5.7	N <sub>min</sub>	24.5
4.6	T <sub>max</sub>	1.7

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

$$\begin{aligned}\phi \text{ palo} &= \text{diametro del palo} = && 22.0 & \text{cm} \\ K_w &= \text{modulo di Winkler del terreno} = && 2\,500 & \text{t/m}^3 \\ E_{cls} &= \text{modulo di elasticità del calcestruzzo} = && 360\,000 & \text{kg/cm}^2\end{aligned}$$

risulta

$$L_o = 1.190 \text{ m}$$

da cui

$$M_{\max} = 2.76513 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{\max} = 67.1 \text{ t}$$

$$N_{\min} = -2.6 \text{ t}$$

Per quanto riguarda l'armatura, risulta

$$\text{Diametro esterno tubo acciaio} = 15.90 \text{ cm}$$

$$\text{Spessore tubo acciaio} = 1.42 \text{ cm}$$

$$\text{Diametro interno tubo acciaio} = 13.1 \text{ cm}$$

Si ricorda che per le tensioni ammissibili si ha:

$$\text{Tensione ammissibile acciaio} = 2\,400 \text{ kg/cm}^2$$

**Verifica con sforzo normale massimo**

A = 64.60 cm<sup>2</sup>  
J = 1709.27 cm<sup>4</sup>  
W = 215.00 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 2 324.90 kg/cm<sup>2</sup>

**Verifica con sforzo normale minimo**

A = 64.60 cm<sup>2</sup>  
J = 1709.27 cm<sup>4</sup>  
W = 215.00 cm<sup>3</sup>  
Tensione massima acciaio = 1 246.28 kg/cm<sup>2</sup>

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI DELLA PILA

### VERIFICA ZATTERA DI FONDAZIONE

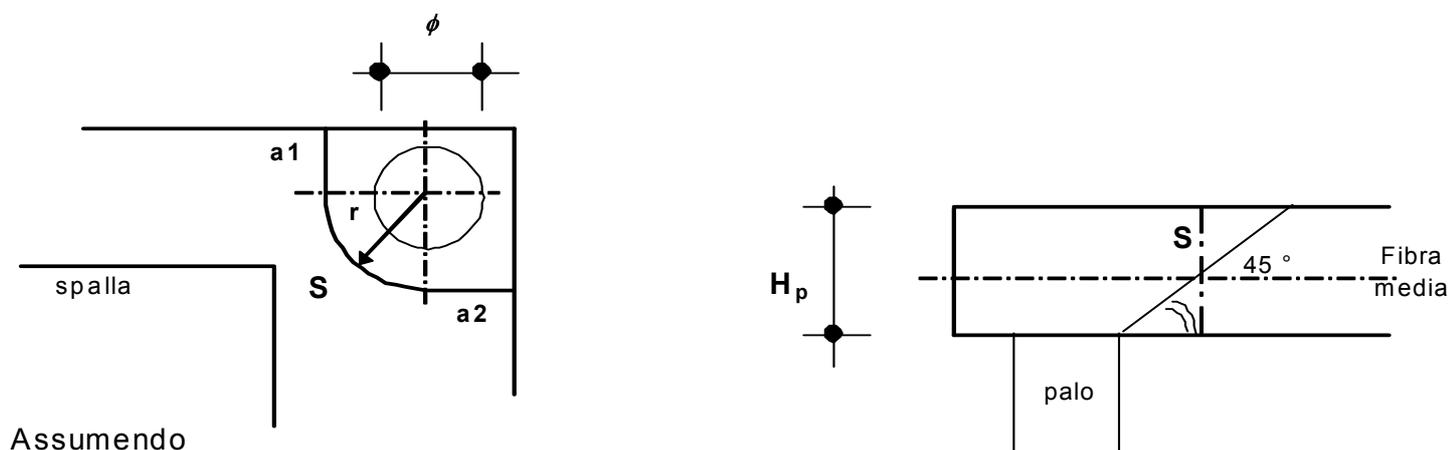
#### ### VERIFICA A PUNZONAMENTO

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):

$$\text{Reazione max palo d'angolo: } N_{p,\max} = 86.49 \text{ t}$$

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:



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

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

$$r = 0.55 \text{ m}$$

si ha:

$$S = H_p \cdot (a_1 + \pi \cdot r/2 + a_2) = 2.50 \text{ m}^2$$

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

$$\tau_{cls} = N_{p,\max} / S = 3.46 \text{ kg/cm}^2$$

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: GENERICA

Cls:

Acciaio lento:

vert.	Z	Y	ferro	Z	Y	d[mm]	Af[cm <sup>2</sup> ]
1_1	0.	0.	1	344.6	0.	26.	5.3093
1_2	175.	175.	2	344.3	10.	26.	5.3093
1_3	350.	0.	3	343.4	20.	26.	5.3093
1_4	175.	-175.	4	341.9	29.9	26.	5.3093
2_1	33.	0.	5	339.9	39.8	26.	5.3093
2_2	175.	-142.	6	337.2	49.4	26.	5.3093
2_3	317.	0.	7	334.	59.	26.	5.3093
2_4	175.	142.	8	330.3	68.3	26.	5.3093
			9	326.	77.3	26.	5.3093
			10	321.1	86.1	26.	5.3093
			11	315.8	94.6	26.	5.3093
			12	309.9	102.8	26.	5.3093
			13	303.6	110.6	26.	5.3093
			14	296.9	118.	26.	5.3093
			15	289.7	125.	26.	5.3093
			16	282.1	131.5	26.	5.3093
			17	274.1	137.6	26.	5.3093
			18	265.8	143.2	26.	5.3093
			19	257.2	148.4	26.	5.3093
			20	248.3	153.	26.	5.3093
			21	239.1	157.	26.	5.3093
			22	229.7	160.5	26.	5.3093
			23	220.1	163.5	26.	5.3093
			24	210.3	165.9	26.	5.3093
			25	200.5	167.7	26.	5.3093
			26	190.5	168.9	26.	5.3093
			27	180.5	169.5	26.	5.3093
			28	170.5	169.5	26.	5.3093
			29	160.5	169.	26.	5.3093
			30	150.5	167.8	26.	5.3093
			31	140.6	166.1	26.	5.3093

32		130.8		163.8		26.		5.3093	
33		121.2		160.9		26.		5.3093	
34		111.8		157.4		26.		5.3093	
35		102.6		153.4		26.		5.3093	
36		93.7		148.8		26.		5.3093	
37		85.		143.8		26.		5.3093	
38		76.7		138.2		26.		5.3093	
39		68.7		132.1		26.		5.3093	
40		61.1		125.6		26.		5.3093	
41		53.8		118.7		26.		5.3093	
42		47.		111.3		26.		5.3093	
43		40.7		103.5		26.		5.3093	
44		34.8		95.4		26.		5.3093	
45		29.4		86.9		26.		5.3093	
46		24.5		78.2		26.		5.3093	
47		20.1		69.1		26.		5.3093	
48		16.3		59.9		26.		5.3093	
49		13.1		50.4		26.		5.3093	
50		10.4		40.7		26.		5.3093	
51		8.2		30.9		26.		5.3093	
52		6.7		21.		26.		5.3093	
53		5.8		11.		26.		5.3093	
54		5.4		1.		26.		5.3093	
55		5.6		-9.1		26.		5.3093	
56		6.5		-19.1		26.		5.3093	
57		7.9		-29.		26.		5.3093	
58		9.9		-38.8		26.		5.3093	
59		12.5		-48.5		26.		5.3093	
60		15.6		-58.		26.		5.3093	
61		19.3		-67.4		26.		5.3093	
62		23.6		-76.4		26.		5.3093	
63		28.4		-85.3		26.		5.3093	
64		33.7		-93.8		26.		5.3093	
65		39.5		-102.		26.		5.3093	
66		45.7		-109.8		26.		5.3093	
67		52.5		-117.3		26.		5.3093	
68		59.6		-124.3		26.		5.3093	
69		67.2		-130.9		26.		5.3093	
70		75.1		-137.1		26.		5.3093	
71		83.4		-142.7		26.		5.3093	
72		92.		-147.9		26.		5.3093	
73		100.9		-152.5		26.		5.3093	
74		110.		-156.7		26.		5.3093	
75		119.4		-160.2		26.		5.3093	
76		129.		-163.2		26.		5.3093	
77		138.7		-165.7		26.		5.3093	
78		148.6		-167.5		26.		5.3093	
79		158.5		-168.8		26.		5.3093	
80		168.5		-169.5		26.		5.3093	
81		178.6		-169.6		26.		5.3093	
82		188.6		-169.1		26.		5.3093	
83		198.5		-168.		26.		5.3093	
84		208.4		-166.3		26.		5.3093	

85	218.2	-164.	26.	5.3093
86	227.8	-161.2	26.	5.3093
87	237.3	-157.8	26.	5.3093
88	246.5	-153.8	26.	5.3093
89	255.5	-149.3	26.	5.3093
90	264.1	-144.3	26.	5.3093
91	272.5	-138.8	26.	5.3093
92	280.6	-132.7	26.	5.3093
93	288.2	-126.3	26.	5.3093
94	295.5	-119.4	26.	5.3093
95	302.3	-112.	26.	5.3093
96	308.7	-104.3	26.	5.3093
97	314.7	-96.2	26.	5.3093
98	320.1	-87.8	26.	5.3093
99	325.1	-79.	26.	5.3093
100	329.5	-70.	26.	5.3093
101	333.3	-60.8	26.	5.3093
102	336.7	-51.3	26.	5.3093
103	339.4	-41.7	26.	5.3093
104	341.6	-31.9	26.	5.3093
105	343.2	-22.	26.	5.3093
106	344.2	-12.	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	-1086460	46023000	159673000	
2	-895810	0	221411000	

#### RISULTATI

Piani di equilibrio ( $\text{eps} = \text{muz} * y + \text{muy} * z + \text{lam}$ ):

Sol.	muz	muy	lambda	
1	-.00000033314	-.0000011576	.00016327239	
2	.0000000001	-.00000205944	.00039867891	

Tensioni massime sui materiali:

sol	Cls	vert. S cls	Ve	Acciaio lento	ferro S ferri	Ve
1	1- 3	-87.1	<b>si</b>	6	-1315.3	<b>si</b>
2	1- 3	-116.	<b>si</b>	54	2092.8	<b>si</b>